



UNIVERSITÀ DI PARMA

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

DOTTORATO DI RICERCA IN  
“MEDICINA MOLECOLARE”

CICLO XXXV

**La prestazione sportiva negli sport di resistenza:  
intervento multifattoriale nell’atleta Élite di Triathlon**

Coordinatore:

*Chiar.mo Prof. Prisco Mirandola*

Tutore:

*Chiar.ma Prof.ssa Giuliana Gobbi*

*Chiar.mo Prof. Giancarlo Condello*

Dottorando: Luca Ambrosini

Anni Accademici 2019/2020 – 2021/2022

## **Ringraziamenti**

A conclusione di questo mio percorso di formazione sento il dovere di ringraziare tutti i miei colleghi di Dipartimento che in questi anni mi hanno trasmesso conoscenze e competenze, contribuendo così al raggiungimento del mio obiettivo.

Un particolare e doveroso ringraziamento lo rivolgo alla Professoressa Giuliana Gobbi, per avermi seguito in modo attento e puntuale durante questi anni, mettendo a disposizione tutta la sua professionalità e conoscenza a favore della mia crescita professionale e personale.

Al Professore Giancarlo Condello che, assieme alla Professoressa Giuliana Gobbi, mi ha accompagnato nella stesura di questo elaborato, permettendomi di redigerlo nel migliore dei modi.

Un altro sentito ringraziamento lo devo a tutte quelle persone che in questi anni mi sono state vicine, in particolare non posso non citare i miei genitori, senza di voi non ce l'avrei mai fatta.

Grazie

## RIASSUNTO

L'allenamento multifattoriale porta al miglioramento delle prestazioni di resistenza grazie al cambiamento dei parametri fisiologici e biomeccanici, come il consumo massimo di ossigeno, la soglia del lattato, l'economia del gesto e la forza.

Nel triatleta, l'allenamento della forza massima non specifica (cioè con movimenti sportivi non specifici) porta a miglioramenti delle prestazioni dovuti ad un aumento dell'economia del gesto sia nel segmento ciclistico che nella corsa.

Inoltre, l'allenamento dei fattori rilevanti della prestazione del triathlon durante il passaggio da nuoto a ciclismo è fondamentale per il raggiungimento della massima prestazione. Questi fattori sono l'interconnessione tra il consumo di ossigeno e la cadenza del ciclismo, l'intensità dello sforzo e l'economia della pedalata, e la frequenza delle bracciate nel nuoto e i valori di lattato nel sangue risulta decisiva per l'ottimizzazione della transizione nuoto-ciclismo.

L'allenamento del passaggio da nuoto a ciclismo utilizzando 6 gambate per ciclo di bracciate può essere un valido approccio per migliorare la bracciata degli atleti, che, a sua volta, determina una variazione positiva nella frequenza cardiaca, nel consumo di ossigeno, nel dispendio energetico e nell'economia durante il segmento di ciclismo.

In conclusione, l'allenamento del triatleta richiede un intervento multifattoriale determinante per l'ottimizzazione delle prestazioni di resistenza. Pertanto, l'allenamento dovrebbe essere mirato al miglioramento della forza non specifica, al monitoraggio dei parametri fisiologici e biomeccanici durante la transizione e allo svolgimento di esercizi tecnici, in particolare le gambate utilizzate durante il segmento di nuoto.

**Parole chiave:** Resistenza Aerobica, Triathlon, Forza, Economia del gesto, Esercitazioni specifiche.

## ABSTRACT

Multifactorial training leads to the improvement of endurance performance due to the impact on physiological and biomechanical parameters, such as maximum oxygen consumption, lactate threshold, working economy and strength.

In triathlete, training non-specific maximum strength, defined as non-specific sport movement patterns, induces performance improvements due to an increase in the working economy during both the cycling and running segment.

Furthermore, training relevant factors of triathlon performance during the swim to cycle transition is pivotal to maximize the performance and be highly competitive. These factors are the interlink between i) the oxygen consumption and the cycling cadence, ii) the effort of intensity and the cycling economy, and iii) the swim stroke rate and the lactate response.

The swim to cycle transition can be enhanced by adopting a training program centered on a 6 kick per swim stroke cycle strategy to improve the swim stroke, which, in turn, can determine an amelioration the responses of heart rate, oxygen consumption, energy expenditure, and economy during cycling.

In conclusion, the triathlon training requires a multifactorial approach for the improvement of the overall endurance performance. Therefore, training should be aimed at enhancing non-specific strength, monitoring physiological and biomechanical parameters during the transition, and implementing technical exercises, especially for swim kicks during the swimming segment.

**Keywords:** Aerobic Endurance, Triathlon, Strength, Working Economy, Specific training.

# INDICE

Riassunto .....	III
Abstract .....	IV
<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>1</b>
1.1. Sport di resistenza aerobica .....	2
1.1.1. Fisiologia della prestazione di resistenza aerobica .....	4
1.1.2. Valutazione della prestazione di resistenza aerobica .....	7
1.2. Allenamento della forza negli sport di resistenza aerobica .....	9
1.2.1. Tipologia di allenamento della forza .....	11
1.2.2. Economia del gesto - Working Economy .....	17
1.3. Triathlon .....	19
1.3.1. Allenamento nel Triathlon .....	22
1.3.2. L'atleta di Triathlon .....	27
1.3.3. Le Transizioni nel Triathlon .....	30
1.4. Progetto di ricerca .....	33
Bibliografia .....	35
<b>2. ALLENAMENTO DELLA FORZA ASPECIFICA NEGLI SPORT DI RES- STENZA: REVISIONE SISTEMATICA DELLA LETTERATURA E META- ANALISI</b>	
2.1. Introduzione .....	41
2.2. Materiali e metodi .....	44
2.3. Risultati .....	48
2.4. Discussione .....	71
2.5. Conclusione .....	74
Bibliografia .....	75
<b>3. INTERCONNESSIONE TRA CAMBIAMENTI FISIologici E BIOMECCA- NICI NELLA TRANSIZIONE DAL NUOTO AL CICLISMO NEL TRIA- THLON</b>	
3.1. Introduzione .....	78
3.2. Cambiamenti fisiologici .....	81
3.3. Cambiamenti biomeccanici .....	90
3.4. Interconnessione tra i fattori fisiologici e biomeccanici .....	96
3.5. Applicazioni pratiche .....	98

3.6.	Direzioni future .....	99
3.7.	Conclusione .....	100
	Bibliografia .....	101
<b>4.</b>	<b>L'UTILIZZO DELLA GAMBATA A NUOTO INFLUISCE SULLE SUCCESSIVE PRESTAZIONI CICLISTICHE NELLA SIMULAZIONE NUOTO-CICLISMO DEL TRIATHLON</b>	
4.1.	Introduzione .....	105
4.2.	Materiali e metodi .....	108
4.3.	Risultati .....	117
4.4.	Discussione .....	126
4.5.	Limiti della ricerca .....	129
4.6.	Conclusione .....	130
	Bibliografia .....	131
<b>5.</b>	<b>DISCUSSIONE GENERALE</b> .....	135
<b>6.</b>	<b>LINEE FUTURE DI RICERCA</b> .....	143
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONE</b> .....	144
	<b>BIBLIOGRAFIA GENERALE</b> .....	146
	<b>ELENCO DELLE PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE PRODOTTE</b> .....	160
	<b>ELENCO PRESENTAZIONI A CONGRESSI SCIENTIFICI</b> .....	162

## LISTA FIGURE E TABELLE

### 1. INTRODUZIONE

**Figura 1.1.** Interazione dei fattori determinanti la prestazione di resistenza

**Figura 1.2.** Le diverse espressioni della Forza

**Figura 1.3.** Schema progetto di ricerca

**Tabella 1.1.** Tipologie di competizioni nella disciplina del Triathlon

### 2. ALLENAMENTO DELLA FORZA ASPECIFICA NEGLI SPORT DI RESISTENZA: REVISIONE SISTEMATICA DELLA LETTERATURA E META-ANALISI

**Figura 2.1.** Diagramma di flusso PRISMA

**Figura 2.2.** Forest Plot degli studi inclusi nella meta-analisi per l'economia del gesto

**Figura 2.3.** Forest Plot degli studi inclusi nella meta-analisi per le prestazioni di resistenza

**Tabella 2.1.** Scala Physiotherapy Evidence Database

**Tabella 2.2.** Caratteristiche degli studi

**Tabella 2.3.** Protocolli degli studi

**Tabella 2.4.** Effetto della forza aspecifica sulla prestazione

### 3. INTERCONNESSIONE TRA CAMBIAMENTI FISIOLGICI E BIOMECCANICI NELLA TRANSIZIONE DAL NUOTO AL CICLISMO NEL TRIATHLON

**Figura 3.1.** Cambiamenti fisiologici e biomeccanici in base alla distanza di gara e al livello dell'atleta

**Figura 3.2.** Panoramica schematica dell'influenza del nuoto sul segmento ciclistico in termini di cambiamenti fisiologici e biomeccanici

**Tabella 3.1.** Cambiamenti fisiologici e biomeccanici durante la transizione nuoto-ciclismo

### 4. L'UTILIZZO DELLA GAMBATA A NUOTO INFLUISCE SULLE SUCCESSIVE PRESTAZIONI CICLISTICHE NELLA SIMULAZIONE NUOTO-CICLISMO DEL TRIATHLON

**Figura 4.1.** Diagramma di flusso CONSORT 2010

**Figura 4.2.** Frequenza di bracciata (n) Pre- Vs Post-Intervento nei tre gruppi durante gli ultimi 100 m del segmento di nuoto

**Figura 4.3.** Lunghezza di bracciata (m) Pre- Vs Post-Intervento nei tre gruppi durante gli ultimi 100 m del segmento di nuoto

**Figura 4.4.** Frequenza cardiaca media (BPM) Pre- Vs Post-Intervento nei tre gruppi durante i primi 45 secondi del segmento di ciclismo

**Figura 4.5.** Consumo di ossigeno medio ( $\dot{V}O_2$ ) Pre- Vs Post-Intervento nei tre gruppi durante i primi 45 secondi del segmento di ciclismo

**Figura 4.6.** Spesa energetica media (kcal/min) Pre- Vs Post-Intervento nei tre gruppi durante i primi 45 secondi del segmento di ciclismo

**Tabella 4.1.** Caratteristiche dei partecipanti a livello di base, considerando i tre gruppi

**Tabella 4.2.** Programma di intervento di 8 settimane

**Tabella 4.3.** Prestazioni complessive durante i test di nuoto e ciclismo per i tre gruppi

**Tabella 4.4.** Valori del lattato capillare nei tre gruppi

**Tabella 4.5.** Sintesi degli effetti nelle variabili investigate Pre- e Post-intervento durante gli ultimi 100 m di nuoto

**Tabella 4.6.** Sintesi degli effetti nelle variabili investigate Pre- e Post-intervento durante i primi 45 secondi di ciclismo

**Tabella 4.7.** Analisi della correlazione di Pearson tra le variabili di nuoto e ciclismo Post-Intervento



## 1. INTRODUZIONE

La prestazione di resistenza è da sempre riconosciuta come il risultato della massima efficienza del sistema aerobico e raggiungibile tramite la stimolazione delle componenti aerobiche, replicandone le intensità e le modalità di espressione. Tuttavia, ad oggi gli atleti di resistenza per essere competitivi, oltre che esprimere ottime doti aerobiche, devono possedere buone capacità anaerobiche (forza e velocità), necessarie per affrontare le richieste che le moderne competizioni presentano.

La variabilità nella prestazione durante le competizioni odierne, a cui l'atleta di resistenza deve far fronte, evidenzia come la prestazione non deve essere vista solo come la manifestazione della massima capacità aerobica, ma deve essere interpretata come il risultato di un intervento multifattoriale che ne modifica l'interpretazione stessa della parola *resistenza*. Multifattoriale poiché, anche se lontane dal tipico allenamento di resistenza, il moderno allenamento dell'*atleta élite di resistenza* deve agire su differenti componenti prestazionali. Infatti, tramite la stimolazione della forza (usando esercitazioni aspecifiche) si andrà ad agire indirettamente sul miglioramento degli indicatori prestazionali di resistenza (es: economia del gesto) e grazie all'individuazione dei parametri (fisiologici e biomeccanici) determinanti per la prestazione, si potranno definire nuove aree di intervento su cui agire così da poter inserire esercitazioni tecnico-condizionali che stimolino aspetti specifici della prestazione tali da portare al miglioramento della prestazione di resistenza.

## 1.1. Sport di resistenza aerobica

Con il termine resistenza aerobica si intende la capacità di protrarre un'attività sportiva nel tempo senza che ne scada il livello prestativo (Bellotti & Matteucci, 1999; Brunetti, 2010); o per meglio dire è la capacità *psico-fisica* dell'atleta di opporsi all'affaticamento. La componente *psichica* si riferisce alla capacità di resistere a lungo ad uno sforzo che imporrebbe di fermarsi, mentre la componente *fisica* riguarda la capacità dell'intero organismo o dei suoi sistemi di resistere alla fatica.

La capacità di resistenza può essere distinta, in base alla durata della prestazione, in resistenza di breve, media e lunga durata. Per *resistenza di breve durata* si intendono tutte le attività massimali con durate che variano dai 45 secondi ai 2 minuti, dove le richieste energetiche vengono soddisfatte prevalentemente dal sistema anaerobico. Per *resistenza di media durata*, si intende un periodo crescente che va da 2 a 8 minuti in cui la produzione di energia viene progressivamente soddisfatta dal metabolismo aerobico, ed infine la *resistenza di lunga durata* riguarda tutte quelle attività che superano gli 8 minuti e sono quasi esclusivamente sostenute dal sistema aerobico (Weineck, 2009).

*Conditio sine qua non* perché si possa resistere è che i substrati energetici, in termini quantitativi e qualitativi siano disponibili, e che la *macchina umana* abbia la capacità di trasformarli in lavoro meccanico esterno (Bellotti & Matteucci, 1999; Brunetti, 2010).

Infatti, in base al metabolismo energetico che sostiene la prestazione, la resistenza di lunga durata può essere suddivisa in vari sottogruppi. Troviamo un primo gruppo che racchiude tutte le attività aerobiche fino a 30 minuti di esercizio dove prevale il metabolismo glucidico, un secondo che comprende le attività dai 30 ai 90 minuti dove il metabolismo utilizzato è quello misto (glucidico e lipidico) ed un terzo con attività che superano i 90 minuti dove il metabolismo principale è quello lipidico (Weineck, 2009).

La capacità di resistenza svolge un ruolo importante in tutti gli sport; infatti, una resistenza di base ben sviluppata diviene le fondamenta per lo sviluppo della prestazione, favorisce il

recupero, diminuisce il rischio di infortuni, preserva la tecnica e favorisce la visione tattica. Ciò non è solo a favore degli sport di lunga durata ma diventa una risorsa indispensabile in tutte le specialità sportive, anche con diverse caratteristiche (Bellotti & Matteucci, 1999).

Tuttavia, bisogna ricordare che la specializzazione dell'allenamento in direzione della sola resistenza aerobica può portare a degli svantaggi in termini di forza e rapidità, infatti tutte le componenti del condizionamento atletico (forza, resistenza, velocità, coordinazione e flessibilità) devono coesistere nella programmazione e periodizzazione dell'allenamento negli atleti (Weineck, 2009).

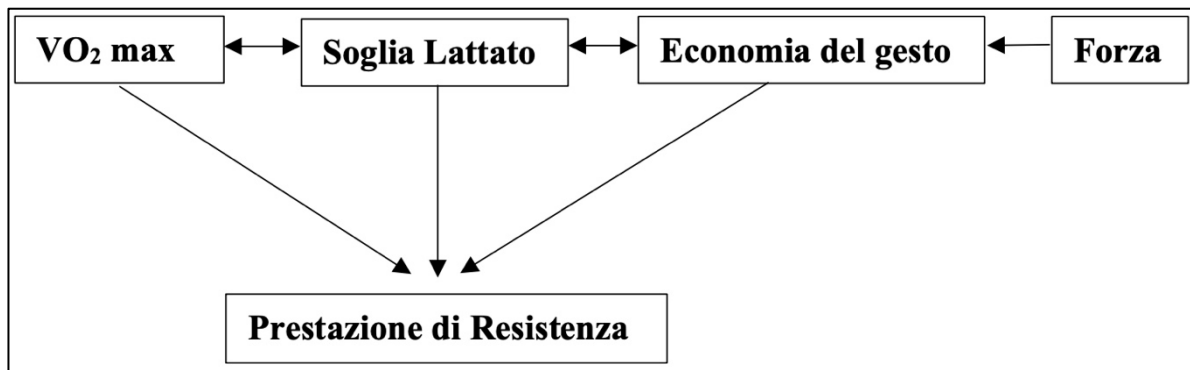
Infatti, il processo di allenamento per essere efficace deve basarsi sui principi fondamentali, quali: la continuità, la frequenza, la variabilità, la sistematicità, l'individualizzazione, la progressione, la ciclicità e la specificità (Bertucelli & Bottoni, 2014).

### 1.1.1. Fisiologia della prestazione di resistenza

Dal punto di vista fisiologico, la prestazione di resistenza è solitamente eseguita ad una intensità sub-massimale e l'allenamento ad intensità via via più elevate ha lo scopo di alzare progressivamente la soglia anaerobica, cioè l'inizio del metabolismo anaerobico e dell'accumulo di lattato, portando così l'atleta ad una maggiore intensità di esercizio sostenibile (Morici & Grutta d'Auria, 2016).

Gli adattamenti riscontrati nei fattori organici (quali l'apparato cardiovascolare e respiratorio, i meccanismi di trasformazione dell'energia, la capacità di smaltimento dei metaboliti, le modificazioni morfo-funzionali), in quelli tecnici e psichici sono i principali protagonisti nello sviluppo e nel miglioramento della resistenza nell'atleta (Bellotti & Matteucci, 1999). Infatti, il miglioramento della prestazione di resistenza è dovuto sia a fenomeni di adattamento *periferico* (cellule muscolari) sia a miglioramenti *centrali* (cardiovascolari e polmonari) (Weineck, 2009; Morici & Grutta d'Auria, 2016). A livello centrale si ha un miglioramento dell'apparato cardiovascolare e polmonare nell'apportare a livello periferico i substrati necessari per la produzione di energia (glucosio, acidi grassi e ossigeno) e nello smaltire i prodotti del lavoro muscolare (ioni idrogeno, ammoniaca, anidride carbonica), con conseguentemente miglioramento della prestazione. A livello periferico, invece, troviamo un miglioramento della *respirazione periferica* cioè l'insieme degli scambi che avvengono tra circolo sanguineo e tessuto muscolare, quindi una maggiore capacità delle fibre muscolari di utilizzare ossigeno estraendolo dal sangue per produrre ATP (Adenosina Trifosfato) (Brunetti, 2010; Morici & Grutta d'Auria, 2016).

I parametri che influiscono direttamente sulla prestazione di resistenza sono: il massimo consumo di ossigeno ( $\dot{V}O_2 \text{ max}$ ), la soglia del lattato (LT) e l'economia del gesto (WE) (Fig.1.1) (Joyner & Coyle, 2008). A questi parametri si aggiunge la componente della forza, che è considerata da anni un elemento importante per il miglioramento della resistenza (Beattie & Kenny, 2014).



**Figura 1.1.** Interazione dei fattori determinanti la prestazione di resistenza.

Il *massimo consumo di ossigeno* ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) rappresenta la capacità funzionale del sistema cardio-polmonare ed è spesso indicato in relazione al peso del soggetto (ml/Kg/min) (Weineck, 2009). Il suo valore riflette la limitazione del metabolismo ossidativo muscolare (limite periferico) e la capacità di trasporto dell'ossigeno da parte del cuore e del sistema vascolare (limite centrale) (Hoppeler, 2018). Il  $\dot{V}O_2\text{max}$  è influenzato dalla plasticità fenotipica del soggetto e può essere aumentato con un allenamento di durata compresa tra 3 e 6 minuti ad intensità prossime al massimo valore sostenibile; infatti, un elevato livello di  $\dot{V}O_2$  è una condizione indispensabile per una buona prestazione di resistenza di alto livello (Brunetti, 2010; Hoppeler, 2018). Tale adattamento è dovuto a un decisivo miglioramento della gittata cardiaca, a un aumento del volume sanguineo, a una proliferazione della densità capillare e mitocondriale (Joyner & Coyle, 2008), a un incremento della capacità enzimatica ossidativa e a un cambiamento nella composizione delle fibre muscolari (Morici & Grutta d'Auria, 2016). Nelle prestazioni di lunga durata (es. marcia, maratona, sci di fondo e Ironman<sup>®</sup>) la prestazione di resistenza è effettuata ad una percentuale di  $\dot{V}O_2$  che non sarà massima ma si aggirerà intorno al 75-85% del massimale; per quelle di media durata (es. corsa di 10 km e 10 km sci di fondo) sarà del 90% e per quelle di breve durata (es. corsa di 3 km e 5 km sci di fondo) si arriverà ad evocare il massimo valore possibile.

La *soglia del lattato* (LT) corrisponde all'intensità di esercizio durante la quale il livello di lattato è mantenuto in equilibrio (bilanciamento tra produzione e smaltimento). Maggiore sarà

questa intensità, maggiore sarà la capacità del soggetto di esprimere una prestazione di resistenza senza eccessivo accumulo di lattato. In soggetti non allenati si osserva un aumento delle concentrazioni di lattato già a circa il 60% del  $\dot{V}O_2\text{max}$ , mentre negli atleti agonisti tale soglia può arrivare sino al 75-85% del  $\dot{V}O_2\text{max}$  prima che si verifichi un marcato aumento della concentrazione di lattato nel sangue (Joyner & Coyle, 2008; Garcia-Tabar & Gorostiaga, 2018).

L'*economia del gesto* (Working Economy – WE) è il risultato dell'interazione di numerosi fattori, tra cui la morfologia muscolare (tipo di fibre), gli elementi elastici e la meccanica articolare. L'allenamento porta ad un miglioramento di tale componente della performance del 1-3% all'anno (Joyner & Coyle, 2008). A livello generale, può essere indicata come la quantità di consumo di ossigeno per kg di peso corporeo utilizzata per lo spostamento del corpo, oppure per la velocità-potenza sostenuta in un determinato gesto ( $\text{mlO}_2/\text{kg}/\text{spostamento-velocità-potenza}$ ); tale rapporto ci fornisce un dato utile a valutare il rapporto tra il rendimento meccanico e quello metabolico, dunque come indicatore prestazionale tra *stile tecnico e armonia del gesto* (Bertucelli & Bottoni, 2014; Swinnen & Kipp, 2018).

### 1.1.2. Valutazione della prestazione di resistenza

La valutazione della prestazione di resistenza può essere eseguita attraverso metodi oggettivi e soggettivi.

I *metodi oggettivi* di valutazione generalmente utilizzati riguardano parametri *fisiologici* come la misurazione dell'assorbimento di ossigeno ( $\dot{V}O_2$ ), la frequenza cardiaca (FC) e la soglia di lattato (LT), e metodi di valutazione di parametri *biomeccanici* quali la misurazione della velocità di spostamento (Km/h, m/s), del ritmo (passo al km, cadenza ciclistica, bracciate a nuoto) e della potenza erogata (watt). Tutto ciò è reso possibile dall'utilizzo di strumentazione portatile (orologi da polso, sensori indossabili, metabolimetri, lattacidometri), e misuratori di potenza (potenziometri montati sulle biciclette, sensori sulle scarpe, ecc.) utilizzati nel ciclismo e nel triathlon (Mujika, 2017; Li & Kling, 2016).

Tra i *metodi soggettivi*, la valutazione dello sforzo percepito (Rating of Perceived Exertion - RPE) tramite la scala di Borg (Borg & Dahlstrom, 1962) è da tempo riconosciuta affidabile, valida e di ampio uso tra gli atleti ed allenatori (Mujika, 2017). Tuttavia, le basi fisiologiche su cui la RPE si fonda non sono ancora totalmente comprese, malgrado sembrerebbe essere dovuta da una copia dell'impulso nervoso creatosi dall'area premotoria e motoria dell'encefalo verso i motoneuroni *alfa* dei muscoli scheletrici; questa copia dell'impulso viene inviata verso determinate aree della corteccia cerebrale dove genererebbe la percezione dello sforzo prendendo il nome di *scarica corollaria* (Haddad & Stylianides, 2017).

Negli ultimi anni la valutazione e individualizzazione dell'intensità sostenibile nella prestazione di resistenza è cambiata sostanzialmente. In passato si riteneva che il livello di lattato potesse influenzare negativamente la prestazione, infatti, si pensava che fosse un prodotto di scarto della glicolisi dovuto ad uno scarso apporto di ossigeno ai muscoli in esercizio. Invece, con il passare del tempo si è attribuita una diversa interpretazione alla glicolisi anaerobica e alla cinetica del lattato, cioè come un processo che avviene anche nell'individuo a riposo e fortemente correlato al tasso metabolico ma non necessariamente alla disponibilità di ossigeno

(Faude & Kindermann, 2009; Brooks, 2018). Infatti, si è visto che l'enantiomero “L” dell'anione lattato si forma e viene utilizzato continuamente in diverse cellule in condizioni completamente aerobiche. Quindi il lattato può essere considerato il collegamento tra le vie glicolitiche e aerobiche perché risultato del prodotto di una via metabolica (glicolisi) e substrato di una via a valle (respirazione mitocondriale) (Brooks, 2018). Di conseguenza negli ultimi anni il concetto di soglia del lattato è diventato desueto e incorretto; infatti, il lattato non mostra una chiara soglia durante l'esercizio incrementale ma piuttosto continua ad aumentare, così come la produzione di energia tramite il metabolismo aerobico e anaerobico non cambia bruscamente ma mostra una transizione continua (Faude & Kindermann, 2009; Garcia-Tabar & Gorostiaga, 2018).

La misurazione del  $\dot{V}O_2\text{max}$  è da tempo riconosciuta efficace ed utilizzata tra le metodologie di valutazione della capacità aerobica (Faude & Kindermann, 2009) e viene utilizzata per la prescrizione dell'esercizio fisico, attraverso l'indicazione dell'intensità relativa di esercizio ad una determinata percentuale del  $\dot{V}O_2\text{max}$  o della frequenza cardiaca massima (FC max), o l'intersecazione di questi due parametri (Mann & Lambert, 2013).

Tuttavia, ogni atleta risponde in modo diverso a identici stimoli di modalità, durata e intensità dell'allenamento (Mujika, 2017), infatti, è riconosciuto da tempo che la somministrazione di un carico di lavoro assoluto (*carico esterno*) produce risposte interne psico-fisiologiche differenti nei vari soggetti (*carico interno*) (Weineck, 2009). Diviene così fondamentale valutare e prescrivere l'esercizio in base alle risposte soggettive al carico esterno. Infatti, la valutazione e individualizzazione di un adeguato carico esterno, tenendo conto delle differenze nelle capacità fisiologiche e funzionali dei singoli, ha lo scopo di produrre uno stress da esercizio proporzionato al soggetto, e portare così a risposte adattive più efficaci nonostante le differenze fenotipiche (Mann & Lambert, 2013).



## 1.2. Allenamento della forza negli sport di resistenza aerobica

Molti sport richiedono una combinazione dell'allenamento della forza e della resistenza per ottenere una prestazione ottimale, ed è noto da tempo che l'inclusione dell'allenamento della forza in un allenamento di resistenza può rappresentare la strategia chiave per il miglioramento della prestazione di resistenza (Hickson & Dvorak, 1988). Infatti, in atleti ben allenati, l'allenamento della forza aumenta la potenza muscolare e la capacità di sostenere un'elevata intensità nelle prestazioni di resistenza (Denadai & de Aguiar, 2017).

La metodica di allenamento del “*Concurrent Training*”, cioè l'utilizzo simultaneo di stimolazioni differenti (resistenza aerobica abbinata a esercizi di forza) nella stessa seduta di allenamento, è spesso utilizzata nell'allenamento dell'atleta élite di resistenza. Infatti, si è visto essere efficace nel migliorare la capacità aerobica e nel limitare l'ipertrofia, adattamento spesso indesiderato negli sport di resistenza (Murlasits & Kneffel, 2018). Tuttavia, bisogna considerare che, l'allenamento di resistenza tradizionale porta a miglioramenti periferici (capillarizzazione, capacità di trasporto ossigeno e biogenesi mitocondriale) e centrali (aumento della gittata cardiaca e miglioramento nel consumo massimo di ossigeno), portando ad una maggiore capacità aerobica. L'allenamento della forza porta ad un aumento dell'area della sezione trasversa del muscolo (CSA), ad adattamenti neurali (trasmissione impulso) e ad un miglioramento della capacità di espressione della forza (RFD) (Hughes & Ellefsen, 2018).

L'inclusione dell'allenamento della forza nella preparazione dell'atleta di resistenza ha ricevuto crescente attenzione negli ultimi due decenni. Recenti ricerche suggeriscono che l'allenamento della forza per gli atleti di resistenza è ben tollerato e promuove adattamenti che contribuiscono a migliorare le prestazioni, permettendo una maggiore economia dell'esercizio, cioè una maggiore capacità di resistere per distanze e tempi più lunghi. Infatti, sembra migliorare l'economia del gesto (Working Economy), ritardare la fatica e aumentare la forza e la velocità massima sostenibile (capacità anaerobica) senza influire direttamente sul  $\dot{V}O_2$  max e sulla composizione corporea (Beattie & Kenny, 2014; Berryman & Mujika, 2018).

Lo sviluppo della forza muscolare è dovuto ad una combinazione di fattori, strutturali (composizione muscolare del soggetto), neurali (capacità di espressione della forza) e fisiologici (substrati energetici ed endocrini disponibili) e, gli adattamenti funzionali, neurali e ipertrofici variano in base alla specificità dell'allenamento della forza utilizzato (Balshawn & Massey, 2016).

In linea generale, un breve esercizio di forza ad alta intensità può portare a miglioramenti nella prestazione di resistenza, mentre con un esercizio a basso carico cercando il cedimento muscolare può portare a adattamenti per quanto riguarda uno specifico cambiamento fenotipico del muscolo (es: Ipertrofia) (Hughes & Ellefsen, 2018).

### 1.2.1. Tipologia di allenamento della forza

L'allenamento della forza rientra tra gli allenamenti anaerobici, cioè tutte quelle esercitazioni ad alta intensità (sollevamento pesi, sprint, agilità) a modalità intermittente (serie e recupero).

Gli allenamenti anaerobici massimali che prevedono l'esecuzione sotto i 10 secondi (attivazione del sistema fosfageno) richiedono periodi di recupero lunghi (5-7 minuti) per permettere al sistema di riequilibrarsi e poter esprimere un'elevata intensità nelle serie successive. Invece, l'allenamento della velocità e della potenza anaerobica, utilizzando intensità sub-massimali, necessitano di tempi di recupero più brevi. Gli adattamenti all'allenamento anaerobico coinvolgono il sistema nervoso, muscolare, connettivo, endocrino e cardiovascolare (Baechle & Earle, 2008; Earle & Baechle, 2004).

L'espressione di forza negli sport di resistenza non si presenta mai in una forma *pura*, ma piuttosto in una combinazione, cioè un'espressione mista tra fattori condizionali e coordinativi. Tuttavia, per comodità la forza può essere suddivisa in varie tipologie, che devono però essere interpretate partendo dalla concezione di *forza generale*, cioè la forza di tutti i gruppi muscolari indipendentemente dallo sport, e *forza speciale*, cioè la forma di espressione tipica di uno sport o dei gruppi muscolari che partecipano ad un determinato movimento sportivo.

La capacità di forza ha una caratteristica di unicità e legata alla capacità di contrazione delle fibre muscolari. Tuttavia, l'espressione della forza può essere distinta in (Fig. 1.2) (Weineck, 2009):

- *forza massimale*, definita come la massima forza che il sistema neuromuscolare può esprimere in una singola contrazione volontaria;
- *forza reattiva*, definita come la capacità di sviluppare una contrazione concentrica in un tempo brevissimo dopo una precedente contrazione eccentrica, cioè all'interno del ciclo di allungamento-accorciamento;

- *forza esplosiva*, definita come la capacità del sistema neuro-muscolare di esprimere elevati gradienti di forza nel minor tempo possibile, partendo da una posizione di statica;
- *forza rapida*, definita come la capacità del sistema neuro-muscolare di muovere il corpo e le sue parti alla massima velocità;
- *forza resistente*, definita come la capacità di sviluppare contrazioni per un periodo di tempo elevato, opponendosi all'insorgenza della fatica.

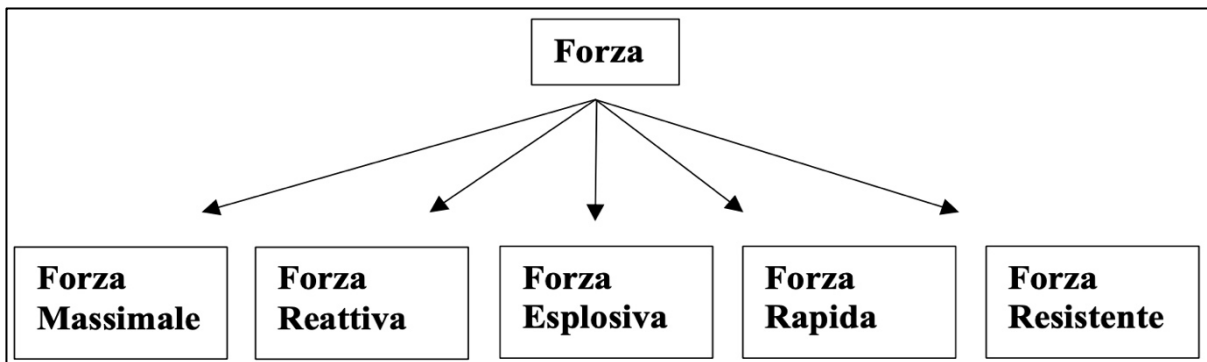


Figura 1.2. Le diverse espressioni della Forza.

Oltre che per il diretto miglioramento dell'espressione di forza, l'allenamento della forza porta ad altre modificazioni quali: il miglioramento delle capacità tecnico-condizionali (es: contrasti di gioco e movimenti tecnici); il miglioramento della preparazione atletica generale; il miglioramento nella sopportazione dei carichi e come base per applicare metodi di allenamento specifici; il miglioramento di gruppi muscolari minori ma sinergici al movimento e il miglioramento dei muscoli antagonisti (cioè i muscoli che si oppongono al movimento) (Weineck, 2009).

Esistono varie metodologie di allenamento della forza. In base alla tensione muscolare sviluppata si possono suddividere in: *Allenamento Dinamico o Auxotonico* della Forza (cioè che comprende componenti isometriche e isotoniche assieme), che viene ulteriormente suddiviso in allenamento dinamico positivo (movimento concentrico) e negativo (movimento eccentrico); *Allenamento Misto* (dinamico positivo-negativo nello stesso movimento) e tra questi nello

specifico troviamo, l'allenamento isocinetico (stessa velocità di esecuzione), l'allenamento de-smodromico (movimento obbligato a velocità predeterminata), l'allenamento pliometrico (anche detto allenamento di elasticità o allenamento di reattività) che sfrutta il riflesso miotatico (ciclo allungamento-accorciamento) e le componenti elastiche del muscolo; *Allenamento Statico o Isometrico*, in cui non avviene lo spostamento del carico pur applicando una forza (Weinck, 2009).

Inoltre, si può utilizzare un allenamento della forza *Specifica*, cioè una modalità di allenamento che richiama i gesti atletici caratterizzanti la disciplina e *Non-specifica/Aspecifica*, cioè che non richiama i gesti specifici della disciplina. Tra gli allenamenti della *Forza Aspecifica* rientrano tutte le esercitazioni a corpo libero o con macchinari, con o senza sovraccarico e con l'utilizzo di espressioni di forza resistente, esplosiva, pliometrica, massima e isometrica. Per esempio, l'allenamento esplosivo, visto il basso carico o nullo che di norma viene utilizzato, porta ad adattamenti funzionali e di espressione della forza dovuti principalmente a miglioramenti di carattere neurale, mentre l'allenamento della forza massima porta ad un adattamento anche di tipo strutturale (Balshawn & Massey, 2016).

L'allenamento isometrico della forza è una modalità alternativa che ha dimostrato indurre meno affaticamento e aumentare la forza rispetto all'allenamento dinamico, però esclusivamente all'angolo di lavoro utilizzato (Lum & Barbosa, 2019).

L'allenamento pliometrico migliora l'elasticità tendinea durante le contrazioni balistiche e la *stiffness* muscolare durante le attività caratterizzate da un allungamento muscolare repentino; tali adattamenti possono portare al miglioramento delle prestazioni di resistenza durante le attività che prevedono il ciclo di allungamento-accorciamento muscolare (Kubo & Ishigaki, 2017).

Negli ultimi anni, nell'allenamento degli atleti élite di resistenza, si è visto crescere l'utilizzo di protocolli di forza aspecifica in abbinamento a quelli di resistenza (Doma & Deakin, 2019). Tuttavia, dall'analisi della letteratura non emerge una chiara individuazione del

protocollo e della tipologia di espressione di forza aspecifica da utilizzare nell'allenamento degli sport di resistenza.

Nello sci di fondo, già dall'inizio degli anni '90, i ricercatori hanno inserito esercitazioni di forza aspecifica per il miglioramento della prestazione di resistenza. Infatti, lo studio di Paavolainen e colleghi, evidenziava come l'inserimento dell'allenamento della forza aspecifica tramite esercitazioni esplosive, come lo squat saltato, portava ad un miglioramento della prestazione senza modificare direttamente le componenti aerobiche; infatti, i valori di  $\dot{V}O_2$  registrati in questo studio non variavano da pre- a post-intervento, mentre i valori di soglia anaerobica miglioravano significativamente post-intervento (Paavolainen & Häkkinen, 1991).

Allo stesso modo però anche l'inserimento di un protocollo di forza massima in combinazione del tradizionale allenamento di resistenza portava ad un miglioramento della prestazione andando a migliorare l'economia del gesto (Hoff & Helgerud, 1999; Hoff & Gran, 2002), oppure migliorando il consumo di  $O_2$  durante un test specifico (Losnegard & Mikkelsen, 2011).

In contrapposizione però un recente studio attribuisce un minore effetto all'allenamento della forza massima nel miglioramento della prestazione di resistenza nello sci di fondo, dovuto al fatto che questo studio rispetto ai precedenti includeva giovani atlete forse non ancora capaci di interpretare correttamente le richieste dello studio (Skattebo & Hallén, 2016).

Nei ciclisti, tuttavia, Bishop e colleghi, non evidenziano sostanziali miglioramenti nella prestazione di endurance a seguito dell'inserimento di un protocollo di forza massima piuttosto che ad altri. Tale assenza di miglioramento può essere dovuta ad un volume di allenamento della forza non sufficiente a creare adattamenti significativi (Bishop & Jenkins, 1999). Altri studi su ciclisti, invece, mostrano come l'utilizzo di un protocollo di forza esplosiva prevenga la perdita o lo scadimento della prestazione di resistenza durante una prova a cronometro (Bastiaans & van Diemen, 2001) e possa aumentare l'espressione di potenza di picco e media durante la prova (Paton & Hopkins, 2005).

Altri studi, più recenti, attribuiscono maggior efficacia alla forza massima nel miglioramento della prestazione, ciò dovuto ad un miglioramento nell'efficienza della pedalata (Louis & Hausswirth, 2012) e nella comparsa ritardata della fatica in una prestazione a cronometro (Sawyer & Stokes, 2014).

Per quanto riguarda la corsa, la ricerca passata mostra risultati contrastanti; infatti, alcuni studi attribuiscono un effetto positivo sull'economia della corsa e ad una comparsa ritardata della fatica in un test di 10 km (Damasceno & Lima-Silva, 2015) a seguito dell'utilizzo della forza massima (Johnson & Quinn, 1997) o della forza esplosiva (Paavolainen & Häkkinen, 1999), oppure a seguito dell'utilizzo della forza pliometrica (Spurrs & Murphy, 2003; Saunders & Telford, 2006). Studi recenti riscontrano difficoltà nell'attribuire efficacia ad una metodologia piuttosto che ad un'altra; per quanto riguarda la forza massima emerge un'efficacia maggiore nel miglioramento dell'economia della corsa senza agire sulla componente aerobica (Støren & Helgerud, 2008), rispetto ad un protocollo di forza esplosiva (Guglielmo & Greco, 2009). Allo stesso modo però, alcuni studi attribuiscono all'allenamento esplosivo e pliometrico i miglioramenti nell'economia del gesto e nella potenza espressa durante la corsa e conseguentemente ad una prestazione finale migliore (Giovanelli & Taboga, 2017).

Così come per le discipline sopracitate, anche nel triathlon, numerosi studi hanno indagato l'effetto delle varie tipologie della forza aspecifica sulle performance di questi atleti. Già alla fine degli anni Ottanta veniva riconosciuto l'effetto positivo della forza massima sulla prestazione e come essa potesse modificare la struttura del muscolo a favore della comparsa delle fibre a contrazione veloce, utili in una disciplina come il triathlon dove i richiami di forza sono necessari per esprimere una prestazione di gara ottimale (Hickson & Dvorak, 1988).

Recentemente, alcuni ricercatori hanno visto che i triatleti andavano incontro ad una alterazione neuromuscolare nella corsa a seguito della prestazione ciclistica; inserendo un allenamento di forza pliometrica si evidenziava un miglioramento nell'economia del gesto e una riduzione nell'alterazione neuromotoria che era emersa durante la corsa pre-intervento (Bonacci

& Green, 2011). In aggiunta è emerso che l'utilizzo di differenti tipologie di forza aspecifica nelle discipline come bici e corsa (che prendono parte all'interezza del triathlon) possa comportare delle modificazioni; infatti, l'allenamento di forza massima sembra essere maggiormente efficace per migliorare l'economia della pedalata mentre quello di forza esplosiva per il miglioramento della corsa. Tale miglioramento sembra dovuto: alla rimodulazione muscolare che avverrebbe all'interno del muscolo, ad una attivazione posticipata delle fibre di tipo II meno efficienti, ad una migliore conduzione-attivazione neuromuscolare, alla conversione delle fibre di tipo rapido in fibre di tipo più resistente alla fatica e ad una migliore *stiffness* muscolo-tendinea (Rønnestad & Mujika, 2014).

Un recente studio ha voluto verificare l'utilizzo della forza massima negli atleti di triathlon di lunghe distanze, riscontrando un miglioramento nella prestazione ciclistica e di corsa, dovuto ad un lavoro muscolare divenuto più efficace, senza aumentare la massa totale dei soggetti, parametro fondamentale in atleti di questo tipo (Luckin-Baldwin & Badenhorst, 2021).



### 1.2.2. Economia del gesto - Working Economy

L'*Economia del gesto* (Working Economy - WE) è il risultato multifattoriale complesso dell'interazione di varie componenti dell'atleta, quali: il livello atletico, il livello biomeccanico, la capacità cardiocircolatoria, la capacità neuromuscolare, la capacità metabolica, e può essere interpretato come il rapporto tra il lavoro svolto e l'energia spesa (Swinnen & Kipp, 2018). In termini assoluti può essere calcolato come il rapporto tra l'assorbimento di ossigeno (ml/Kg/min) e la velocità di spostamento/movimento (m/s) del corpo/mezzo, oppure in termini relativi come all'energia spesa per unità di massa corporea per coprire una distanza orizzontale (ml/Kg/m) (Barnes & Kilding, 2015). L'economia del gesto assume un termine e una caratterizzazione specifica in base alla disciplina sportiva presa in esame.

Il termine *Running Economy* (RE) si riferisce all'economia della corsa e viene usato per esprimere l'assorbimento di ossigeno necessario per correre ad una velocità ottimale (Bassett & Howley, 2000). Oppure, il consumo di ossigeno allo stato stazionario ad una data velocità di corsa, cioè la spesa energetica necessaria per mantenere una velocità costante sub-massimale (Barnes & Kilding, 2015). Dal punto di vista biomeccanico la RE può assumere il significato di efficacia con cui la potenza espressa viene convertita in movimento del corpo, ed è direttamente influenzata dall'antropometria (morfologia degli arti) e dalla biomeccanica (schemi di movimento) dell'atleta (Anderson, 1996). Nello specifico le componenti biomeccaniche che influiscono maggiormente sulla RE sono la frequenza (*Stride Frequency*) e lunghezza (*Stride Length*) della falcata (fattori spaziotemporali), il movimento dell'arto inferiore nei suoi angoli funzionali (cinematica del movimento), la velocità di movimento (cinetica), la capacità di coordinare/sviluppare l'espressione di forza (fattori neuromuscolari), la tipologia di attrezzatura utilizzata (interazione tra scarpa e terreno) e la coordinazione tra tronco e braccia (fattori biomeccanici) (Moore, 2016).

La *Cycling Economy* (CE) è il termine utilizzato per identificare l'economia della pedalata, ed è il rapporto tra la potenza meccanica erogata e la potenza metabolica espressa in termini

percentuali (Swinnen & Kipp, 2018). La CE è influenzata da due variabili: dalla *cadenza* espressa in RPM (Rivoluzioni Per Minuto) e dalla *potenza* espressa in Watt. La cadenza può esser vista come un rapporto tra la forza e la velocità della contrazione muscolare. La potenza invece come l'efficienza dell'erogazione di forza sul pedale. La cadenza ottimale dal punto di vista energetico si trova ad una velocità di contrazione muscolare vicina alla massima potenza ed efficienza nel muscolo isolato (circa 0,3 di forza massima e velocità di contrazione) (Ettema & Lorås, 2009).

Il termine *Swimming Economy* (SE) si riferisce all'economia della nuotata e viene anche indicata con il parametro *Stroke Index* (SI) (Costill & Kovaleski, 1985). Rappresenta la velocità in metri al secondo quadrato per ciclo di bracciata (SI - Stroke Index:  $m^2 \times \text{secondo}$ ), e tale parametro è influenzato anche dall'ambiente in cui si svolge la performance (densità dell'acqua e presenza di correnti), diversamente da altre tipologie di economie del gesto (Chollet & Hue, 2000). A livello fisiologico può esser vista come la più alta potenza metabolica espressa al minor costo energetico, tale da poter sviluppare la massima velocità di nuoto possibile. La potenza metabolica è determinata dalle fonti di energia disponibili e il costo energetico deriva dall'efficacia propulsiva della nuotata e dalla resistenza idrodinamica dell'acqua. A livello biomeccanico, i parametri che influiscono sul costo energetico della nuotata sono l'efficienza di propulsione, la tecnica di nuoto, l'utilizzo della bracciata o della gambata e la loro coordinazione (Zamparo & Cortesi, 2020).

Nello Sci di Fondo, troviamo la *Double-Poling Economy* (DP), cioè l'efficacia nella spinta con le braccia durante il *pattinamento* degli sci, è un parametro utilizzato per valutare la propulsione della parte superiore del tronco abbinata alla "*tecnica classica di scivolamento*", infatti, gli specialisti di lunghe distanze mostrano un'alta DP (Skattebo & Losnegard, 2019).

### 1.3. Triathlon

Il triathlon è uno sport composto da tre differenti discipline, in cui nuoto, ciclismo e corsa vengono completati in sequenza all'interno della stessa gara (Etxebarria & Mujika, 2019). Ogni disciplina è collegata all'altra tramite una transizione che avviene in una specifica area definita zona cambio, dove l'atleta passa da nuoto a ciclismo (Transition 1 -T1) e da ciclismo a corsa (Transition 2 – T2). Nel triathlon moderno sono state sviluppate diverse competizioni dove le distanze per ogni disciplina variano, come mostrato nella tabella 1.1 (Sharma & Périard, 2020; Cuba-Dorado & Álvarez-Yates, 2022).

**Tabella 1.1.** Tipologie di competizioni nella disciplina del Triathlon

TIPOLOGIA DI COMPETIZIONE	DISTANZA NUOTO (m)	DISTANZA CICLISMO (Km)	DISTANZA CORSA (Km)
MIXED-TEAM RELAY (MTR)	Da 250 a 300	Da 5 a 8	Da 1,5 a 2
SUPER SPRINT DISTANCE (SSD)	Da 250 a 500	Da 6,5 a 13	Da 1,7 a 3,5
SPRINT DISTANCE (SD)	750	20	5
OLYMPIC DISTANCE (OD)	1500	40	10
LONG DISTANCE (LD)	4000	120	30
HALF-IRONMAN® DISTANCE (HD)	1900	90	21.1
IRONMAN® DISTANCE (FD)	3800	180	42.2

La distanza Olimpica (OD) è utilizzata durante l'evento individuale ai Giochi Olimpici e frequentemente durante le ITU World Triathlon Series. MTR due atlete e due maschi si sfidano a vicenda per completare un triathlon individuale: i primi Campionati del mondo per questo evento si sono svolti nel 2009 e hanno debuttato alle Olimpiadi di Tokyo del 2020. Half e Ironman è regolamentato dalla World Triathlon Corporation, questi sono gli eventi di triathlon con il formato più lungo e più famoso, a cui prendono parte atleti *élite* e non. L'Ironman World Championship si tiene ogni anno alle Hawaii (Sharma & Périard, 2020; Cuba-Dorado & Álvarez-Yates, 2022).

La natura multidisciplinare del triathlon lo rende uno sport di resistenza che si presta maggiormente ad innovazioni tecniche e metodologiche nel campo dell'allenamento rispetto ad altre discipline di resistenza. Possiede la singolare caratteristica di essere uno sport di resistenza intervallato da momenti ad altissima intensità; necessita di una specifica resistenza che tenga in considerazione questi momenti della competizione che richiedono alte prestazioni di forza e la capacità di utilizzo dei sistemi energetici, entrambi aerobico e anaerobico (Bertucelli & Bottoni, 2014).

Il concatenamento delle tre discipline, senza pausa tra loro, rende unico nel suo genere il triathlon. Per lo sviluppo di una prestazione ottimale diventa fondamentale comprendere l'effetto che ciascuna disciplina può avere sulle prestazioni successive. Infatti, l'efficienza in ogni disciplina può influire sulla successiva ed essere determinante per la prestazione finale (Cubadorado & Álvarez-Yates, 2022). Le diverse distanze del triathlon inducono a requisiti fisiologici variabili che dipendono dalla durata dell'evento e dagli aspetti specifici della competizione. Infatti, nelle distanze più lunghe (Half-Ironman<sup>®</sup>, e Ironman<sup>®</sup>), il triathlon può essere considerato come uno sport puramente aerobico, mentre accorciando le distanze (Distanza Olimpica, Sprint, Super Sprint e Mixed Team Relay) la componente anaerobica acquisisce maggiore importanza (Migliorini & Bini, 1996).

A livello *élite*, le gare di coppa del mondo di triathlon (World Triathlon Series – WTS) su Distanza Olimpica, Sprint e Mixed Team Relay, sia il segmento di nuoto che di corsa sono caratterizzate da prestazioni con una distribuzione dello sforzo alternato ma progressivo (cioè un'alternanza tra alta e media intensità con aumento progressivo durante il segmento), ed una prestazione di ciclismo con uno sforzo intermittente, cioè momenti a bassa intensità vengono intervallati da espressioni di potenza ad alta intensità con scatti massimali, richiedendo quindi qualità anaerobiche ben sviluppate. In contrapposizione, la lunga durata tipica delle gare di Half-Ironman<sup>®</sup> e Ironman<sup>®</sup>, e l'assenza della *scia*, fa sì che si richieda un diverso profilo fisiologico nell'atleta. L'intensità dell'esercizio diviene così sub massimale rispetto agli eventi di breve durata con una prestazione molto più uniforme. Pertanto, durante questi eventi il metabolismo aerobico è quasi l'unico responsabile della produzione di energia e il ruolo che l'ossidazione dei grassi assume è considerevole (Sharma & Périard, 2020).

In aggiunta, negli ultimi anni il cambiamento nell'interpretazione delle gare da parte degli atleti ha portato ad un concetto diverso di resistenza anche nelle lunghe distanze; infatti, sempre più spesso si assiste a finali di gara, dopo ore di competizione, con sprint tra atleti per la conquista della prima posizione, chiedendo così all'atleta di resistenza qualità molto differenti e

specifiche rispetto al passato (Bertucelli & Bottoni, 2014). L'evoluzione delle moderne gare *élite* di triathlon, con partenze ad altissime intensità, continui e ripetuti cambi di ritmo, sprint finali e distanze sempre più corte ad intensità sempre più alte, fanno sì che il sistema anaerobico debba intervenire maggiormente per soddisfare le richieste energetiche della prestazione (Sharma & Périard, 2020).

Dal punto di vista tattico, l'atleta deve conoscere le proprie caratteristiche e capacità così da ottimizzare la propria prestazione. Per esempio, gli atleti con una prestazione di nuoto inferiore rispetto ai migliori dovranno affrontare la zona cambio e i primi minuti del segmento ciclistico più rapidamente, per poter così recuperare le posizioni perse in acqua, portando però ad un consumo energetico e sforzo prodotto maggiore, che potrebbe ripercuotersi successivamente sul risultato finale (Bentley & Vleck, 2004).

Tuttavia, dall'analisi delle gare la prestazione di nuoto non sembra essere direttamente correlato al risultato finale, cioè chi nuota più forte non è detto che vinca la gara. Si è visto però che una migliore velocità di nuoto e posizione nei primi 200/400 metri del segmento natatorio è ricollegabile ad un risultato finale migliore, cioè riesce a posizionarsi nelle prime posizioni della classifica finale (Vleck & Bentley, 2008).

Nel segmento ciclistico, i triatleti tendono a ridurre la velocità e la potenza espressa man mano che ci si avvicinano al cambio con la corsa, con lo scopo di risparmiare energie per il segmento finale (Bernard & Hausswirth, 2009).

Durante la fase di corsa finale gli atleti utilizzano le più alte velocità nella prima metà del segmento, con l'obiettivo di migliorare o mantenere la posizione di classifica, per poi aumentare nuovamente negli ultimi metri finali (Vleck & Bentley, 2008; Le Meur & Hausswirth, 2009).

In conclusione, si può affermare che perdere posizioni o il contatto dal gruppo di testa porterà inevitabilmente a non poter combattere per le prime posizioni, diventa quindi fondamentale per il triatleta *élite* padroneggiare in modo ottimale tutte e tre le discipline e massimizzare al meglio le proprie capacità (Cuba-Dorado & Álvarez-Yates, 2022).

### 1.3.1. Allenamento nel Triathlon

L'obiettivo principale per allenatori e triatleti è effettuare un programma di allenamento che garantisca di esprimere la massima prestazione fisica in concomitanza delle principali competizioni. È di uso frequente, dedicare la maggior parte del volume degli allenamenti a stimolazioni vicine all'intensità di soglia del lattato con valori di lattato di circa 4 mM, oppure in modalità intervallata massimale (High Intensity Interval Training - HIIT) caratterizzati da bassi volumi e intensità massimali con valori di lattato oltre le 4 mM. Tuttavia, negli ultimi anni la distribuzione dell'intensità dell'allenamento di resistenza si è indirizzata verso un allenamento misto, definito “*Polarizzato*” (Stöggl & Sperlich, 2015-2019). L'allenamento polarizzato ha un impatto maggiore sulle variabili chiave della resistenza rispetto all'allenamento di soglia, ad alta intensità o ad alto volume, è caratterizzato dall'alternanza di ampi volumi (80% del totale) svolti a intensità moderate a circa 2 mM di lattato, e restanti volumi (20%) effettuati con stimoli ad intensità massimale e sovra massimale, a circa il 90% del  $\dot{V}O_2$  (Etxebarria & Mujika, 2019; Seiler, 2010).

La particolarità della disciplina del triathlon fa sì che l'atleta *élite* effettui un volume di ore di allenamento settimanale totale maggiore rispetto ad altri atleti di resistenza in altre discipline sportive (es. maratoneti, marciatori, ciclisti), però, il volume di ogni disciplina che compone il triathlon è inferiore a quello degli specialisti della disciplina stessa, ciò dovuto al fatto che i triatleti devono svolgere nello stesso periodo le prestazioni di tre discipline differenti necessitando di un'alternanza e di una rigenerazione tra esse per poter massimizzare l'effetto dell'allenamento. In linea generale l'atleta *élite* svolge un volume di allenamento che varia dalle 15 alle 19 ore settimanali, al netto del tempo dedicato alle sedute di forza e di recupero (Cejuela & Sellés-Pérez, 2022).

Nel triathlon, quando ci si allena contemporaneamente per le tre discipline (nuoto, ciclismo e corsa) si potrebbe verificare un *trasferimento* degli stimoli allenanti. Infatti, quando si somministrano contemporaneamente differenti stimoli di allenamento in termini di tempo,

recupero, intensità e volume, gli effetti possono produrre adattamenti fisiologici centrali e periferici che si trasferiscono da una disciplina all'altra portando agli adattamenti generali necessari; tale trasferibilità dell'allenamento simultaneo è denominata *cross-training*. Per esempio, la capacità aerobica di corsa può migliorare a seguito di un adattamento aerobico centrale indotto dall'allenamento del ciclismo.

L'allenamento del triathlon prevede più sessioni di allenamento al giorno, producendo così una sovrapposizione continua di adattamenti molecolari in una finestra di 24 ore. Tuttavia, le prove biologiche per determinare quali siano le necessità del mondo reale (sul campo) su volume, intensità e durata degli allenamenti sono scarse. Diventa quindi necessaria una maggiore comprensione di queste cascate di segnalazione intracellulare per determinare quale siano le tipologie e la sequenza delle sessioni di allenamento ottimali per i triatleti (Etxebarria & Mujika, 2019).

In aggiunta, l'utilizzo della *scia* nelle competizioni di breve durata (Distanza Olimpica, Sprint, Super Sprint e Mixed Team Relay), porta ad un risparmio energetico maggiore. Infatti, grazie all'utilizzo della scia durante il segmento ciclistico, il consumo energetico può essere ridotto del 25% stando immediatamente dietro (entro 50 centimetri) al ciclista che precede, e se l'atleta è posizionato al centro di un gruppo di ciclisti, tale risparmio può arrivare fino al 40%; di conseguenza risulta evidente che ciò si ripercuote sulla prestazione di corsa finale con un miglioramento di essa (Brisswalter & Hauswirth, 2008). Allo stesso modo durante il nuoto stare in scia ad un atleta che precede porta una riduzione delle resistenze frontali ed a un miglioramento della performance nei 400 mt sino al 3%, risparmiando così energie per la prestazione ciclistica seguente (Chatard & Chollet, 1998; Hauswirth & Lehénaff, 1999). In aggiunta, nuotare perfettamente dietro, a non più di 50 cm dai piedi di un altro atleta, porta a modifiche sostanziali per quanto riguarda i parametri fisiologici come il consumo di O<sub>2</sub> e il lattato (Janssen & Wilson, 2009; Puce & Chamari, 2022), e biomeccanici, infatti, la lunghezza della bracciata

aumenta mentre la frequenza rimane invariata, portando ad una nuotata più efficiente (Chollet & Hue, 2000).

Nel nuoto del Triathlon lo stile principalmente utilizzato è lo Stile Libero (Crawl), tuttavia per necessità tattiche il triatleta può utilizzare altri stili, inoltre, l'allenamento deve prevedere se la prestazione avrà luogo in piscina (25 o 50 m) o in acque libere (mare, lago, fiume e bacini artificiali). Mentre nelle competizioni in piscina la prestazione sarà molto più omogenea e regolare, nelle gare in acque libere, visto le variabili legate ad essa (acqua dolce o salata, condizioni climatiche, correnti, numero di partecipanti, partenza dalla spiaggia o dal pontile oppure partenza immersi nell'acqua), sarà difficile stabilire a priori quale sarà l'intensità e durata del segmento (Cuba-Dorado & Álvarez-Yates, 2022).

Analizzando le competizioni dell'atleta *élite* si evidenzia come la prestazione di nuoto in acque libere sia caratterizzata da partenze ad altissime intensità, attingendo ai sistemi lattacidi e alla capacità di espressione della forza, seguita successivamente da una parte centrale con un'andatura che si colloca a livello della soglia del lattato per poi esprimere una progressione massimale finale con impegno quasi completo da parte del  $\dot{V}O_2\text{max}$ . Dunque, dal punto di vista fisiologico l'obiettivo dell'allenamento di nuoto nel triathlon dovrebbe essere indirizzato verso la capacità di esprimere la massima prestazione cercando di ottimizzare e gestire le energie in modo da poter raggiungere la prima zona di transizione (Nuoto-Ciclismo) nel primo gruppo. Nello specifico deve tener in considerazione gli aspetti peculiari di questo sport, esempio, durante un allenamento di Potenza Aerobica in piscina (ambiente maggiormente utilizzato perché l'acqua più "pesante", cioè con una minor galleggiabilità, e dunque più allenante dal punto di vista metabolico) si può richiedere di nuotare con la testa fuori dell'acqua per 5/10 cicli di bracciata ogni 50 m, oppure virare senza spingersi e/o toccare il bordo (Bertucelli & Bottoni, 2014).



Non bisogna dimenticare che la capacità di mantenere la velocità di gara più a lungo possibile, di utilizzare varie frequenze di bracciata e varie metodologie di nuotata sono fondamentali per la riuscita della prestazione.

Dal punto di vista biomeccanico, le partenze con il tuffo e la massima velocità di nuoto nei primi ~25 metri, così come le partenze dall'acqua senza spinta, o nuotare in scia, affiancati e in gruppo e l'utilizzo della *muta* sono tutte esercitazioni necessarie per richiamare le caratteristiche della disciplina.

Dal punto di vista tecnico, il triatleta deve allenare e possedere un'ottima tecnica di nuoto, specialmente nello stile libero, richiamando frequentemente allenamenti per la sensibilità nella presa d'acqua e l'acquaticità del corpo. Bisogna ricordare che spesso il triatleta utilizza una combinazione di stili per affrontare una *boa* oppure un *ingorgo* nel gruppo (es: gambe a Rana e braccia a Stile Libero); dunque, diventa necessario programmare e allenare anche questi aspetti specifici (Bertucelli & Bottoni, 2014).

Nel Ciclismo, l'allenamento del triatleta non può essere diretto esclusivamente ad un miglioramento della velocità, perché le componenti che influiscono sulla velocità di gara sono molteplici (percorso, posizione nel gruppo, condizioni climatiche). Diventa invece fondamentale allenare la potenza aerobica, la forza/potenza espressa e la cadenza utilizzata, necessarie per affrontare l'intensità della gara e i vari cambi di ritmo che il segmento ciclistico richiede (giri di *boa*, rilanci, scatti e recupero posizioni perse a nuoto) (Cuba-Dorado & Álvarez-Yates, 2022). Tuttavia, una buona resistenza aerobica è la base per lo sviluppo di una potenza aerobica elevata e valori di soglia di lattato più alti, con una potenza erogata maggiore ed un recupero più veloce (Bertucelli & Bottoni, 2014). Dal punto di vista biomeccanico utilizzare in allenamento potenze e cadenze che si ritrovano nelle gare *élite* è necessario per stimolare correttamente gli adattamenti all'allenamento ed affrontare le richieste che le competizioni necessitano (Cuba-Dorado & Álvarez-Yates, 2022).

Nella Corsa, l'obiettivo principale dell'allenamento del triatleta è quello di riuscire ad esprimere una performance di corsa ottimale in uno stato di affaticamento, dovuto dalle precedenti discipline. Bisogna considerare nell'allenamento di questi atleti alcuni aspetti specifici della corsa nel triathlon. Infatti, il primo chilometro corso in gara è sempre il più veloce di tutto il segmento e molto più veloce del proprio ritmo gara, mentre il finale di gara prevede sempre più sprint per la conquista delle posizioni finali. Inoltre, i cambi di ritmo dovuti a percorsi con giri di boa e curve richiedono buone capacità di forza, ed il tutto si traduce in un'alta capacità di gestione del lattato e capacità di espressione di forza in stato di affaticamento.

L'allenamento delle transizioni riveste un ruolo importante e deve essere stimolato frequentemente nel triatleta. Aspetti quali l'entrata e l'uscita dall'acqua, la corsa per entrare in zona cambio, la salita e discesa dalla bici e la successiva corsa, devono essere allenati con esercitazioni specifiche che richiamino tali gestualità (Bertucelli & Bottoni, 2014).

Lo scopo principale dell'allenamento diviene quindi preparare il triatleta ad affrontare le caratteristiche che le prestazioni di alto livello richiedono. Ogni atleta necessita di un allenamento individualizzato in termini di frequenza, volume e intensità. Infatti, piani di allenamento personalizzati porteranno ad un miglioramento della prestazione evitando interruzioni indesiderate durante la stagione (Etxebarria & Mujika, 2019).

In conclusione, emergono notevoli differenze nelle richieste specifiche delle competizioni e i requisiti fisiologici devono essere tenuti in considerazione quando si pianificano e si eseguono tattiche di gara, si sviluppano strategie di allenamento, si eseguono test di laboratorio e si conduce l'identificazione dei talenti (Sharma & Périard, 2020).

### 1.3.2. L'atleta di Triathlon

L'atleta élite di triathlon rispetto all'atleta non agonista mostra valori differenti. Infatti, dal punto di vista antropometrico è più alto ( $176 \pm 8$  cm per i maschi e  $167 \pm 7$  cm per le femmine) e con una massa corporea inferiore ( $69 \pm 9$  kg per i maschi e  $56,4 \pm 6,1$  per le femmine) (Puccinelli & Lima, 2020).

Dal punto di vista fisiologico presenta valori di  $\dot{V}O_2\text{max}$  molto elevati anche se non uguali agli specialisti della disciplina; tuttavia, si caratterizza per la particolarità di saper utilizzare valori di  $\dot{V}O_2$  vicini al massimale per lungo tempo (Migliorini & Boni, 1996, Cuba-Dorado & Álvarez-Yates, 2022). Nelle triatlete élite i valori medi del  $\dot{V}O_2\text{max}$  sono di circa 60 ml/kg/min, mentre per i maschi, superano i 70 ml/kg/min (Cuba-Dorado & Álvarez-Yates, 2022; Puccinelli & Lima, 2020). Si riscontra una significativa correlazione tra il livello  $\dot{V}O_2\text{max}$  raggiunto durante il ciclismo o la corsa e la prestazione complessiva del triathlon. Maggiore sarà questo dato, maggiore sarà la probabilità di un risultato finale migliore (Papavassiliou & Zacharogianis, 2019). Un alto livello di intensità del  $\dot{V}O_2\text{max}$  sostenibile (80% per le femmine e 84% per i maschi), fa sì che i triatleti possano esprimere una prestazione di resistenza ad alta intensità per un tempo più lungo, aumentando così la possibilità di ottenere un risultato complessivo migliore. Gli atleti élite mostrano una maggiore soglia ventilatoria data da una capacità di adattamento della resistenza dei muscoli respiratori più alta rispetto ai triatleti di livello inferiore. Questi adattamenti sono dovuti da un carico di allenamento più elevato e da un maggior numero di anni di pratica rispetto ad atleti non agonisti (Cuba-Dorado & Álvarez-Yates, 2022). In aggiunta, il triatleta élite deve possedere ottime doti tattiche, una buona tolleranza lattacida, elevati livelli di soglia lattacida e ottime espressioni di forza (Bertucelli & Bottoni, 2014).

Dal punto di vista biomeccanico, nel nuoto il triatleta deve possedere buone capacità di adattamento della tecnica a seconda dell'ambiente in cui svolge la prestazione (piscina, mare, lago, fiume, bacini), a seconda se utilizzi oppure la *nuda* da nuoto e se si trovi all'interno di un gruppo oppure in testa ad esso. Tra i principali parametri biomeccanici del nuoto troviamo

il numero di cicli di bracciate al minuto (Stroke Rate - SR) oppure la frequenza di bracciata (Stroke Frequency - SF), la lunghezza della bracciata in metri (Stroke Length - SL) e l'efficienza della nuotata, cioè la velocità di spostamento in metri al secondo ogni ciclo di bracciata (Stroke Index - SI). I triatleti élite maschi, in un test di 400 metri mostrano valori massimali di 40 cicli di bracciate al minuto con una media di 38 cicli, una lunghezza di bracciata media di 1,91 metri e un'efficienza della bracciata media di 2,55 m<sup>2</sup>×s e massima di 3,09, nelle femmine il numero di cicli di bracciate al minuto è scarsamente studiato e per quanto riguarda la lunghezza e l'efficienza i valori calano rispettivamente a 1,02 e 1,3 (Chollet & Hue, 2000; Schabort & Killian, 2000).

Per quanto riguarda la disciplina ciclistica i parametri biomeccanici maggiormente indicativi sono la potenza espressa ad ogni pedalata e la cadenza. Durante le gare élite di coppa del mondo su distanza Olimpica, si registra una potenza media di 230 watt per le femmine e 250 watt per i maschi. Invece, per quanto riguarda la potenza media di picco, si registrano valori che si aggirano sui 1000 watt per i maschi e 700 per le femmine. Tuttavia, questi valori devono essere rapportati al peso corporeo degli atleti per poter attribuirgli la corretta valutazione (Bernard & Hauswirth, 2009; Etxebarria & D'Auria, 2014). La cadenza media differisce significativamente tra maschi e femmine, con circa 95 RPM per i maschi contro le 88 delle femmine (Le Meur & Hauswirth, 2009). In generale, nel segmento ciclistico del triathlon l'atleta deve saper alternare la potenza espressa, con picchi di breve durata ad alta intensità, necessari per ottenere una posizione migliore nel gruppo o per non perdere il contatto con esso, e momenti ad intensità sub-massimali costante per mantenere le posizioni guadagnate (Cuba-Dorado & Álvarez-Yates, 2022).

Nella corsa, i parametri biomeccanici più utilizzati sono la lunghezza, la frequenza della falcata e l'oscillazione verticale del bacino, e si evidenzia una differenza significativa tra gli atleti con una tecnica migliore, che si piazzano nelle prime posizioni e gli atleti tecnicamente carenti (Cala & Cejuela, 2008).

Nella pianificazione della preparazione del triatleta bisogna tenere in considerazione che le differenti tipologie di gare di triathlon richiedono diverse peculiarità negli atleti. Ad esempio, nella distanza Sprint ed Olimpica, è richiesto un alto livello di prestazione per tutta la stagione, poiché la classifica di coppa del mondo premierà l'atleta che abbia avuto la continuità di risultati più elevata durante le varie competizioni. Al contrario, gli eventi di lunga durata, come l'Ironman® e l'Half-Ironman®, richiedono una singola prestazione in quello specifico evento. Infine, nelle Olimpiadi di Tokyo 2021 è stata introdotta per la prima volta la staffetta mista, che richiede una prestazione molto breve ed intensa e si allontana dal concetto di atleta di resistenza (Etxebarria & Mujika, 2019).

### 1.3.3. Le Transizioni nel Triathlon

Le transizioni nel triathlon rappresentano l'essenza e la specificità di questo sport e sono tra i momenti più intensi e decisivi della gara. La prima Transizione detta T1 è quella che collega il nuoto al ciclismo, la seconda detta T2 collega il ciclismo alla corsa.

Dal punto di vista prestazionale con il termine transizione ci si riferisce all'interpretazione della parte finale del segmento che precede, alla zona dedicata al cambio e alla parte iniziale del segmento che segue. Inoltre, non deve essere vista esclusivamente come una zona dove avviene il cambio, ma come una parte integrante della prestazione necessaria per il risultato finale (Bertucelli & Bottoni, 2014). Infatti, la posizione acquisita durante le transizioni (T1 e T2) è fondamentale in termini tattici e qualitativi (Olaya & Fernández-Sáez, 2021).

Cejuela R. et al., (2013) nel loro studio hanno evidenziato come la prestazione di triathlon possa essere suddivisa in più dei 3 canonici segmenti (Nuoto-Ciclismo-Corsa); infatti, gli autori hanno suddiviso la prestazione in: i) nuoto; ii) la transizione dal nuoto al ciclismo; iii) il tempo speso nella prima transizione; iv) il ciclismo; v) la transizione dal ciclismo alla corsa; vi) il tempo dedicato nella seconda transizione; vii) la corsa finale. Dallo studio emerge che gli atleti con una migliore posizione di partenza e di arrivo nella zona cambio, abbiano un risultato finale migliore (Cejuela & Cala, 2013).

Altri studi hanno provato a determinare quale sia la fase o la disciplina determinante la prestazione finale nel triathlon, infatti, alcuni attribuiscono alla corsa finale e dunque all'ultima transizione (Ciclismo-Corsa) un'influenza determinante sul risultato finale (Cejuela & Cala, 2013; Ofoghi & Zeleznikow, 2016), altri invece danno maggior peso alla prestazione di nuoto e di ciclismo, dunque alla prima transizione (Olaya & Fernández-Sáez, 2021), altri invece, attribuiscono una differenziazione sull'influenza che le singole discipline possono avere sul risultato finale a seconda delle distanze e delle relative transizioni (Sousa & Aguiar, 2021).

Infatti, nelle lunghe distanze (Half-Ironman<sup>®</sup>, e Ironman<sup>®</sup>), il ciclismo rappresenta la proporzione maggiore del tempo totale di gara e risulta il miglior predittore del risultato finale

specialmente nelle distanze di Half-Ironman<sup>®</sup>, invece nella massima distanza Ironman<sup>®</sup> oltre il ciclismo, la corsa è la prestazione maggiormente determinante sul risultato finale (Sousa & Aguiar, 2021).

Nella distanza Olimpica invece, esiste una correlazione diretta tra le prestazioni ciclistiche e il risultato finale, anche se, con un peso minore, i risultati ottenuti negli altri segmenti (nuoto e corsa) risultano fondamentali. Infatti, per quanto riguarda il segmento del nuoto, c'è una moderata correlazione tra le prestazioni del nuoto e le prestazioni complessive sia negli uomini che nelle donne élite (Olaya-Cuartero & Fernández-Sáez, 2022).

Studi precedenti hanno dimostrato che il 90% dei vincitori maschi e il 70% delle vincitrici femmine sono usciti nel primo gruppo di nuotatori (Landers & Blanksby, 2008) e che una prestazione di nuoto che preveda di rimanere nella prima metà del gruppo aumenta le possibilità di vittoria (Vleck & Bürgi, 2006). Tale evidenza diviene ancor più veritiera nelle distanze più corte (Sprint, Super Sprint e Mixed Team Relay), dove emerge un'alta correlazione, in entrambi i sessi, tra le prestazioni di nuoto e le prestazioni complessive finali (Olaya & Fernández-Sáez, 2021).

Il segmento ciclistico nelle distanze corte, sembrerebbe influenzare il risultato finale specialmente per gli atleti con meno esperienza, e che una giusta programmazione e allenamento mirato alla transizione Ciclismo-Corsa ridurrebbe l'influenza di questo segmento sulla prestazione finale di corsa (Walsh, 2019).

Sembra evidente che determinare quale sia la disciplina o il segmento maggiormente influente possa essere di facile individualizzazione per le competizioni di lunga distanza dove il ciclismo e la corsa rappresentano le discipline prevalenti, mentre con la riduzione delle distanze, la determinazione della disciplina predominante diventa più difficile. Molti studi hanno riconosciuto nella seconda transizione e dunque nelle discipline ciclismo-corsa, un peso statistico e un interesse maggiore, attribuendo al segmento di nuoto una parte meno influente sulla prestazione finale. Tuttavia, la necessità di essere tra i primi (dunque con una prestazione di nuoto

ottimale) per capitalizzare il risultato tramite il ciclismo e la corsa, rendendo il segmento di nuoto una componente integrante e fondamentale per la prestazione complessiva. In conclusione, l'interesse nella prima transizione e nelle strategie per affrontare al meglio le discipline che la riguardano (nuoto-ciclismo) dovrebbe essere implementata e lo sviluppo di altri studi in questa direzione potrebbe aiutare ad interpretare e migliorare la performance di triathlon.



#### 1.4. Progetto di ricerca

La natura multifattoriale che caratterizza la prestazione di un atleta élite di resistenza (Resistenza Aerobica, Forza, Tecnica e Esercitazioni specifiche), specificatamente quella di uno sport come il Triathlon (dove piccole variazioni nella prestazione possono influenzare il risultato finale), richiede la necessità di indagare le varie componenti che influenzano la prestazione e identificare e sperimentare nuove possibili metodologie di allenamento da applicare per ottimizzare la prestazione. Quindi il seguente progetto di ricerca ha avuto come obiettivo quello di investigare le componenti fisiologiche e biomeccaniche che caratterizzano la prestazione di resistenza, per poter delineare una metodologia di intervento multifattoriale che porti al miglioramento della prestazione di resistenza nell'atleta di alto livello.

Una prima Revisione Sistemática della Letteratura con meta-analisi è stata condotta per chiarire gli aspetti dell'allenamento della forza, in particolare "aspecifica", che possano ottimizzare la prestazione degli atleti *élite* di endurance. Con l'obiettivo di definire nell'atleta *élite* quale sia la tipologia di forza aspecifica più efficace a seconda della disciplina di resistenza praticata. Successivamente, tramite una Revisione Narrativa della Letteratura, si è cercato di sintetizzare le evidenze disponibili sui parametri fisiologici e biomeccanici caratterizzanti la prima transizione nel triathlon (Nuoto-Ciclismo) e che influiscono maggiormente sul raggiungimento della prestazione di alto livello. Infine, una Ricerca Sperimentale è stata sviluppata con l'obiettivo di valutare l'effetto di un protocollo di allenamento sulle componenti specifiche della prestazione dell'atleta *élite* nella prima transizione di triathlon (Nuoto-Ciclismo), in modo da fornire nuove metodiche di allenamento su cui poter agire specificatamente in direzione della prima disciplina che compone il triathlon, ossia il nuoto.



**Figura 1.3.** Rappresentazione schematica del progetto di ricerca.

## BIBLIOGRAFIA

1. Anderson T. (1996). Biomechanics and running economy. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 22(2), 76–89. <https://doi.org/10.2165/00007256-199622020-00003>
2. Baechle, T. R. & Earle R. W. (2008). Essentials of strength training and conditioning/National Strength and Conditioning Association. 3<sup>rd</sup> edition – Perugia: Calzetti & Mariucci Editori.
3. Balshaw, T. G., Massey, G. J., Maden-Wilkinson, T. M., Tillin, N. A., & Folland, J. P. (2016). Training-specific functional, neural, and hypertrophic adaptations to explosive- vs. sustained-contraction strength training. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 120(11), 1364–1373. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00091.2016>
4. Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Strategies to improve running economy. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(1), 37–56. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0246-y>
5. Bassett, D. R., Jr, & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(1), 70–84. <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>
6. Bastiaans, J. J., van Diemen, A. B., Veneberg, T., & Jeukendrup, A. E. (2001). The effects of replacing a portion of endurance training by explosive strength training on performance in trained cyclists. *European journal of applied physiology*, 86(1), 79–84. <https://doi.org/10.1007/s004210100507>
7. Beattie, K., Kenny, I. C., Lyons, M., & Carson, B. P. (2014). The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(6), 845–865. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0157-y>
8. Bellotti, P.; Matteucci, E. (1999). Allenamento Sportivo, teoria, metodologia e pratica. Torino: UTET
9. Bentley, D. J., Vleck, V. E. (2004). Pacing strategy and performance in elite World Cup Triathlon. *Medicine & science in sports & exercise*, 36(5), 122
10. Bernard, T., Hausswirth, C., Le Meur, Y., Biguet, F., Dorel, S., & Brisswalter, J. (2009). Distribution of power output during the cycling stage of a Triathlon World Cup. *Medicine and science in sports and exercise*, 41(6), 1296–1302. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318195a233>
11. Berryman, N., Mujika, I., Arvisais, D., Roubeix, M., Binet, C., & Bosquet, L. (2018). Strength Training for Middle- and Long-Distance Performance: A Meta-Analysis. *International journal of sports physiology and performance*, 13(1), 57–63. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0032>
12. Bertucelli C., Bottoni A., Miglio M., Tamburri R. (2014). Triathlon, aspetti metodologici e orientamenti per il tecnico e per l'atleta. Perugia: Calzetti-Mariucci Editore
13. Bishop, D., Jenkins, D. G., Mackinnon, L. T., McEniery, M., & Carey, M. F. (1999). The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(6), 886–891. <https://doi.org/10.1097/00005768-199906000-00018>
14. Bonacci, J., Green, D., Saunders, P. U., Franettovich, M., Blanch, P., & Vicenzino, B. (2011). Plyometric training as an intervention to correct altered neuromotor control during running after cycling in triathletes: a preliminary randomised controlled trial. *Physical therapy in sport: official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 12(1), 15–21. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2010.10.005>
15. Borg, G., & Dahlstrom, H. (1962). A pilot study of perceived exertion and physical working capacity. *Acta Societatis Medicorum Upsaliensis*, 67, 21–27.
16. Brisswalter, J., & Hausswirth, C. (2008). Consequences of drafting on human locomotion: benefits on sports performance. *International journal of sports physiology and performance*, 3(1), 3–15. <https://doi.org/10.1123/ijsp.3.1.3>
17. Brooks G. A. (2018). The Science and Translation of Lactate Shuttle Theory. *Cell metabolism*, 27(4), 757–785. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2018.03.008>
18. Brunetti, G. (2010). Allenare l'atleta, manuale di metodologia dell'allenamento sportivo.

- Roma: Coni Servizi S.p.A. – Scuola dello Sport
19. Cala, A.; Cejuela, R.; Veiga, S.; Garcia, A.; Navarro, E.; Perez Turpin, J.A. Biomechanical Analysis of The Running Part at Competition Triathlon World Cup. Differences Between Men and Women. In Proceedings of the 1st Joint International Pre-Olympic Conference of Sports Science and Sports Engineering, Nanjing, China, 4–7 August 2008; pp. 29–34.
  20. Cejuela, R., & Sellés-Pérez, S. (2022). Road to Tokyo 2020 Olympic Games: Training Characteristics of a World Class Male Triathlete. *Frontiers in physiology*, 13, 835705. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.835705>
  21. Cejuela, R., Cala, A., Pérez-Turpin, J. A., Villa, J. G., Cortell, J. M., & Chinchilla, J. J. (2013). Temporal activity in particular segments and transitions in the olympic triathlon. *Journal of human kinetics*, 36, 87–95. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0009>
  22. Chatard, J. C., Chollet, D., & Millet, G. (1998). Performance and drag during drafting swimming in highly trained triathletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(8), 1276–1280. <https://doi.org/10.1097/00005768-199808000-00015>
  23. Chollet, D., Hue, O., Auclair, F., Millet, G., & Chatard, J. C. (2000). The effects of drafting on stroking variations during swimming in elite male triathletes. *European journal of applied physiology*, 82(5-6), 413–417. <https://doi.org/10.1007/s004210000233>
  24. Costill, D. L., Kovaleski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R., & King, D. (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *International journal of sports medicine*, 6(5), 266–270. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025849>
  25. Cuba-Dorado, A., Álvarez-Yates, T., & García-García, O. (2022). Elite Triathlete Profiles in Draft-Legal Triathlons as a Basis for Talent Identification. *International journal of environmental research and public health*, 19(2), 881. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020881>
  26. Damasceno, M. V., Lima-Silva, A. E., Pasqua, L. A., Tricoli, V., Duarte, M., Bishop, D. J., & Bertuzzi, R. (2015). Effects of resistance training on neuromuscular characteristics and pacing during 10-km running time trial. *European journal of applied physiology*, 115(7), 1513–1522. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3130-z>
  27. Denadai, B. S., de Aguiar, R. A., de Lima, L. C., Greco, C. C., & Caputo, F. (2017). Explosive Training and Heavy Weight Training are Effective for Improving Running Economy in Endurance Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(3), 545–554. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0604-z>
  28. Doma, K., Deakin, G. B., Schumann, M., & Bentley, D. J. (2019). Training Considerations for Optimising Endurance Development: An Alternate Concurrent Training Perspective. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(5), 669–682. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01072-2>
  29. Earle R. W. & Baechle, T. R. (2004). NCSA's Essentials of Personal Training by National Strength and Conditioning Association. 3<sup>rd</sup> edition – Perugia: Calzetti & Mariucci Editori.
  30. Ettema, G., & Lorås, H. W. (2009). Efficiency in cycling: a review. *European journal of applied physiology*, 106(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1008-7>
  31. Etxebarria, N., Mujika, I., & Pyne, D. B. (2019). Training and Competition Readiness in Triathlon. *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(5), 101. <https://doi.org/10.3390/sports7050101>
  32. Etxebarria, N., D'Auria, S., Anson, J. M., Pyne, D. B., & Ferguson, R. A. (2014). Variability in power output during cycling in international Olympic-distance triathlon. *International journal of sports physiology and performance*, 9(4), 732–734. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0303>
  33. Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 39(6), 469–490. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939060-00003>
  34. Garcia-Tabar, I., & Gorostiaga, E. M. (2018). A "Blood Relationship" Between the Overlooked Minimum Lactate Equivalent and Maximal Lactate Steady State in Trained Runners. Back to the Old Days? *Frontiers in physiology*, 9, 1034. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01034>

35. Giovanelli, N., Taboga, P., Rejc, E., & Lazzer, S. (2017). Effects of strength, explosive and plyometric training on energy cost of running in ultra-endurance athletes. *European journal of sport science*, 17(7), 805–813. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1305454>
36. Guglielmo, L. G., Greco, C. C., & Denadai, B. S. (2009). Effects of strength training on running economy. *International journal of sports medicine*, 30(1), 27–32. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1038792>
37. Haddad, M., Stylianides, G., Djaoui, L., Delal, A., & Chamari, K. (2017). Session-RPE Method for Training Load Monitoring: Validity, Ecological Usefulness, and Influencing Factors. *Frontiers in neuroscience*, 11, 612. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00612>
38. Hausswirth, C., Lehénaff, D., Dréano, P., & Savonen, K. (1999). Effects of cycling alone or in a sheltered position on subsequent running performance during a triathlon. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(4), 599–604. <https://doi.org/10.1097/00005768-199904000-00018>
39. Hickson, R. C., Dvorak, B. A., Gorostiaga, E. M., Kurowski, T. T., & Foster, C. (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 65(5), 2285–2290. <https://doi.org/10.1152/jappl.1988.65.5.2285>
40. Hoff, J., Gran, A., & Helgerud, J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 12(5), 288–295. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2002.01140.x>
41. Hoff, J., Helgerud, J., & Wisløff, U. (1999). Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(6), 870–877. <https://doi.org/10.1097/00005768-199906000-00016>
42. Hoppeler H. (2018). Deciphering  $\dot{V}O_2$  max: limits of the genetic approach. *The Journal of experimental biology*, 221(Pt 21), jeb164327. <https://doi.org/10.1242/jeb.164327>
43. Hughes, D. C., Ellefsen, S., & Baar, K. (2018). Adaptations to Endurance and Strength Training. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 8(6), a029769. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a029769>
44. Janssen, M., Wilson, B. D., & Toussaint, H. M. (2009). Effects of drafting on hydrodynamic and metabolic responses in front crawl swimming. *Medicine and science in sports and exercise*, 41(4), 837–843. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818f2a9b>
45. Johnson, R. E.; Quinn, T. J.; Kertzer, R.; Vroman, N. B. (1997) Strength Training in Female Distance Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11(4), 224-229
46. 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>
47. Kubo, K., Ishigaki, T., & Ikebukuro, T. (2017). Effects of plyometric and isometric training on muscle and tendon stiffness in vivo. *Physiological reports*, 5(15), e13374. <https://doi.org/10.14814/phy2.13374>
48. Le Meur, Y., Hausswirth, C., Dorel, S., Bignet, F., Brisswalter, J., & Bernard, T. (2009). Influence of gender on pacing adopted by elite triathletes during a competition. *European journal of applied physiology*, 106(4), 535–545. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1043-4>
49. Li, R. T., Kling, S. R., Salata, M. J., Cupp, S. A., Sheehan, J., & Voos, J. E. (2016). Wearable Performance Devices in Sports Medicine. *Sports health*, 8(1), 74–78. <https://doi.org/10.1177/1941738115616917>
50. Losnegard, T., Mikkelsen, K., Rønnestad, B. R., Hallén, J., Rud, B., & Raastad, T. (2011). The effect of heavy strength training on muscle mass and physical performance in elite cross-country skiers. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(3), 389–401. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01074.x>
51. Louis, J., Hausswirth, C., Easthope, C., & Brisswalter, J. (2012). Strength training improves cycling efficiency in master endurance athletes. *European journal of applied physiology*, 112(2), 631–640. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2013-1>
52. Luckin-Baldwin, K. M., Badenhorst, C. E., Cripps, A. J., Landers, G. J., Merrells, R. J.,

- Bulsara, M. K., & Hoyne, G. F. (2021). Strength Training Improves Exercise Economy in Triathletes During a Simulated Triathlon. *International journal of sports physiology and performance*, 16(5), 663–673. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0170>
53. Lum, D., & Barbosa, T. M. (2019). Brief Review: Effects of Isometric Strength Training on Strength and Dynamic Performance. *International journal of sports medicine*, 40(6), 363–375. <https://doi.org/10.1055/a-0863-4539>
54. Mann, T., Lamberts, R. P., & Lambert, M. I. (2013). Methods of prescribing relative exercise intensity: physiological and practical considerations. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(7), 613–625. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0045-x>
55. Migliorini S. & Bini A.M. (1996). Triathlon, allenamenti e gare, aspetti tecnici e medici. Milano: Edizioni Correre
56. Moore I. S. (2016). Is There an Economical Running Technique? A Review of Modifiable Biomechanical Factors Affecting Running Economy. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(6), 793–807. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0474-4>
57. Morici, G., Gruttad'Auria, C. I., Baiamonte, P., Mazzuca, E., Castrogiovanni, A., & Bonsignore, M. R. (2016). Endurance training: is it bad for you? *Breathe (Sheffield, England)*, 12(2), 140–147. <https://doi.org/10.1183/20734735.007016>
58. Mujika I. (2017). Quantification of Training and Competition Loads in Endurance Sports: Methods and Applications. *International journal of sports physiology and performance*, 12(Suppl 2), S29–S217. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0403>
59. Murlasits, Z., Kneffel, Z., & Thalib, L. (2018). The physiological effects of concurrent strength and endurance training sequence: A systematic review and meta-analysis. *Journal of sports sciences*, 36(11), 1212–1219. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1364405>
60. Ofoghi, B., Zeleznikow, J., Macmahon, C., Rehula, J., & Dwyer, D. B. (2016). Performance analysis and prediction in triathlon. *Journal of sports sciences*, 34(7), 607–612. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1065341>
61. Olaya, J., Fernández-Sáez, J., Østerlie, O., & Ferriz-Valero, A. (2021). Contribution of Segments to Overall Result in Elite Triathletes: Sprint Distance. *International journal of environmental research and public health*, 18(16), 8422. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168422>
62. Olaya-Cuartero, J., Fernández-Sáez, J., Østerlie, O., & Ferriz-Valero, A. (2022). Concordance Analysis between the Segments and the Overall Performance in Olympic Triathlon in Elite Triathletes. *Biology*, 11(6), 902. <https://doi.org/10.3390/biology11060902>
63. Paavolainen, L., Häkkinen, K., & Rusko, H. (1991). Effects of explosive type strength training on physical performance characteristics in cross-country skiers. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 62(4), 251–255. <https://doi.org/10.1007/BF00571548>
64. Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A., & Rusko, H. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 86(5), 1527–1533. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.86.5.1527>
65. Papavassiliou, T., Zacharogiannis, E., Soultanakis, H., Paradisis, G., & Dagli Pagotto, F. (2019). Contribution of select physiological variables to sprint triathlon performance. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 59(8), 1311–1318. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.19.09190-4>
66. Paton, C. D., & Hopkins, W. G. (2005). Combining explosive and high-resistance training improves performance in competitive cyclists. *Journal of strength and conditioning research*, 19(4), 826–830. <https://doi.org/10.1519/R-16334.1>
67. Puccinelli, P. J., Lima, G., Pesquero, J. B., de Lira, C., Vancini, R. L., Nikolaidis, P. T., Knechtle, B., & Andrade, M. S. (2020). Previous experience, aerobic capacity and body composition are the best predictors for Olympic distance triathlon performance: Predictors in amateur triathlon. *Physiology & behavior*, 225, 113110. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.113110>

68. Puce, L., Chamari, K., Marinelli, L., Mori, L., Bove, M., Faelli, E., Fassone, M., Cotellessa, F., Bragazzi, N. L., & Trompetto, C. (2022). Muscle Fatigue and Swimming Efficiency in Behind and Lateral Drafting. *Frontiers in physiology*, 13, 835766. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.835766>
69. Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2011). Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(2), 250–259. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01035.x>
70. Saunders, P. U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Peltola, E. M., Cunningham, R. B., Gore, C. J., & Hawley, J. A. (2006). Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *Journal of strength and conditioning research*, 20(4), 947–954. <https://doi.org/10.1519/R-18235.1>
71. Sawyer, B. J., Stokes, D. G., Womack, C. J., Morton, R. H., Weltman, A., & Gaesser, G. A. (2014). Strength training increases endurance time to exhaustion during high-intensity exercise despite no change in critical power. *Journal of strength and conditioning research*, 28(3), 601–609. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31829e113b>
72. Schabert, E. J., Killian, S. C., St Clair Gibson, A., Hawley, J. A., & Noakes, T. D. (2000). Prediction of triathlon race time from laboratory testing in national triathletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(4), 844–849. <https://doi.org/10.1097/00005768-200004000-00018>
73. 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/ijsp.5.3.276>
74. Sharma A. P. & Périard J. D. (2020). Physiological Requirements of the different Distances of Triathlon. S. Migliorini. *Triathlon Medicine* (pag 5-18). ©Springer Nature, Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22357-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22357-1_2)
75. Skattebo, Ø., Hallén, J., Rønnestad, B. R., & Losnegard, T. (2016). Upper body heavy strength training does not affect performance in junior female cross-country skiers. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 26(9), 1007–1016. <https://doi.org/10.1111/sms.12517>
76. Skattebo, Ø., Losnegard, T., & Stadheim, H. K. (2019). Double-Poling Physiology and Kinematics of Elite Cross-Country Skiers: Specialized Long-Distance Versus All-Round Skiers. *International journal of sports physiology and performance*, 1190–1199. Advance online publication. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0471>
77. Sousa, C. V., Aguiar, S., Olher, R. R., Cunha, R., Nikolaidis, P. T., Villiger, E., Rosemann, T., & Knechtle, B. (2021). What Is the Best Discipline to Predict Overall Triathlon Performance? An Analysis of Sprint, Olympic, Ironman® 70.3, and Ironman® 140.6. *Frontiers in physiology*, 12, 654552. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.654552>
78. Spurrs, R. W., Murphy, A. J., & Watsford, M. L. (2003). The effect of plyometric training on distance running performance. *European journal of applied physiology*, 89(1), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0741-y>
79. Stöggl, T. L., & Sperlich, B. (2019). Editorial: Training Intensity, Volume and Recovery Distribution Among Elite and Recreational Endurance Athletes. *Frontiers in physiology*, 10, 592. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00592>
80. Stöggl, T. L., & Sperlich, B. (2015). The training intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes. *Frontiers in physiology*, 6, 295. <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00295>
81. Støren, O., Helgerud, J., Støa, E. M., & Hoff, J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(6), 1087–1092. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318168da2f>
82. Swinnen, W., Kipp, S., & Kram, R. (2018). Comparison of running and cycling economy in runners, cyclists, and triathletes. *European journal of applied physiology*, 118(7), 1331–1338. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3865-4>

83. Vleck, V. E., Bürgi, A., & Bentley, D. J. (2006). The consequences of swim, cycle, and run performance on overall result in elite olympic distance triathlon. *International journal of sports medicine*, 27(1), 43–48. <https://doi.org/10.1055/s-2005-837502>
84. Walsh J. A. (2019). The Rise of Elite Short-Course Triathlon Re-Emphasises the Necessity to Transition Efficiently from Cycling to Running. *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(5), 99. <https://doi.org/10.3390/sports7050099>
85. Weineck, J. (2009). L'allenamento Ottimale – 2<sup>a</sup> ed. Perugia: Calzetti-Mariucci Editore
86. Zamparo, P., Cortesi, M., & Gatta, G. (2020). The energy cost of swimming and its determinants. *European journal of applied physiology*, 120(1), 41–66. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04270-y>



## 2. ALLENAMENTO DELLA FORZA ASPECIFICA NEGLI SPORT DI RESISTENZA: REVISIONE SISTEMÁTICA DELLA LETTERATURA E META-ANALISI

### 2.1. Introduzione

L'Allenamento Concorrente (*Concurrent Training*) è da tempo riconosciuto efficace nel migliorare le prestazioni sportive e non, infatti, gli esperti ritengono che l'aggiunta dell'allenamento di forza *aspecifica* all'allenamento di resistenza specifico di uno sport, migliori la prestazione sportiva di resistenza (Hickson & Dvorak, 1988; Denadai & de Aguiar, 2017; Burnie & Barrat, 2018).

Con allenamento della forza aspecifica si intende qualsiasi esercizio di forza effettuato con movimenti che non siano specifici di quella disciplina (es. squat, affondi, stacco da terra, leg press, leg extension machine) con o senza sovraccarico.

L'allenamento della forza *specifico* (es. scatti in salita per la corsa, esercitazioni di forza resistente in salita o in pianura per il ciclismo, traini con sovraccarichi durante la corsa o per lo sci di fondo) è ampiamente riconosciuto nel miglioramento delle prestazioni di resistenza. Ad esempio, l'economia della corsa migliora incorporando sprint in salita nei programmi di allenamento di resistenza (Barnes & Hopkins, 2013).

Allo stesso modo, la stimolazione dell'allenamento della forza aspecifica è riconosciuta efficace e finalizzata a risultati simili: ad esempio, un esercizio di forza massima (squat con il massimo carico esterno) prima di una prestazione ciclistica sui 20 Km migliora la prova a cronometro, grazie ad una migliore economia della pedalata (Silva & Silva-Júnior, 2014).

Dunque, l'allenamento della forza aspecifica aiuta gli atleti di resistenza a essere più economici, in termini di forze sub-massimali sviluppate durante la performance (passo durante la corsa o pedalata durante il ciclismo) (Beattie & Kenny, 2014).

Per un risultato ottimale, l'allenamento della forza aspecifica dovrebbe essere di intensità, frequenza e volume misto (Murlasits & Kneffel, 2018) e gli esercizi dovrebbero utilizzare cinetiche e schemi (tasso di sviluppo della forza - RFD, forza di picco, accelerazione, ecc.) simili ai requisiti atletici dello sport praticato (Bazyler & Abbott, 2015) (es.: un'alta velocità di esecuzione del movimento durante l'esercizio se lo sport richiede movimenti veloci, oppure un alto numero di ripetizioni saltate se lo sport richiede alte capacità elastiche).

Sebbene sia riconosciuto l'effetto dell'allenamento della forza aspecifica sulle prestazioni di resistenza, non è ancora chiaro quale tipologia (allenamento della forza massimale, pliometrico, esplosivo o di resistenza) sia più efficace a seconda della disciplina sportiva di resistenza praticata. Allenare la forza con diversi tipi di movimento del carico – dinamico o isometrico, massimo o di resistenza, esplosivo o pliometrico – potrebbe essere più efficace per alcuni sport. Per esempio, alcuni studi sul nuoto hanno fornito prove a favore dell'allenamento della forza pliometrica (Sammoud & Negra, 2019; Potdevin & Albery, 2011), ed invece altri a favore dell'allenamento della forza massima (Keiner & Wirth, 2021). Allo stesso modo, nelle discipline di corsa l'allenamento della forza esplosiva sembra esser quello più efficace, in quanto migliora il tempo di attivazione muscolare, mentre l'allenamento della forza massima risulta meno efficiente (Tanghe & Martin, 2020).

La disomogeneità dei risultati emersi può essere dovuta alla non uniformità dei protocolli utilizzati negli studi, al periodo in cui essi sono stati effettuati (in stagione agonistica o no), ai soggetti presi in esame (livello di allenamento), alla durata e alla modalità di intervento. Infatti, in stesse discipline, spesso si utilizzano modalità di allenamento della forza aspecifica completamente differenti senza che emerga quale sia maggiormente efficace per quello sport, oppure vengono presi in esame soggetti con livelli di allenamento opposti o utilizzati periodi di intervento diversificati.

Dall'analisi della letteratura, sembra evidente come ci sia un'ampia variabilità nell'utilizzo dell'allenamento della forza aspecifica negli sport di resistenza.

Diventa quindi necessario identificare, tramite una revisione sistematica della letteratura ed un'analisi quantitativa dei risultati, quale sia la tipologia di allenamento della forza specifica (massimale, esplosiva, pliometrica e altro) ottimale a seconda dello sport di resistenza praticato, che sia sci di fondo, ciclismo, corsa o triathlon, nel miglioramento della prestazione di resistenza.

## 2.2. Materiali e metodi

### 2.2.1. Strategia di ricerca della letteratura

La Revisione Sistemática è stata condotta secondo le linee guida del PRISMA (Moher & Liberati, 2009).

Gli studi inclusi in questa revisione sono stati identificati attraverso una ricerca nei database PubMed, Google Scholar e Science Direct. I seguenti termini di ricerca sono stati utilizzati in combinazione tramite l'utilizzo dell'operatore booleano: *Strength training AND Endurance Performance, Strength training AND triathlon endurance, Strength training AND Running economy, Strength training AND Cycling economy, Strength training AND working economy, Strength training AND Cross-Country Skiing.*

### 2.2.2. Criteri di eleggibilità della letteratura

#### Criteri di Inclusione

- Studi dal 1° Gennaio 2009 al 31 Dicembre 2020;
- Studi di ricerca sperimentale pubblicati su riviste scientifiche internazionali;
- Gli atleti coinvolti dovevano possedere un  $\dot{V}O_2\text{max}$ : femmine > 50 ml/min/kg; Maschi > 55 ml/min/kg o un livello di esperienza elevato (atleti agonisti);
- Atleti con un periodo di allenamento di resistenza > 6 mesi;
- Intervento di forza > 4 settimane;
- Presenza del gruppo di controllo e che tale gruppo conduca solo l'allenamento aerobico.

#### Criteri di Esclusione

- Revisioni letterarie e tesi di Dottorato di Ricerca;
- Interventi specifici di allenamento della forza (es. esercizi di forza direttamente correlati a una specifica attività sportiva, scatti in salita a piedi, esercitazioni di forza con la bici);
- Studi che valutano un solo parametro fisiologico o biomeccanico (es.  $\dot{V}O_2\text{max}$ , Lattato, economia del gesto (WE), test a cronometro (TT) o test a cronometro ad esaurimento

(TTE); utile ad escludere gli effetti accidentali che potrebbero migliorare le prestazioni di resistenza;

- Soggetti non agonisti.

### **2.2.3. Valutazione qualitativa della letteratura selezionata**

Gli studi selezionati sono stati valutati utilizzando la scala Physiotherapy Evidence Database (PEDro). La scala PEDro tiene conto della validità interna e dell'interpretabilità delle prove sperimentali. La scala valuta la validità interna attraverso aspetti del disegno dello studio, come la randomizzazione, l'allocazione, la somiglianza delle misure chiave al basale e "l'acceca-mento" di soggetti, dei terapeuti e dei valutatori. Inoltre, la scala misura l'interpretabilità della ricerca esaminando le statistiche tra i gruppi, le descrizioni delle misure puntuali e le misure della variabilità. La scala a 11 voci fornisce un punteggio massimo di 10 punti se tutti i criteri sono soddisfatti (Tab. 2.1). Sono stati infine inclusi nell'analisi solo i documenti che hanno raggiunto un *cut-off* minimo di 5 punti sulla scala PEDro.

Tabella 2.1. Scala Physiotherapy Evidence Database (PEDro)

Studio	Voce 1	Voce 2	Voce 3	Voce 4	Voce 5	Voce 6	Voce 7	Voce 8	Voce 9	Voce 10	Voce 11	Totale
Berryman & maurel, 2010	Si	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Mikkola & vesterinen, 2011	Si	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Piacentini & de ioanon, 2013	Si	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Sedano & marin, 2013	Si	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Ramirez-campillo & alvarez, 2014	Si	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Vikmoen & raastad, 2016	Si	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Rønnestad & hansen, 2010	Si	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	5
Sunde & støren, 2010	Si	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	5
Aagaard & andersen, 2011	Si	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Rønnestad & hansen, 2011	Si	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	5
Hansen & rønnestad., 2012	Si	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	5
Rønnestad & hansen, 2015	Si	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Vikmoen & ellefsen, 2016	Si	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Rønnestad & hansen, 2017	Si	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Hauswirth & argentin, 2010	Si	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Vikmoen & rønnestad, 2017	Si	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Losnegard & mikkelsen, 2011	Si	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	5

Articoli nella scala PEDro. Voci: 1 = sono stati specificati i criteri di ammissibilità; 2 = i soggetti sono stati assegnati in modo casuale ai gruppi; 3 = l'allocazione è stata occultata; 4 = i gruppi erano simili al basale per quanto riguarda gli indicatori prognostici più importanti; 5 = accecamento di tutti i soggetti; 6 = accecamento di tutti i terapeuti che hanno somministrato la terapia; 7 = accecamento di tutti i valutatori che hanno misurato almeno un risultato chiave; 8 = le misure di un risultato chiave sono state ottenute dall'85% dei soggetti inizialmente assegnati ai gruppi; 9 = tutti i soggetti per i quali erano disponibili misure di esito hanno ricevuto la condizione di trattamento o di controllo assegnata o, in caso contrario, i dati per almeno un esito chiave sono stati analizzati per "intenzione di trattare"; 10 = i risultati dei confronti statistici tra i gruppi sono riportati per almeno un risultato chiave; 11 = lo studio fornisce sia misure puntuali che misure di variabilità per almeno un risultato chiave.

#### 2.2.4. Analisi statistica

Sono state condotte due meta-analisi utilizzando Statsdirect v3.3 (Statsdirect, Birkenhead, UK) con l'obiettivo di scoprire quale tipo di allenamento della forza aspecifica ha migliorato maggiormente la capacità di resistenza, quindi le prestazioni.

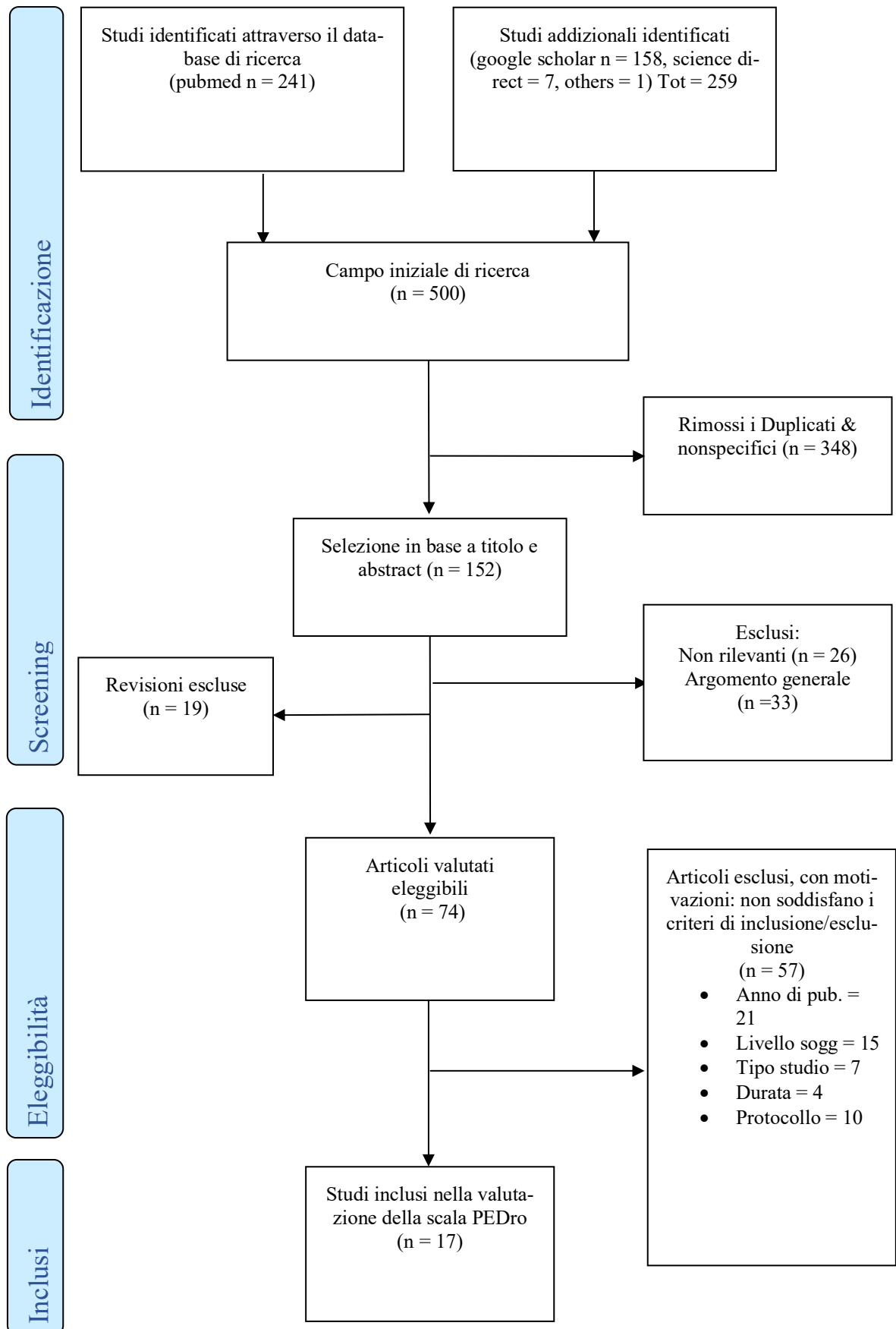
Il primo risultato includeva l'economia del gesto, valutata come Working Economy (WE); il secondo valutava le prestazioni di resistenza attraverso il Tempo su di un Test (TT) e Tempo su di un Test fino all'esaurimento (TTE). Gli studi inclusi nelle meta-analisi sono stati sottoposti a screening per l'incoerenza utilizzando la statistica  $I^2$  e le stime aggregate dell'effetto dell'allenamento della forza aspecifica sull'abilità di resistenza sono state ottenute con il metodo di *DerSimonian-Laird* in un modello a effetti casuali. I risultati di (Vikmoen & Rønnestad, 2017) sull'economia del gesto sono stati duplicati per descrivere l'impatto della forza aspecifica sulla corsa e sulla bicicletta separatamente. Il test di Egger è stato utilizzato per valutare la presenza di eventuali *bias* di pubblicazione.

## **2.3. Risultati**

### **2.3.1. Studi inclusi**

La ricerca iniziale ha prodotto 500 pubblicazioni. Sono stati esclusi gli studi duplicati (n = 348). Gli studi ritenuti potenzialmente rilevanti dopo la lettura dell'abstract (n = 152) sono stati rivisti, leggendo il testo completo. Tra questi, più articoli sono stati esclusi perché non rilevanti (n = 26) o perché trattavano argomenti generici (n = 33) o perché revisioni della letteratura (n = 19). Dei restanti 74 articoli, 57 articoli sono stati esclusi perché non soddisfacevano i criteri di inclusione (21 = anno di pubblicazione, 7 = tesi di dottorato, 15 = livello atletico e livello di esperienza degli atleti, 4 = durata dell'intervento di forza, 10 = intervento di forza specifica). Alla fine, in questa rassegna sono stati inclusi 17 studi (Fig. 2.1), incentrati sui seguenti sport di resistenza: sci di fondo (n = 1), triathlon (n = 2), ciclismo (n = 8) e corsa (n = 6).





**Figura 2.1.** Diagramma di flusso Prisma. Processo di selezione e i criteri di inclusione ed esclusione utilizzati nella revisione sistemática (Moher & Liberati, 2009).

### 2.3.2. Esito della selezione

I dati degli studi selezionati sono stati estratti e riassunti in tre tabelle principali come segue:

#### Caratteristiche degli studi

Tutti i dettagli dello studio, inclusi scopo, atleti, disegno di ricerca e valutazione della qualità, sono stati riportati nella Tabella 2.2: nome dell'autore e anno di pubblicazione, caratteristiche degli atleti (numero, sesso, età media,  $\dot{V}O_2$  max medio, esperienza e, presenza e tipologia di allenamento di resistenza), disegno di ricerca (tipologia di ricerca e assegnazione degli atleti ai gruppi di ricerca) e valutazione della qualità da parte della Scala PEDro.

Tra i 17 studi inclusi, troviamo un totale di 334 atleti nazionali e internazionali (n = 244 maschi, n = 90 femmine), con un'età media di  $27,75 \pm 6,76$  e un range di  $\dot{V}O_2$  max compreso tra 52,4 e 80 ml/kg/min, e distribuiti in un gruppo di ricerca specifico come segue: dieci studi utilizzano il modello Randomized Controlled Trial (RCT) (Berryman & Maurel, 2010; Piacentini & De Ioannon, 2013; Ramírez-Campillo & Alvarez, 2014; Vikmoen & Raastad, 2016; Aagaard & Andersen, 2011; Rønnestad & Hansen, 2015; Rønnestad & Hansen, 2017; Hauswirth & Argentin, 2010; Vikmoen & Rønnestad, 2017), che alloca casualmente i partecipanti nei gruppi di controllo o di intervento; quattro studi non randomizzati hanno stratificato i partecipanti per sesso, età e  $\dot{V}O_2$  max (Mikkola & Vesterinen, 2011; Sunde & Støren, 2010; Hansen & Rønnestad, 2012; Vikmoen & Ellefsen, 2016); tre studi (Rønnestad & Hansen, 2010; Rønnestad & Hansen, 2011; Losnegard & Mikkelsen, 2011) hanno utilizzato il metodo della scelta autonoma per distribuire i soggetti nei gruppi.

Tutti i soggetti erano atleti "altamente allenati" o di "alto livello" con un allenamento di resistenza "ET dichiarato" presente nella loro programmazione, in nove studi (Sedano & Marín, 2013; Vikmoen & Raastad, 2016; Rønnestad & Hansen, 2010; Rønnestad & Hansen, 2011; Hansen & Rønnestad, 2012; Rønnestad & Hansen, 2015; Vikmoen & Ellefsen, 2016;

Rønnestad & Hansen, 2017; Vikmoen & Rønnestad, 2017) l'allenamento di resistenza veniva eseguito con specifiche zone di frequenza cardiaca (FC).

**Tabella 2.2.** Caratteristiche degli studi

STUDIO		CARATTERISTICHE SOGGETTI					DISEGNO DI RICERCA			
AUTORI	N	Genere	Età media	$\dot{V}O_2$ max medio	Livello di esperienza	Presenza allenamento di resistenza	Assegnazione	Gruppo di intervento	Gruppo di controllo	PEDro Scale
<b>CORSA</b>										
<b>BERRYMAN &amp; MAUREL, 2010</b>	28	M	28	56.9	Ben allenati	Si	RCT	11 Pliometrica 12 Esplosiva	5	6
<b>MIKKOLA &amp; VESTERINEN, 2011</b>	27	M	35.5	n.d.	Ben allenati	n.d.	Incrociato	10 Massima 11 Esplosiva	6	6
<b>PIACENTINI &amp; DE IOANNON, 2013</b>	16	12M 4 F	44.05	n.d.	Master	Si	RCT	6 Massima 5 Resistente	5	6
<b>SEDANO &amp; MARIN, 2013</b>	18	M	23.7	> 65	Ben allenati	Si, Zone Fc (1) 75/85%, (2) 85/95%, (3) 95/100%	RCT	6 Resistente + Pliometrica 6 Resistenza < 40%	6	6
<b>RAMI-REZ-CAMPILLO &amp; ALVAREZ, 2014</b>	36	22M 14 F	22.1	n.d.	Nazionale + Internazionale	n.d.	RCT	18	18	6
<b>VIKMOEN &amp; RAASTAD, 2016</b>	19	F	n.d.	53	5.8h x week	Si, Zone Fc (1) 60/82%, (2) 83/87%, (3) 88/100%	RCT	11	8	6
<b>CICLISMO</b>										
<b>RØNNESTAD &amp; HANSEN, 2010</b>	20	18M 2F	28.5	66.35	Nazionale	Si, Zone Fc (1) 60/72%, (2) 73/82%, (3) 83/87%, (4) 88/92%, (5) 93/100%	Scelta autonoma	11	9	5
<b>SUNDE &amp; STØREN, 2010</b>	13	10M 3 F	32.85	61.05	Ben allenati	Si	Incrociato	8	5	5
<b>AAGAARD &amp; ANDERSEN, 2011</b>	14	M	19.5	72.5	Nazionali + Internazionali	Si	RCT	7	7	6
<b>RØNNE-STAD &amp; HANSEN, 2011</b>	20	18M 2F	28.5	66.35	Ben allenati	Si, Zone Fc (1) 60/72%, (2) 73/82%, (3) 83/87%, (4) 88/92%, (5) 93/100%	Scelta autonoma	11	9	5
<b>HANSEN &amp; RØNNESTAD., 2012</b>	18	16M 2 F	28.5	52.4	Nazionale	Si, Zone Fc (1) 60/72%, (2) 73/82%, (3) 83/87%, (4) 88/92%, (5) 93/100%	Incrociato	10	8	5
<b>RØNNESTAD &amp; HANSEN, 2015</b>	16	M	19.6	76.15	Nazionale + Internazionale	Si, Zone Fc (1) 60/72%, (2) 73/87%, (3) 88/100%	RCT	9	7	6

<b>VIKMOEN &amp; ELLEFSEN, 2016</b>	19	F	33.2	54.05	Ben allenati	Si, Zone Fc 1) 60/72%, (2) 73/87%, (3) 88/100%	In-crociato	11	8	6
<b>RØNNESTAD &amp; HANSEN, 2017</b>	20	16M 4 F	19.5	72-80 63-65	Nazionali + Internazionali	Si, Zone Fc 1) 60/82%, (2) 83/87%, (3) 88/100%	RCT	12	8	6
<b>TRIATHLON</b>										
<b>HAUSS-WIRTH &amp; ARGENTIN, 2010</b>	14	M	31.3	69.2	17,3h x week	Si	RCT	7	7	6
<b>VIKMOEN &amp; RØNNES-TAD, 2017</b>	19	F	n.d.	54 Bike 53 Run	Duatleti	Yes, Zone Fc 1) 60/82%, (2) 83/87%, (3) 88/100%	RCT	11	8	6
<b>CROSS COUNTRY SKIING</b>										
<b>LOSNEGARD &amp; MIKKEL-SEN, 2011</b>	19	11M 8 F	21.5	64.7	Internazionale	n.d.	Scelta autonoma	9	10	5

*Note generali, abbreviazioni e loro definizioni:* Autori, Scopo (scopo dello studio), RE (economia della corsa), CE (Economia della pedalata); Sintesi dei dati degli atleti: N (Numero), Genere (M: maschio, F: femmina), Età (media),  $\dot{V}O_2$  max (media), Esperienza (livello di competizione); Dati di ricerca: Assegnazione dei Soggetti [tipo di metodi utilizzati dagli autori: RCT (Randomized Control Trial), Incrociato (Misto a  $\dot{V}O_2$ max, età o altri parametri), Diviso (separato dagli autori)], Allenamento di resistenza (allenamento di resistenza dichiarato nello studio), Intervento n (numero di soggetti nel gruppo intervento di forza), Controllo n (numero di soggetti nel gruppo di controllo aerobico), Scala PEDro (punteggio nella valutazione PEDro). N.d.: non dichiarato.

### Protocolli degli studi

Le principali caratteristiche dei protocolli di intervento sulla forza sono riportate in Tabella 2.3: tipo di allenamento della forza (Massimale, Esplosivo, Pliometrico e di Resistenza), tipologia degli esercizi svolti (movimento multi-articolare, a catena cinetica aperta o chiusa), volume (numero di serie e ripetizioni), frequenza (numero di volte a settimana), tempo (numero di settimane) e periodizzazione (quando lo studio è stato eseguito in base alla Stagione sportiva; periodo di gara o no).

In dettaglio, le tipologie di intervento della forza sono state: Allenamento della forza massima (MST) (Mikkola & Vesterinen, 2011; Piacentini & De Ioannon, 2013; Ramírez-Campillo & Alvarez, 2014; Vikmoen & Raastad, 2016; Rønnestad & Hansen, 2010; Sunde & Støren, 2010; Aagaard & Andersen, 2011; Rønnestad & Hansen, 2011; Hansen & Rønnestad, 2012; Rønnestad & Hansen, 2015; Vikmoen & Ellefsen, 2016; Rønnestad & Hansen, 2017; Hauswirth & Argentin, 2010; Vikmoen & Rønnestad, 2017; Losnegard & Mikkelsen, 2011); Allenamento della forza di resistenza (RST) (Piacentini & De Ioannon, 2013; Sedano & Marín, 2013); Allenamento della forza pliometrica (PST) (Berryman & Maurel, 2010; Piacentini & De Ioannon, 2013; Sedano & Marín, 2013); Allenamento della forza esplosiva (EST) (Berryman & Maurel, 2010; Mikkola & Vesterinen, 2011); o una combinazione di queste tipologie (Berryman & Maurel, 2010; Sedano & Marín, 2013).

Tutti gli studi hanno utilizzato almeno un esercizio multi-articolare a catena cinetica chiusa (Squat, Leg Press, Affondi, Squat saltato – SJ, Salto con contro-movimento – CMJ, Salto in basso – DJ, Corsa sul posto-Skip); due studi hanno utilizzato solo esercizi con macchine di resistenza (Aagaard & Andersen, 2011; Hauswirth & Argentin, 2010), mentre tutti gli altri studi hanno utilizzato sovraccarichi liberi, a corpo libero o con una combinazione di macchine e sovraccarichi liberi.

Gli interventi di forza variavano da 5 a 25 settimane, con una preferenza per 10-12 settimane (Sedano & Marín, 2013; Vikmoen & Raastad, 2016; Rønnestad & Hansen, 2010;

Rønnestad & Hansen, 2011; Hansen & Rønnestad, 2012; Vikmoen & Ellefsen, 2016; Rønnestad & Hansen, 2017; Vikmoen & Rønnestad, 2017; Losnegard & Mikkelsen, 2011) e solo uno studio ha utilizzato un programma di 5 settimane (Hauswirth & Argentin, 2010) o di 25 settimane (Rønnestad & Hansen, 2015).

La frequenza è stata di 2 volte a settimana in quasi tutti gli studi; solo tre studi (Sunde & Støren, 2010; Aagaard & Andersen, 2011; Hauswirth & Argentin, 2010) hanno riportato una frequenza di 3 volte a settimana, e solo uno studio una volta a settimana (Berryman & Maurel, 2010).

Il protocollo di forza massima utilizzava un volume che variava da 3-4 serie di 4-6 ripetizioni per esercizio. I protocolli di forza resistente e pliometrica (con una massima velocità reattiva contro gravità, con esercizi di DJ, Skip e CMJ) variavano da 1 a 6 serie da 6-10 ripetizioni. Il volume di allenamento della forza esplosiva invece era il più variabile.

**Tabella 2.3.** Protocolli degli studi

AUTORI	TIPO ALLENAMENTO FORZA	TIPO ESERCIZIO	VOLUME (SERIE PER RIPEZIONI)	FREQUENZA	DURATA	PERIODO
<b>CORSA</b>						
<b>BERRYMAN &amp; MAUREL, 2010</b>	Pliometrica	Drop Jump	3 serie x 8 rip	1 x w	8 w	n.d.
	Esplosiva	Squat Jump	6 serie x 8 rip			
<b>MIKKOLA &amp; VESTERINEN, 2011</b>	Esplosiva	Squat Smith Machine, Leg Press, Calf, Core ex., Bench Press, Pull Down	3 serie x 6 rip + 2 serie x 5 rip – 1^ a 4^ w 3 serie x 6 rip + 3 serie x 5 rip + 2 serie x 5 rip rec 2/3 min – 5^ a 8^ w	2 x w	8 w	Pre-stagione
	Massima		3 serie x 4 rip rec 2/3 min			
<b>PIACENTINI &amp; DE IOANNON, 2013</b>	Massima	Half Squat & Lunges with arm weights, Calf raises (Leg Press), Eccentric Quad., Leg Press (MST & RST), Bench Press, Lat Machine, Pulldown Machine, Cable machine, Triceps extension, Dumbbell biceps curl, (MST & RST)	4 serie x 3-4 rip 85/90% 1RM rec 3-4 min	2 x w	6 w	Pre-stagione
	Resistenza	Seated Calf raises (RST); Core strength, Push up (RST)	5 serie x 10 rip 70% 1RM rec 2/3 min			
<b>SEDANO &amp; MA-RIN, 2013</b>	Resistenza/ Pliometrica	Barbell Squat + Vertical Jump (40cm), Lying Leg Curl + Horizontal Jumps, Seated Calf raises + Vertical Jump, Leg Extension + Horizontal Jump	3 serie x 7 rip 70% 1RM + 10 rip rec 5 min	2 x w	12 w	Pre-stagione
	Resistenza <40%1RM	Barbell Squat, Lying Leg curl, Seated Calf raises, Leg Extension	3 serie x 20 rip 40% 1RM rec 1 min			
<b>RAMIREZ-CAMPIL-LO &amp; ALVAREZ, 2014</b>	Pliometrica	Drop box Jump	60 rip (2 serie x 10 rip x 20cm, 2 serie x 10 rip x 40cm, 2 serie x 10 rip x 60cm)	2 x w	6 w	n.d.
<b>VIKMOEN &amp; RAASTAD, 2016</b>	Massima	Half Squat Smith Machine, 1 Leg press, 1 Leg Hip flexion, calf smith machine	3 serie x esercizio 10/6 RM – 1^ a 3^ w 8/5 RM – 4^ a 6^ w 6/4 RM – 7^ a 12^ w	2 x w	11 w	In stagione
<b>CICLISMO</b>						
<b>RØNNE-STAD &amp; HANSEN, 2010</b>	Massima	Half Squat, 1 Leg press, 1 Leg Hip flexion, Ankle plantar flexion	3 serie x esercizio 10/6 RM – 1^ a 3^ w 8/5 RM – 4^ a 6^ w 6/4 RM – 7^ a 12^ w	2 x w	12 w	Pre-stagione
<b>SUNDE &amp; STØREN, 2010</b>	Massima	Half Squat Smith Machine	4 serie x 4 rip	3 x w	8 w	Pre-stagione
<b>AAGAARD &amp; ANDERSEN, 2011</b>	Massima	Leg Extension, Leg Press, Leg Curl, Calf raises	3 serie x 12 rip – 1^ w 3 serie x 10 rip – 2/3^ w 3 serie x 8 rip – 4/5^ w 2/3 serie x 6 rip – 6^ a 16^ w	2/3 x w	16 w	/
<b>RØNNE-STAD &amp; HANSEN, 2011</b>	Massima	Half Squat, 1 Leg press, 1 Leg Hip flexion, Ankle plantar flexion	3 serie x esercizio 10/6 RM – 1^ a 3^ w 8/5 RM – 4^ a 6^ w 6/4 RM – 7^ a 12^ w	2 x w	12 w	Pre-stagione
<b>HANSEN &amp; RØNNESTAD., 2012</b>	Massima	Half Squat, 1 Leg press, 1 Leg Hip flexion, Ankle plantar flexion	3 serie x esercizio 10/6 RM – 1^ a 3^ w	2 x w	12 w	Pre-stagione



<b>RØNNE-STAD &amp; HANSEN, 2015</b>	Massima	Half Squat, 1 Leg Press, 1 Leg Deadlift, Calf raises	Pre-stagione 3 serie x (10 – 6 – 6 rip) – 1^ a 3^ w 3 serie (8 – 5 – 5 rip) – 4^ a 6^ w 3 serie (6 – 4 – 4 rip) – 7^ a 10^ w	8/5 RM – 4^ a 6^ w 6/4 RM – 7^ a 12^ w In stagione 3 serie x 5 rip (8/10 RM) – 11^ a 25^ w 1 x w In stagione	2 x w pre-stagione 1 x w In stagione	25 w	Pre-stagione 10w In stagione 15w
<b>VIKMOEN &amp; ELLEFSEN, 2016</b>	Massima	Half Squat, 1 Leg Press, 1 Leg Hip Flexion, Ankle plantar flexion	3 serie x esercizio	10/6RM – 1^ a 3^ w 8/5RM – 4^ a 6^ w 6/4RM – 7^ a 12^ w	2 x w	11 w	Pre-stagione
<b>RØNNE-STAD &amp; HANSEN, 2017</b>	Massima	Half Squat, 1 Leg Press, 1 Leg Hip Flexion, Ankle plantar flexion	3 serie x esercizio	10/6RM – 1^ a 3^ w 8/5RM – 4^ a 6^ w 6/4RM – 7^ a 12^ w	2 x w	10 w (20 sessions)	Fuori-stagione
<b>TRIATHLON</b>							
<b>HAUSS-WIRTH &amp; ARGENTIN, 2010</b>	Massima	Leg curl, Leg press, Leg Extension, Calf raises	3/5 serie x 3/5 rip		3 x w	5 w	Pre-stagione
<b>VIKMOEN &amp; RØNNES-TAD, 2017</b>	Massima	Half Squat Smith Machine, 1 Leg Press, 1 Leg Deadlift, Calf raises	3 serie (10 – 6 – 6 rip) – 1^ a 3^ w 3 serie (8 – 5 – 5 rip) – 4^ a 6^ w 3 serie (6 – 4 – 4 rip) – 7^ a 11^ w		2 x w	11 w	In stagione
<b>CROSS COUNTRY SKIING</b>							
<b>LOSNEGARD &amp; MIKKEL-SEN, 2011</b>	Massima	Half Squat, Seated pull-down, standing pull down and Triceps press	1° g 3 serie x 6 rip/ 2° g 3 sets x 10 reps – 1^ a 3^ w 1° g 3 serie x 5 rip/ 2° g 3 serie x 8 rip – 4^ w 1° g 4 serie x 8 rip – 5^ a 8^ w 1° g 3 serie x 4 rip/ 2° g 3 serie x 6 rip – 9^ a 12^ w		2 x w (45')	12 w	Pre-stagione

*Note generali, abbreviazioni e loro definizioni:* Modalità di intervento: Autori, tipo di intervento di forza, tipo di protocollo di intervento, tipo di esercizi, frequenza (volte x settimana), tempo (settimane totali), periodizzazione (periodo della stagione). W: settimane; 1^ a 4^ w: dalla prima settimana alla quarta settimana; RM: Ripetizione massima; rip: ripetizioni; rec: recupero; g: giorno; min: minuto/i; n.d.: non dichiarato.

### Effetto della forza aspecifica sulla prestazione di resistenza

Nella Tabella 2.4 sono riassunti i test utilizzati per misurare gli effetti della forza aspecifica sulla capacità di resistenza e su altri risultati complementari (composizione corporea, massa corporea, composizione delle fibre muscolari e Area della Sezione Trasversa del muscolo – CSA).

La resistenza è stata definita come segue: capacità aerobica ( $\dot{V}O_2$  max o picco e Velocità Aerobica Massima – MAV), potenza erogata (Po), economia del gesto (WE), Tempo su di un Test (TT) e Tempo su di un Test fino all'esaurimento (TTE).

Dodici studi hanno mostrato una gamma di miglioramenti dal 3,6% al 45% sui test massimali di espressione della forza (1RM o ISO 1RM) (Mikkola & Vesterinen, 2011; Piacentini & De Ioannon, 2013; Vikmoen & Raastad, 2016; Rønnestad & Hansen, 2010; Sunde & Støren, 2010; Rønnestad & Hansen, 2011; Hansen & Rønnestad, 2012; Rønnestad & Hansen, 2015; Vikmoen & Ellefsen, 2016; Hausswirth & Argentin, 2010; Vikmoen & Rønnestad, 2017; Losnegard & Mikkelsen, 2011).

Sette studi hanno mostrato anche un aumento della potenza espressa (Sunde & Støren, 2010; Aagaard & Andersen, 2011; Rønnestad & Hansen, 2011; Rønnestad & Hansen, 2015; Vikmoen & Ellefsen, 2016; Rønnestad & Hansen, 2017; Losnegard & Mikkelsen, 2011). I restanti studi non hanno riportato un aumento diretto della potenza espressa.

Otto studi hanno mostrato un miglioramento per quanto riguarda l'attività neuromuscolare valutata tramite il tasso di sviluppo della forza (RFD), l'Elettromiografia (EMG) e la *Stiffness* muscolare (Mikkola & Vesterinen, 2011; Vikmoen & Raastad, 2016; Sunde & Støren, 2010; Aagaard & Andersen, 2011; Rønnestad & Hansen, 2017).

La resistenza aerobica è stata valutata in termini di efficacia relativa a ciascun tipo di allenamento della forza introdotto (massimale, di resistenza, pliometrico ed esplosivo), come dettagliato di seguito. L'economia del gesto (WE), il Tempo su di un Test (TT) e il Tempo su di un Test fino all'esaurimento (TTE) sono stati considerati i principali parametri associati alle

prestazioni di resistenza e, pertanto, sono stati utilizzati nella meta-analisi e nella costruzione dei Forest Plot.

**Tabella 2.4.** Effetto della forza specifica sulla prestazione

AUTORI	TEST	$\dot{V}O_2$	MAV	FORZA	PO	WE	TT	TTE	AL-TRO
<b>CORSA</b>									
<b>BERRY-MAN &amp; MAUREL, 2010</b>	VO <sub>2</sub> max, MAV, RE, PP, TT 3km	=	n.d.	n.d.	$\uparrow$ PP ** EST	$\uparrow$ RE: +7% PST +4% ** EST	$\uparrow\uparrow$ TT 3km: * EST +4 % PST +5% Control +3%	n.d.	=
<b>MIKKOLA &amp; VESTERINEN, 2011</b>	Massa corporea, Test di salto, 1 RM, EMG, MART, VO <sub>2</sub> max, LT, Test di resistenza	=	$\uparrow$ MART: +2.6 $\pm 2.7\%^*$ MST	$\uparrow$ 1 RM Leg Press: +3.6% MST * EST ** $\uparrow$ r EMG activation: +16.2%* MST +9% ** EST $\uparrow$ Jump test: +6.1% ** MST	n.d.	$\uparrow$ Speed at 7 mmol/l LT: +2.6 $\pm 2.5\%^*$ MST	n.d.	n.d.	n.d.
<b>PIACENTINI &amp; DE IOANNON, 2013</b>	1RM, SJ, CMJ, Stiffness, RPE, VO <sub>2</sub> , RE, Misure Antropometriche	n.d.	n.d.	$\uparrow$ 1 RM: +17% * MST $\uparrow$ Stiffness: +13% * RST	n.d.	$\uparrow$ RE: (marathon pace) +6.17% * MST	n.d.	n.d.	=
<b>SEDANO &amp; MA-RIN, 2013</b>	CMJ, Hopping test, 1RM, RE, VO <sub>2</sub> max, Hrmax, Peak, RPE, TT 3km	=	n.d.	$\uparrow$ CMJ: +9.1% *** $\uparrow$ Hop-ping test: +3.7% *** PST	$\uparrow$ Peak Velocity: +4.4% *** MST	$\uparrow$ RE: VO <sub>2</sub> 16 km/h * PST	$\uparrow\uparrow$ TT 3 km PST **	n.d.	$\downarrow$ RPE: MST ***
<b>RAMIREZ-CAMPILLO &amp; ALVAREZ, 2014</b>	CMJ, DJ, 20mt sprint, TT 2.4km	n.d.	n.d.	$\uparrow$ CMJ: +8.9% $\uparrow$ DJ20cm: +12.7% r $\uparrow$ DJ40cm: (r=-0.82) +16.7% ***	n.d.	$\uparrow\uparrow$ 20mt sprint test: +2.3% **	r $\uparrow\uparrow$ TT 2.4km: +3.9% ** $\uparrow\uparrow$ r 20mt sprint test: +2.3% **	n.d.	$\uparrow$ BMI: **
<b>VIKMOEN &amp; RAASTAD, 2016</b>	Campione muscolare, 1RM one leg press, half squat, VO <sub>2</sub> max, SJ, CMJ, TT 40' all out	=	n.d.	$\uparrow$ 1RM 40%: **  SJ&CMJ: +8.9% & +5.9% *	n.d.	=	=	n.d.	$\uparrow$ CSA: Vasto laterale **

CICLISMO

<b>RØNNE-STAD &amp; HANSEN, 2010</b>	Spessore coscia CSA, Isometric (ISO) Half Squat, Cycling incremental test, Wingate Test, TT 40' all out	=	n.d.	↑ ISO Half squat: +21.2 ± 4.9% **	↑ W max: +4.3±1.1% * ↑ Wmax at 2mmol/l: +3.6% * ↑ Wingate test: +9.4 ±2.9%**	=	↑↑ TT 40-min all out trial: +6.0±1.7% **	n.d.	↑ ↑↑ MassaMagra: +1 ±0.5% ** ↑ ↑ Spessore muscoli coscia CSA: +4.6 ±0.5% ** (r=0.47)
<b>SUNDE &amp; STØREN, 2010</b>	IRM Squat Smith Machine, RFD, WE 70% VO <sub>2</sub> max, TTE, VO <sub>2</sub> max, LT	=	n.d.	↑ IRM squat: +14.2% ↑ RFD squat: +16.2% *	↑ Pm at VO <sub>2</sub> max 70%: +6.9% * ↑ WE: (70%VO <sub>2</sub> max) +4.7% (r=0.58) *	n.d.	↑↑ TTE: +17.2% (r=0.64) *	=	
<b>AAGAARD &amp; ANDERSEN, 2011</b>	MCV Leg Extension Isometric, RFD, TT 45 min	=	n.d.	↑ MCV Isom: +12% * ↑ RFD: +20% **	n.d.	=	↑↑ TT 45 min: +8% *	n.d.	↑ Tipo fibre IIA 26-34% * ↓ Tipo IIX 5-0.6% *
<b>RØNNE-STAD &amp; HANSEN, 2011</b>	IRM Half Squat, Cycling incremental test, TT 5 min all out trial after 185 min at 44% of Wmax, RPE	↓ VO <sub>2</sub> max during 185 min: -2.2 ±0.6% *	n.d.	↑ IRM Half squat: +26% **	↑ Pm at TT 5 min all out: +7.2 % ±2 **	↓ VO <sub>2</sub> max during 185 min: -2.2 ±0.6% *	↑ Pm at TT 5 min all out: +7.2 % ±2 **	n.d.	↑ Massa magra: +1.2% * ↓ RPE: *
<b>HANSEN &amp; RØNNE-STAD., 2012</b>	IRM Half Squat, Cycling incremental test, 5 min all out trial after 185 min at 44% of W max, Crank torque	=	n.d.	↑ IRM Half squat: +18.9% ***	↑↑ Pm TT 5 min all out: +7 % **	↑ Peak positive crank torque: +3% ** ↓ Peak negative crank torque	↑↑ Pm TT 5 min all out: +6.8 % **	n.d.	=
<b>RØNNE-STAD &amp; HANSEN, 2015</b>	FFM, PP-40min, VO <sub>2</sub> max, WE, PP, PP-30" (Wingate test), PP 4mmol/l	=	n.d.	↑ ISO half squat: +20% ±12 **	↑ W max: +3% ±3 * (r=0.69) ↑ Pm 4mmol/l: +3.2% ±3.5* ↑ Pm TT 40min: +6.5% ±5.7 **	↑ Peak torque in pedal stroke: * ↑ (r=-0.63) ↑↑ (r=-0.50)	↑ Pm TT 40min: ±6.5% ±5.7 **	n.d.	↑ Massa magra: +2% ±1*

<b>VIKMOEN &amp; ELLEFSEN, 2016</b>	Spessore Coscia CSA, 1RM Half Squat, Cycling incremental test, Wingate, TT 40' all out	=	n.d.	↑ 1RM Leg Press: +38.6 ±19.0% **	↑ PP Win-gate test: +12.7 ±12.6% **	= (testo)	↑ TT 40-min all-out Pm output: +6.4 ±7.9% ** r (r=0.67)	n.d.	↑ r (r=0.59) ↑ CSA Quadricipite: +7.4 ±5.3% ** (r=0.73) ↑ Tipo fibre IIA 39-50% ** (r=0.63)
<b>RØNNE-STAD &amp; HANSEN, 2017</b>	Massa corporea parte inferiore, SJ, 1RM Half Squat, Cycling incremental test, Wingate, TT 40' all out	=	n.d.	↑ Isom Half Squat: +20% *** ↑ SJ: +8% **	↑ Pm Win-gate test: +2 ±3% *	=	=	n.d.	=
<b>TRIATHLON</b>									
<b>HAUSS-WIRTH &amp; ARGENTIN, 2010</b>	1RM Leg Press, MCV Leg Extension Isometric after 2h bike test. BIKE: VO <sub>2</sub> max, MAV	=	n.d.	↑ 1RM Leg Press: +6.6% **	n.d.	=	n.d.	n.d.	n.d.
<b>VIKMOEN &amp; RØNNES-TAD, 2017</b>	VO <sub>2</sub> max, 1RM Half Squat, Pm 5min all out	=	n.d.	↑ 1RM Half Squat: +45% **	↑ Pm Bike 5min all out: +7 ±4.5% *	↑ Pm Bike 5min all out: +7 ±4.5% *	n.d.	n.d.	↑ Massa magra: +3.1% *
					↑ Pm Run 5min all out: +4.7 ±6% *	↑ Pm Run 5min all out: +4.7 ±6% *			
<b>CROSS COUNTRY SKIING</b>									
<b>LOSNE-GARD &amp; MIKKELSEN, 2011</b>	1RM Half Squat + Seat pull down, CMJ, VO <sub>2</sub> max, TT 5min double poling	↑ VO <sub>2</sub> max on skate-roller skiing performing test: +7 ±1% **	n.d.	↑ 1RM Half Squat: +12% ↑ Pull down: +19% **	↑ Pm +5 min double poling *	↑ 5 min Double poling: +7.4% ±2.6 *	↑ Upper body 1.1 km TT: +7% ±1 *	n.d.	↑ CSA Tri-cipite Bra-chiale: +5.5% **

*Note generali, abbreviazioni e loro definizioni:* Riferimento autori, test applicato, risultati sui parametri aerobici (VO<sub>2</sub>max o picco e MAV), risultati sulla forza, risultati sulla potenza erogata “Po” (potenza media “Pm”, potenza di picco “PP”), risultati su Economia del gesto (WE), risultati su Prestazione di Resistenza valutata tramite test a cronometro (TT) e a esaurimento (TTE), risultati su Altri target (Scala di percezione sforzo “RPE”, Composizione corporea, Massa corporea, Composizione Fibre, Area della Sezione Trasversa “CSA”, Massa magra “FFM”).  
\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ; =: nessuna modifica; †: “r” correlazione di Pearson; RM: Ripetizione massima; EMG: elettromiografia; CMJ: Salto con contro-movimento; SJ: Squat Saltato; DJ: salto in basso; MART: Test di Massima Resistenza Aerobica; MCV: contrazione massima volontaria; RFD: tasso di sviluppo della forza; MAV: Velocità aerobica massima; W: Watt; ↑: Aumenta il valore; ↓: Decrementa il valore; ↑↑: test in miglioramento; ↓↓: test in peggioramento; n.d.: non dichiarato.

### 2.3.3. Capacità aerobica e Working Economy

La capacità aerobica è stata valutata mediante il  $\dot{V}O_{2max}$  o di picco o la velocità aerobica massima (MAV).

Due studi hanno mostrato un aumento della capacità aerobica (Mikkola & Vesterinen, 2011; Losnegard & Mikkelsen, 2011) e uno una diminuzione (Rønnestad & Hansen, 2011), mentre gli altri non hanno riportato un miglioramento diretto del  $\dot{V}O_{2max}$  o della MAV. In generale, i parametri della capacità aerobica non erano correlati al miglioramento dell'economia del gesto. Da notare che quasi tutti gli studi hanno valutato l'aumento dell'economia del gesto dopo l'allenamento della forza aspecifica (Tab. 2.4).

Gli studi sulla corsa hanno mostrato un aumento significativo dell'economia della corsa (7%) (Berryman & Maurel, 2010) o della velocità di corsa (dal 2,3% al 6,17%) (Mikkola & Vesterinen, 2011; Ramírez-Campillo & Alvarez, 2014; Vikmoen & Rønnestad, 2017).

Negli studi sul ciclismo è stato riportato un miglioramento significativo dell'economia della pedalata (4,7%) (Sunde & Støren, 2010), del valore di  $\dot{V}O_2$  consumato durante il test ciclistico specifico (-2,2%) (Rønnestad & Hansen, 2011) e della velocità a specifiche potenze espresse (Vikmoen & Rønnestad, 2017).

Allo stesso modo, lo studio sullo sci di fondo ha mostrato un aumento significativo dell'economia del gesto specifico (+7,4%) (Losnegard & Mikkelsen, 2011).

Al contrario, sette studi invece non hanno riportato alcuna variazione sull'economia del gesto (Vikmoen & Raastad, 2016; Rønnestad & Hansen, 2010; Aagaard & Andersen, 2011; Vikmoen & Ellefsen, 2016; Rønnestad & Hansen, 2017; Hauswirth & Argentin, 2010).

Poiché con il parametro di economia del gesto rappresentiamo uno dei parametri principali associati alle prestazioni di resistenza, abbiamo considerato la sua modulazione in risposta a ciascun tipo di forza aspecifica nelle diverse discipline sportive, come dettagliato di seguito.

### Protocollo di Forza Massima – MST

Gli studi sulla corsa che utilizzano un protocollo di Forza Massima (MST) hanno mostrato un aumento della capacità di forza massimale, valutata tramite il test 1RM, tale aumento è stato correlato al miglioramento dell'economia della corsa, misurata come velocità di corsa (+ 2,6%,  $p = 0,049$ ; Mikkola & Vesterinen, 2011), o come ritmo di gara di corsa (+6,17%,  $p < 0,05$ ; Piacentini & De Ioannon, 2013) o come prestazione ottenuta sui "5' min all-out" nello studio del triathlon (+4,7%,  $p < 0,05$ ; Vikmoen & Rønnestad, 2017).

Negli studi sulla bicicletta quattro studi non hanno riportato risultati o cambiamenti nell'economia della pedalata (Rønnestad & Hansen, 2010; Aagaard & Andersen, 2011; Vikmoen & Ellefsen, 2016; Rønnestad & Hansen, 2017), mentre gli altri erano in linea con i risultati degli studi sulla corsa, che mostrano un miglioramento dell'economia della pedalata dopo il protocollo di forza massima, valutato come percentuale di espressione del  $\dot{V}O_2$ , correlato al guadagno riscontrato nel test del RFD-Squat (70% di  $VO_2max$  +4,7%,  $p < 0,05$ ,  $r = 0,58$ ; Aagaard & Andersen, 2011), o come picco di forza della pedalata ( $p = 0,007$ ; Hansen & Rønnestad, 2012; Rønnestad & Hansen, 2015) o come prestazione sui "5' min all-out" (+7%,  $p < 0,05$ ; Vikmoen & Rønnestad, 2017; nello studio del triathlon), o valutato come  $\dot{V}O_2$  durante il test, correlato al guadagno ottenuto nel test del 1RM Half Squat ( $\dot{V}O_2$  durante il test di ciclismo-2,2%,  $p < 0,05$ ; Rønnestad & Hansen, 2011).

Secondo i dati degli studi sulla corsa o sul ciclismo, anche nello studio sullo sci di fondo (Losnegard & Mikkelsen, 2011) il protocollo di forza massima ha aumentato l'economia del gesto specifico, misurato con il test dei 5 minuti di double poling (+7,4%,  $p < 0,05$ ) (Fig. 2.2).

Tuttavia, anche se l'allenamento di forza massima ha influenzato positivamente l'economia del gesto in tutti gli sport considerati, tale protocollo è stato associato ad un aumento delle capacità di forza, come previsto, ma anche dell'Area della Sezione Trasversa del muscolo (CSA), nella corsa (Vikmoen & Raastad, 2016), nel ciclismo (Rønnestad & Hansen, 2010;



Rønnestad & Hansen, 2011; Rønnestad & Hansen, 2015; Vikmoen & Rønnestad, 2017) e nello sci di fondo (Losnegard & Mikkelsen, 2011), come dettagliato in tabella 2.4.

#### Protocollo di Forza Esplosiva – EST

Il protocollo di Forza Esplosiva (EST) negli studi di corsa (Berryman & Maurel, 2010; Mikkola & Vesterinen, 2011) non ha mostrato un miglioramento sostanziale dell'economia della corsa (RE). Infatti, utilizzando l'EMG come test valutativo, Mikkola e colleghi (Mikkola & Vesterinen, 2011) hanno dimostrato che la prestazione esplosiva era maggiore negli atleti allenati tramite la massima forza (vedi gruppi di studio nelle Tabelle 2.3 e 2.4) rispetto a coloro che avevano allenato la forza esplosiva.

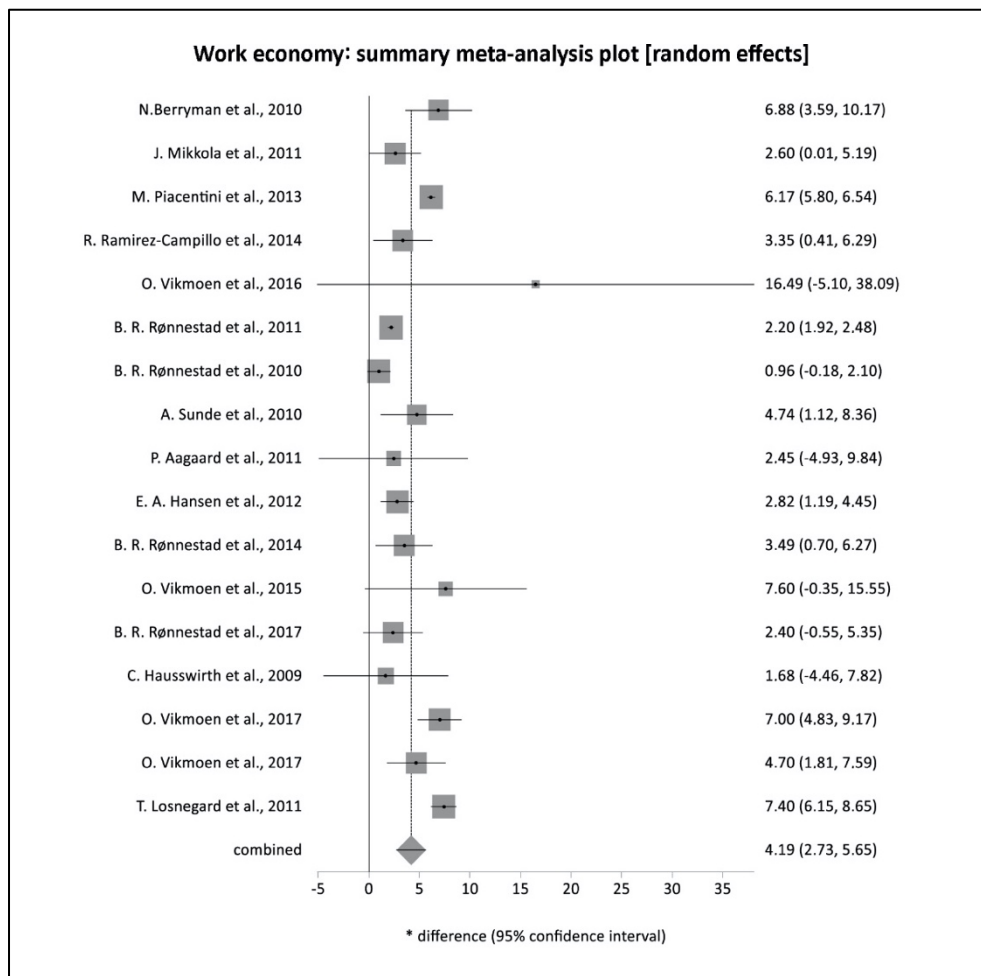
#### Protocollo di Forza Pliometrica – PST

Gli studi che utilizzano il protocollo Forza Pliometrica (PST) hanno mostrato un aumento dell'economia della corsa (+7%,  $p < 0,01$ ) (Berryman & Maurel, 2010), misurata come consumo di  $\dot{V}O_2$  ad una velocità ( $\dot{V}O_2$  a 16 km/h; Sedano & Marín, 2013) o come prestazione di sprint nei 20mt, correlata al guadagno nel test del salto in basso da 40cm (20mt sprint test +2,3%,  $p < 0,01$ ; Ramírez-Campillo & Alvarez, 2014), o come dimostrato con test specifici come il salto con contro-movimento (CMJ), il salto in basso (DJ), i balzi sul posto e l'EMG (CMJ +9,1%  $p = 0,001$  e balzi sul posto +3,7%,  $p = 0,007$  (Sedano & Marín, 2013; CMJ +8,9% e DJ +12,7-16,7%,  $p < 0,001$ ; Ramírez-Campillo & Alvarez, 2014).

L'effetto positivo dell'allenamento pliometrico durante la corsa è stato maggiore rispetto ad altre tipologie di forza aspecifica utilizzata, soprattutto se confrontato con il protocollo di forza esplosiva (Berryman & Maurel, 2010) (Fig. 2.2).

Protocollo di Forza Resistente – RST

L'allenamento della forza resistente (RST) è stato utilizzato esclusivamente nella corsa e sempre abbinato ad altri tipi di allenamento della forza. Piacentini e colleghi (Piacentini & De Ioannon, 2013) hanno applicato un protocollo di forza resistente e massima, mentre Sedano e colleghi (Sedano & Marín, 2013) (dati non riportati nella meta-analisi) hanno associato la forza resistente alla pliometrica, ottenendo in entrambe le condizioni un miglioramento dell'economia della corsa. I risultati sull'effetto della forza aspecifica sull'economia del gesto (WE) sono dettagliati e riassunti nella Figura 2.2.



**Figura 2.2.** Forest Plot degli studi inclusi nella meta-analisi per l'economia del gesto (working economy): Forest Plot con dimensione degli effetti e intervallo di confidenza al 95% di ogni studio incluso nell'analisi statistica e dimensione dell'effetto combinato, che rappresenta l'effetto del protocollo di intervento (allenamento di forza aspecifica) sull'economia del gesto (WE). Cochran Q = 352,451115 (df = 16)  $p < 0,0001$ ; Stima basata sul momento della varianza tra gli studi = 6,575507;  $I^2$  (incoerenza) = 95,5% (IC 95% = da 94,3% a 96,3%); Effetti casuali (Der Simonian-Laird); Raggruppato \* differenza = 4,189178 (IC 95% = da 2,72861 a 5,649746); Z (test \* Differenza) = 5,621538  $p < 0,0001$ .

### 2.3.4. Test sulla prestazione di resistenza

Le prestazioni di resistenza sono state valutate mediante tre test principali (Tempo su di un test – TT, Tempo su di un test ad esaurimento – TTE e Potenza espressa – Po), come descritto sopra, e dettagliatamente di seguito, riassunti nella Figura 2.3.

Dieci studi su diciassette hanno riportato miglioramenti nel TT, TTE e Po (Tab. 2.4). Diversi tipologie di forza aspecifica sono state in grado di aumentare diversi parametri delle prestazioni di resistenza, infatti, il TT è passato dal 3,9% all'8% (Berryman & Maurel, 2010; Sedano & Marín, 2013; Ramírez-Campillo & Alvarez, 2014; Rønnestad & Hansen, 2010; Aagaard & Andersen, 2011; Rønnestad & Hansen, 2011; Hansen & Rønnestad, 2012; Rønnestad & Hansen, 2015; Vikmoen & Ellefsen, 2016; Losnegard & Mikkelsen, 2011) e il TTE è migliorato di circa il 17,2% (Sunde & Støren, 2010).

Per quanto riguarda i parametri associati alla Potenza espressa (Po), il picco di potenza (PP) espresso durante il test di Wingate per il ciclismo è aumentato dal 3% al 12,7% (Berryman & Maurel, 2010; Sedano & Marín, 2013; Rønnestad & Hansen, 2010; Rønnestad & Hansen, 2015; Vikmoen & Ellefsen, 2016) e la potenza media (Pm) espressa durante il test TT è aumentata dal 3,4% all'8% (Sunde & Støren, 2010; Rønnestad & Hansen, 2011; Rønnestad & Hansen, 2015; Vikmoen & Ellefsen, 2016; Rønnestad & Hansen, 2017; Hauswirth & Argentin, 2010; Vikmoen & Rønnestad, 2017; Losnegard & Mikkelsen, 2011).

Come riportato sull'economia del gesto, i risultati nei test di prestazione di resistenza sono stati analizzati in risposta a ciascun tipo di forza nelle diverse discipline sportive, come dettagliato di seguito.

#### Protocollo di Forza Massima – MST

Tra gli studi che riguardano la corsa, solo Vikmoen et al., (2016) (Vikmoen & Raastad, 2016) ha valutato esclusivamente la MST, vale a dire senza alcun confronto con altri protocolli di forza (Esplosiva – EST, Pliometrica – PST, Resistente – RST), e non ha riportato alcun

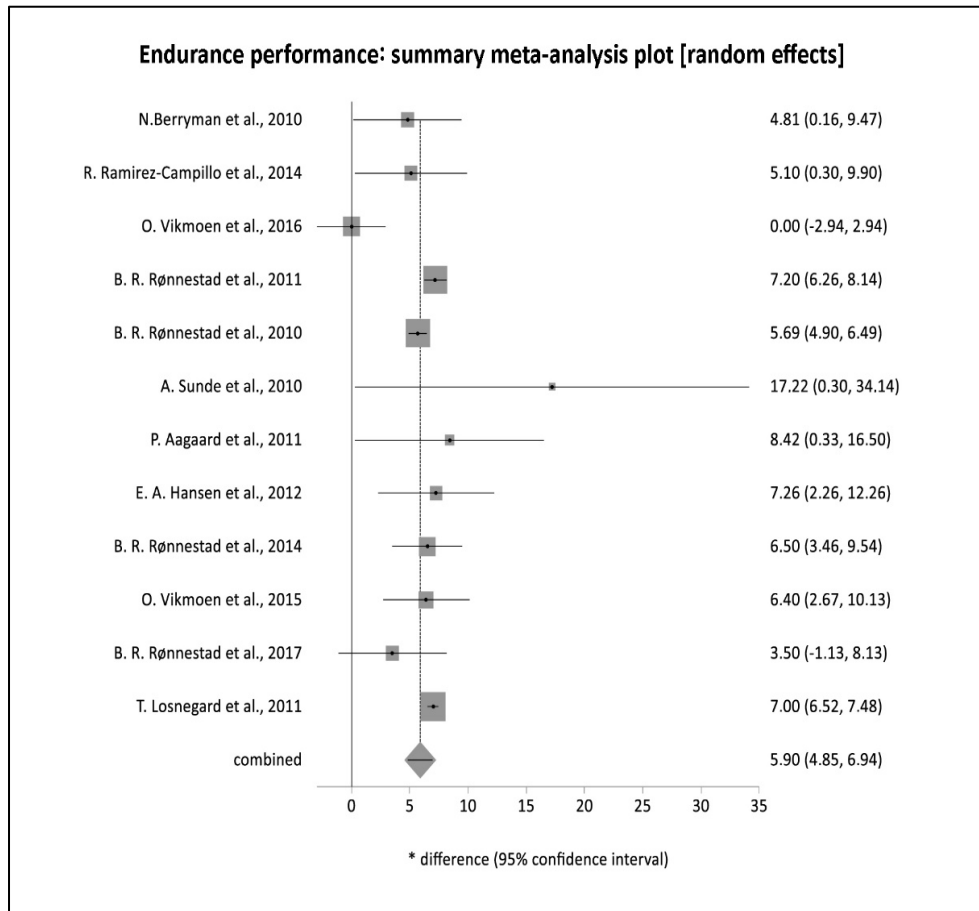
miglioramento significativo. Negli studi sul ciclismo la MST ha migliorato la prestazione sia sul Tempo su di un test (TT) che sul Tempo su di un test ad esaurimento (TTE) in quasi tutti gli studi (Fig. 2.3), così come la potenza espressa (Po). L'espressione di forza massima tramite il test 1RM è stata correlata al miglioramento nel TT "5 min all-out" (+7,2%,  $p < 0,01$ ; Rønnestad & Hansen, 2011; +7%,  $p = 0,007$ ; Hansen & Rønnestad, 2012) e nel test dei "45 min TT" (+8%,  $p < 0,05$ ; Aagaard & Andersen, 2011) così come l'aumento nel tasso di espressione della forza (RFD +16,2%) che è stato correlato al miglioramento del TTE (+17,2%,  $r = 0,64$ ; Sunde & Støren, 2010). Di conseguenza, l'espressione di forza durante la pedalata (picco di forza nella pedalata) è stata correlata all'aumento della potenza espressa, misurata tramite il test Wingate (Rønnestad & Hansen, 2015), e all'espressione di potenza media durante il TT (Hansen & Rønnestad, 2012).

In accordo con gli studi sul ciclismo, lo studio sullo sci di fondo ha riportato un aumento della forza massima che di conseguenza ha portato ad un miglioramento delle prestazioni di resistenza (parte superiore del corpo 1,1 km TT +7%,  $p < 0,05$ ; Losnegard & Mikkelsen, 2011).

Come descritto sopra, il protocollo di Forza Massima ha portato ad un aumento della sezione trasversa muscolare (muscoli estensori del ginocchio +4,6%,  $p < 0,01$ ; Rønnestad & Hansen, 2011; e del muscolo quadricipite femorale +7,4%,  $p = 0,0004$ ; Vikmoen & Ellefsen, 2016) e il passaggio delle fibre muscolari dal tipo IIX al tipo IIA (Tipo IIA +39-50%,  $p = 0,002$ ; Vikmoen & Ellefsen, 2016; Tipo IIA +26-34%,  $p < 0,05$ ; Aagaard & Andersen, 2011), tali cambiamenti sono stati correlati ad un miglioramento nella potenza espressa (Test Wingate +9,4%,  $p < 0,01$ ,  $r = 0,47$ ; Rønnestad & Hansen, 2010); nella potenza media durante il TT +6,4%,  $p = 0,002$ ,  $r = 0,63$  fibre,  $r = 0,73$  CSA; Vikmoen & Ellefsen, 2016) e nella forza espressa (contrazione massima volontaria – MCV, +12%,  $p < 0,05$ ; Rønnestad & Hansen, 2011).

Protocolli di Forza Pliometrica – PST, Esplosiva – EST e Resistente – RST

Il PST è stato associato a diversi tipi di allenamento della forza. In effetti, è stato utilizzato come protocollo principale (Ramírez-Campillo & Alvarez, 2014) o confrontato con l'EST (Berryman & Maurel, 2010; o con RST (Sedano & Marín, 2013). In entrambi i casi PST ha riportato risultati positivi sulle prestazioni di Tempo su di un test (TT) e sul Tempo su di un test ad esaurimento (TTE), portando ad un miglioramento delle prestazioni di resistenza negli studi sulla corsa (Berryman & Maurel, 2010; Sedano & Marín, 2013; Ramírez-Campillo & Alvarez, 2014). Nel dettaglio, nello studio di Ramirez-Campillo e colleghi (Ramírez-Campillo & Alvarez, 2014) il miglioramento del TT è stato correlato alla riduzione del tempo impiegato sia nelle prove di prestazione dei 2,4 km che negli sprint di 20 mt.



**Figura 2.3.** Forest Plot degli studi inclusi nella meta-analisi per le prestazioni di resistenza (endurance performance): Forest Plot con dimensione degli effetti e intervallo di confidenza al 95% di ogni studio incluso nell'analisi statistica e dimensione dell'effetto combinato, che rappresenta l'effetto del protocollo di intervento (allenamento di forza aspecifica) sulla prestazione di resistenza (Tempo su Test – TT e Tempo su Test ad Esaurimento – TTE). Cochran  $Q = 33,075425$  ( $df = 11$ )  $p = 0,0005$ ; Stima basata sul momento della varianza tra gli studi = 1,265267;  $I^2$  (incoerenza) = 66,7% (IC 95% = da 28,1% a 80,4%); Effetti casuali (Der Simoni-an-Laird) Raggruppati \* differenza = 5,895553 (IC 95% = da 4,849561 a 6,941544);  $Z$  (test \* Differenza) = 11,047002  $p < 0,0001$ .

## 2.4. Discussione

Lo scopo di questa revisione sistemática e meta-analisi è di valutare se diverse tipologie di allenamento della forza aspecifica, ovvero esercizi di forza che non richiamano i movimenti specifici dello sport, possano essere correlati al miglioramento delle prestazioni negli sport di resistenza (corsa, ciclismo, triathlon e sci di fondo).

In generale, i parametri aerobici ( $\dot{V}O_2\text{max}$  o MAV) non sono cambiati dal pre al post-intervento, mentre le prestazioni di resistenza sono aumentate. Il guadagno nelle prestazioni di resistenza, quindi, poteva essere collegato esclusivamente ad un miglioramento dei fattori meccanici e questi - come previsto - erano diversi nei diversi sport.

In accordo con questi risultati, Wilson e colleghi (Wilson & Marin, 2012) hanno mostrato che la capacità aerobica non è inibita dall'allenamento concorrente (allenamento di resistenza e di forza). Piuttosto, si evidenzia dopo l'intervento di forza una migliore coordinazione neuromuscolare che ritarda l'insorgenza dell'affaticamento e un cambiamento nella composizione delle fibre dei muscoli scheletrici, ciò potrebbe essere il meccanismo responsabile dell'aumento delle prestazioni aerobiche (Damasceno & Pasqua, 2018; Aagaard & Andersen, 2010; Rønnestad & Mujika, 2014)

Pertanto, si è esaminata la letteratura in base alla tipologia di protocollo di allenamento della forza aspecifica utilizzata per la disciplina (Massima, Pliometrica, Esplosiva e Resistente) e segnalati come più efficienti nell'aumentare la capacità di resistenza, concentrandoci sull'economia del gesto (Economia della corsa - RE, Economia della pedalata - CE, e Economia nel gesto specifico del Double Poling - DP) (Figura 2.2) e sulle prestazioni di resistenza (Tempo su di un test - TT, Tempo su di un test ad esaurimento - TTE e Potenza espressa - Po) (Figura 2.3).

Anche se i diversi disegni e metodologie di studio potrebbero influenzare i risultati, considerando la scala PEDro, la qualità degli studi presi in esame è risultata accettabile. In questi

studi, tutti i tipi di intervento della forza aspecifica hanno avuto un impatto sulle prestazioni (Figura 2.2 e 2.3), migliorando i diversi parametri fisiologici rilevanti per gli atleti di resistenza.

Tuttavia, considerando i 4 sport di resistenza sopra citati, si è trovato dati sul confronto tra diversi tipi di forza aspecifica solo per la corsa, mentre per le altre discipline è stata considerata solo la Forza Massima. In effetti, l'allenamento della forza massima è il tipo di esercizio più studiato tra gli allenamenti della forza aspecifica per lo sport, mentre sono disponibili scarsi dati sull'allenamento della forza pliometrica, esplosiva o di resistenza. Pertanto, i dati riportati in questa meta-analisi potrebbero aiutare a stimolare nuovi studi sugli sport di resistenza.

Come riportato nella figura 2.2, l'economia del gesto (WE) è stata influenzata positivamente dall'allenamento della forza massima (MST), che nella corsa è risultata più efficiente dell'allenamento esplosivo (Mikkola & Vesterinen, 2011) o di resistenza (Piacentini & De Ioannon, 2013). Tuttavia, quando è stato confrontato con l'allenamento pliometrico (Berryman & Maurel, 2010), l'allenamento della forza massima ha mostrato una minore efficacia nel migliorare l'economia della corsa. Questo scarso effetto dell'allenamento della forza massima era evidente anche nel ciclismo, poiché in tutti gli studi che riportavano valori sull'economia della pedalata la maggior parte risultava inferiore all'effetto complessivo (Rønnestad & Hansen, 2010; Aagaard & Andersen, 2011; Rønnestad & Hansen, 2011; Hansen & Rønnestad, 2012; Rønnestad & Hansen, 2015; Rønnestad & Hansen, 2017). Pertanto, è ragionevole ipotizzare che un allenamento della forza aspecifica differente dall'allenamento della forza massima debba essere preso in considerazione per il miglioramento dell'economia della pedalata nel ciclismo. Al contrario, quando il ciclismo è considerato come componente della disciplina del triathlon, la sua economia di pedalata sembra essere influenzata positivamente dalla forza massima (Vikmoen & Rønnestad, 2017), così come per la componente della corsa (Vikmoen & Rønnestad, 2017). Anche se in questa meta-analisi è stato incluso solo uno studio sullo sci di fondo, l'allenamento della forza massima è stato chiaramente in grado di migliorare l'economia



del gesto (Losnegard & Mikkelsen, 2011), suggerendo che questo tipo di allenamento della forza aspecifica potrebbe essere efficace in questa disciplina

Come mostrato nella figura 2.3, gli effetti dell'allenamento della forza aspecifica sulle prestazioni di resistenza (Tempo su di un test – TT e Tempo su di un test ad esaurimento - TTE) sono variabili. Tra gli studi sulla corsa, solo tre hanno riportato dati sulle prestazioni di resistenza (Berryman & Maurel, 2010; Ramírez-Campillo & Alvarez, 2014; Vikmoen & Raastad, 2016), considerando l'allenamento pliometrico o di forza massima. L'allenamento della forza massima è risultato inefficace sulle prestazioni di resistenza nella corsa (Vikmoen & Raastad, 2016) così come quello pliometrico. Questo scarso risultato dell'allenamento pliometrico nelle prestazioni di resistenza nella corsa potrebbe essere dovuto alla bassa frequenza (Berryman & Maurel, 2010) o al tempo (Ramírez-Campillo & Alvarez, 2014) utilizzato dai protocolli di allenamento pliometrico (vedi Tabella 2.3).

Miglioramenti significativi nelle prestazioni di resistenza sono stati ottenuti dalla forza massima nel ciclismo (Sunde & Støren, 2010; Aagaard & Andersen, 2011; Rønnestad & Hansen, 2011; Hansen & Rønnestad, 2012; Rønnestad & Hansen, 2015; Vikmoen & Ellefsen, 2016); tuttavia, la variabilità di questi risultati rafforza l'idea che in questa disciplina potrebbero essere preferibili diversi tipi di allenamento della forza aspecifica. Sfortunatamente, la mancanza di dati sulle prestazioni di resistenza nel triathlon non ha permesso di speculare sulle componenti della corsa e del ciclismo.

## **2.5. Conclusione**

Riassumendo, nella corsa il miglior allenamento di forza aspecifica per lo sport sembra essere quella pliometrica, anche se la forza massima potrebbe indurre alcuni miglioramenti. Al contrario, l'allenamento della forza esplosiva potrebbe essere inappropriato per ottenere le migliori prestazioni durante la corsa. Sebbene l'allenamento della forza massima sia stato l'unico allenamento di forza aspecifica studiato nel ciclismo, la nostra analisi suggerisce che altri tipi di esercizi potrebbero essere più efficaci. In effetti, come abbiamo scoperto nella corsa, possiamo ipotizzare che l'allenamento pliometrico o altri allenamenti di forza potrebbero essere preferibili nel ciclismo. Sia per il triathlon che per lo sci di fondo, invece, può essere consigliato l'allenamento della forza massima.

In conclusione, i risultati della nostra meta-analisi supportano l'ipotesi che un appropriato allenamento della forza aspecifica possa ottimizzare le prestazioni in specifiche discipline sportive di resistenza.

## BIBLIOGRAFIA

1. Aagaard, P., & Andersen, J. L. (2010). Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports, 20 Suppl 2*, 39–47. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01197.x>
2. Aagaard, P., Andersen, J. L., Bennekou, M., Larsson, B., Olesen, J. L., Crameri, R., Magnusson, S. P., & Kjaer, M. (2011). Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. *Scandinavian journal of medicine & science in sports, 21*(6), e298–e307. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01283.x>
3. Barnes, K. R., Hopkins, W. G., McGuigan, M. R., & Kilding, A. E. (2013). Effects of different uphill interval-training programs on running economy and performance. *International journal of sports physiology and performance, 8*(6), 639–647. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.6.639>
4. Bazylar, C. D., Abbott, H. A., Bellon, C. R., Taber, C. B., and Stone, M. H. (2015). Strength Training for Endurance Athletes: Theory to Practice. *Strength & Conditioning Journal*. Vol.37(2). 1-12. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000131>
5. Beattie, K., Kenny, I. C., Lyons, M., & Carson, B. P. (2014). The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(6), 845–865. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0157-y>
6. Berryman, N., Maurel, D. B., & Bosquet, L. (2010). Effect of plyometric vs. dynamic weight training on the energy cost of running. *Journal of strength and conditioning research, 24*(7), 1818–1825. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181def1f5>
7. Burnie, L., Barratt, P., Davids, K., Stone, J., Worsfold, P., & Wheat, J. (2018). Coaches' philosophies on the transfer of strength training to elite sports performance. *International Journal of Sports Science & Coaching, 13*(5), 729–736. <https://doi.org/10.1177/1747954117747131>
8. Damasceno, M.; Pasqua, L.; Gáspari, A.; Araujo, G.; de-Oliveira, F.; Lima-Silva, A.; Bertuzzi, R. (2018). Effects of strength training on bioenergetics parameters determined at velocity corresponding to maximal oxygen uptake in endurance runners. *Science & Sports, 33*, e263–e270. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2018.04.004>
9. Denadai, B. S., de Aguiar, R. A., de Lima, L. C., Greco, C. C., & Caputo, F. (2017). Explosive Training and Heavy Weight Training are Effective for Improving Running Economy in Endurance Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(3), 545–554. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0604-z>
10. Hansen, E. A., Rønnestad, B. R., Vegge, G., & Raastad, T. (2012). Cyclists' improvement of pedaling efficacy and performance after heavy strength training. *International journal of sports physiology and performance, 7*(4), 313–321. <https://doi.org/10.1123/ijsp.7.4.313>
11. Hausswirth, C., Argentin, S., Bieuzen, F., Le Meur, Y., Couturier, A., & Brisswalter, J. (2010). Endurance and strength training effects on physiological and muscular parameters during prolonged cycling. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 20(2), 330–339. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2009.04.008>
12. Hickson, R. C., Dvorak, B. A., Gorostiaga, E. M., Kurowski, T. T., & Foster, C. (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 65(5), 2285–2290. <https://doi.org/10.1152/jappl.1988.65.5.2285>
13. Keiner, M., Wirth, K., Fuhrmann, S., Kunz, M., Hartmann, H., & Haff, G. G. (2021). The Influence of Upper- and Lower-Body Maximum Strength on Swim Block Start, Turn, and Overall Swim Performance in Sprint Swimming. *Journal of strength and conditioning research, 35*(10), 2839–2845. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003229>
14. Losnegard, T., Mikkelsen, K., Rønnestad, B. R., Hallén, J., Rud, B., & Raastad, T. (2011). The effect of heavy strength training on muscle mass and physical performance in elite cross-

- country skiers. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(3), 389–401. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01074.x>
15. Mikkola, J., Vesterinen, V., Taipale, R., Capostagno, B., Häkkinen, K., & Nummela, A. (2011). Effect of resistance training regimens on treadmill running and neuromuscular performance in recreational endurance runners. *Journal of sports sciences*, 29(13), 1359–1371. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.589467>
  16. Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *BMJ (Clinical research ed.)*, 339, b2535. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2535>
  17. Murlasits, Z., Kneffel, Z., & Thalib, L. (2018). The physiological effects of concurrent strength and endurance training sequence: A systematic review and meta-analysis. *Journal of sports sciences*, 36(11), 1212–1219. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1364405>
  18. Piacentini, M. F., De Ioannon, G., Comotto, S., Spedicato, A., Vernillo, G., & La Torre, A. (2013). Concurrent strength and endurance training effects on running economy in master endurance runners. *Journal of strength and conditioning research*, 27(8), 2295–2303. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182794485>
  19. Potdevin, F. J., Alberty, M. E., Chevutschi, A., Pelayo, P., & Sidney, M. C. (2011). Effects of a 6-week plyometric training program on performances in pubescent swimmers. *Journal of strength and conditioning research*, 25(1), 80–86. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181fef720>
  20. Ramírez-Campillo, R., Alvarez, C., Henríquez-Olguín, C., Baez, E. B., Martínez, C., Andrade, D. C., & Izquierdo, M. (2014). Effects of plyometric training on endurance and explosive strength performance in competitive middle- and long-distance runners. *Journal of strength and conditioning research*, 28(1), 97–104. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a1f44c>
  21. Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2010). Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists. *European journal of applied physiology*, 108(5), 965–975. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1307-z>
  22. Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2011). Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(2), 250–259. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01035.x>
  23. 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>
  24. Rønnestad, B. R., Hansen, J., Hollan, I., & Ellefsen, S. (2015). Strength training improves performance and pedaling characteristics in elite cyclists. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25(1), e89–e98. <https://doi.org/10.1111/sms.12257>
  25. Rønnestad, B. R., Hansen, J., & Nygaard, H. (2017). 10 weeks of heavy strength training improves performance-related measurements in elite cyclists. *Journal of sports sciences*, 35(14), 1435–1441. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1215499>
  26. Sammoud, S., Negra, Y., Chaabene, H., Bouguezzi, R., Moran, J., & Granacher, U. (2019). The Effects of Plyometric Jump Training on Jumping and Swimming Performances in Prepubertal Male Swimmers. *Journal of sports science & medicine*, 18(4), 805–811. [10.1016/j.jesf.2020.07.003](https://doi.org/10.1016/j.jesf.2020.07.003)
  27. Sedano, S., Marín, P. J., Cuadrado, G., & Redondo, J. C. (2013). Concurrent training in elite male runners: the influence of strength versus muscular endurance training on performance outcomes. *Journal of strength and conditioning research*, 27(9), 2433–2443. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318280cc26>
  28. Silva, R. A., Silva-Júnior, F. L., Pinheiro, F. A., Souza, P. F., Boullosa, D. A., & Pires, F. O. (2014). Acute prior heavy strength exercise

- bouts improve the 20-km cycling time trial performance. *Journal of strength and conditioning research*, 28(9), 2513–2520. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000442>
29. Sunde, A., Støren, O., Bjerkaas, M., Larsen, M. H., Hoff, J., & Helgerud, J. (2010). Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. *Journal of strength and conditioning research*, 24(8), 2157–2165. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181aeb16a>
30. Tanghe, K. K., & Martin, J. C. (2020). Heavy and Explosive Training Differentially Affect Modeled Cyclic Muscle Power. *Medicine and science in sports and exercise*, 52(5), 1068–1075. <https://doi.org/10.1249/MSS.00000000000002237>
31. Vikmoen, O., Ellefsen, S., Trøen, Ø., Hollan, I., Hanestadhaugen, M., Raastad, T., & Rønnestad, B. R. (2016). Strength training improves cycling performance, fractional utilization of VO<sub>2</sub>max and cycling economy in female cyclists. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 26(4), 384–396. <https://doi.org/10.1111/sms.12468>
32. Vikmoen, O., Raastad, T., Seynnes, O., Bergstrøm, K., Ellefsen, S., & Rønnestad, B. R. (2016). Effects of Heavy Strength Training on Running Performance and Determinants of Running Performance in Female Endurance Athletes. *PloS one*, 11(3), e0150799. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150799>
33. Vikmoen, O., Rønnestad, B. R., Ellefsen, S., & Raastad, T. (2017). Heavy strength training improves running and cycling performance following prolonged submaximal work in well-trained female athletes. *Physiological reports*, 5(5), e13149. <https://doi.org/10.14814/phy2.13149>
34. Wilson, J. M., Marin, P. J., Rhea, M. R., Wilson, S. M., Loenneke, J. P., & Anderson, J. C. (2012). Concurrent training: a meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *Journal of strength and conditioning research*, 26(8), 2293–2307. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823a3e2d>

### 3. INTERCONNESSIONE TRA CAMBIAMENTI FISIologici E BIOMECCANICI NELLA TRANSIZIONE DAL NUOTO AL CICLISMO NEL TRIATHLON

#### 3.1. Introduzione

La durata di una gara di Triathlon varia da circa un'ora per la distanza Sprint a circa 8-12 ore per la distanza Ironman®. In generale, nella distanza Sprint ed Olimpica il contributo di ciascun segmento sul tempo totale è di circa del 15/20% per il nuoto, del 3% per la transizione nuoto-ciclismo (T1), tra il 50-60% per il ciclismo, del 2% per la transizione ciclismo-corsa (T2) e il 20-40% per la corsa (Figueiredo & Marques, 2016; Scorcine & Pereira, 2017, Sousa & Aguiar, 2021; Quagliarotti & Gaiola, 2022).

I vari segmenti che compongono il triathlon devono essere visti come una prestazione unica dovuta al loro concatenamento; infatti, ogni segmento può influenzare quello successivo e di conseguenza la performance totale (Sousa & Aguiar, 2021). Il segmento di nuoto può avere un effetto sul segmento di ciclismo, e quello di ciclismo su quello della corsa, e in particolar modo questo avviene per le distanze più corte come la Mixed Team Relay (MTR), la distanza Sprint (SD) e Olimpica (OD) (Scorcine & Pereira, 2017; Quagliarotti & Gaiola, 2022).

Nelle competizioni su distanze corte, che rientrano nel circuito *World Triathlon Championship Series WTCS* (MTR, SD, OD), dove è consentito stare in scia ad un altro atleta (World Triathlon Competition Rules, 2022), rimanere nel primo gruppo ciclistico può contribuire a preservare l'energia e l'efficienza muscolare per il segmento di corsa successivo. Di conseguenza, il segmento di corsa diventa determinante per l'esito finale della prestazione (se gli atleti riescono a rimanere nel primo gruppo dopo il nuoto), ed è inversamente proporzionale all'intensità tenuta nel ciclismo.

Pertanto, poiché la posizione finale del secondo segmento (ciclismo) è determinante per rimanere nel primo gruppo di corsa, la prestazione del segmento di nuoto (primo segmento)

appare anch'essa fondamentale per l'intera prestazione (Landers & Blanksby, 2008; Vleck & Bürgi, 2006; Figueiredo & Marques, 2016; Ofoghi & Zeleznikow, 2016).

La transizione tra le discipline avviene all'interno di una determinata zona ed è fondamentale per il risultato finale. Pertanto, la perdita di tempo durante la transizione può compromettere il successo finale (Migliorini S., 2020). Inoltre, la prima transizione (nuoto-ciclismo: T1) è caratterizzata da una maggiore variabilità, perché più lunga della seconda (ciclismo-corsa: T2) e più articolata nella sua esecuzione. Il tempo trascorso in T1 dipende sostanzialmente da due fattori: (i) la posizione dell'atleta rispetto al gruppo quando entra nell'area di cambio, e (ii) il tempo impiegato dagli atleti per compiere le specifiche azioni di cambio disciplina (Cejuela & Cala, 2013).

Pertanto, si è pensato che la prima transizione nuoto-ciclismo, date le sue caratteristiche in termini di esecuzione e modalità con cui viene affrontata, possa influenzare le condizioni fisiologiche degli atleti e influenzare l'esito della prestazione totale. Infatti, i parametri fisiologici e/o biomeccanici possono variare a seconda delle diverse posture adottate dall'atleta durante i primi due segmenti, per cui il passaggio dal nuoto al ciclismo può essere considerato un periodo critico durante il quale il corpo passa dalla posizione orizzontale a quella eretta. In passato, infatti, hanno ricevuto molta attenzione le valutazioni delle variazioni dei parametri fisiologici in funzione di una diversa postura o intensità durante esercizio (Kantanista & Kusy, 2016).

Le diverse distanze di triathlon possono indurre variazioni differenti. Per le gare di lunga distanza (Half Ironman® e Ironman®) la minore intensità espressa durante il segmento di nuoto provoca una più lieve alterazione dei parametri fisiologici e biomeccanici, che possono influire in maniera più lieve sul secondo segmento (Laursen & Rhodes, 2000). Al contrario, la diminuzione della distanza del segmento di nuoto nelle gare di breve distanza (Mixed Team Relay, Sprint e Olimpico) e la modalità con cui gli atleti la eseguono, cioè con un aumento di intensità, potrebbe portare a maggiori cambiamenti fisiologici e biomeccanici e di conseguenza influire sulle successive frazioni (Rothschild & Crocker, 2019).

Pertanto, diventa necessario approfondire quali siano le modificazioni che avvengono nel passaggio da nuoto a ciclismo. Infatti, mentre la transizione da ciclismo a corsa è stata ampiamente dibattuta e rivista (Millet & Vleck, 2000; Millet & Bentley, 2004), una sintesi delle prove relative alla transizione da nuoto a ciclismo risulta mancante.

Lo scopo di questa revisione è quello di riassumere le evidenze disponibili riguardo ai cambiamenti fisiologici e biomeccanici che compaiono durante la transizione dal nuoto al ciclismo, fornendo raccomandazioni pratiche per allenatori e atleti. Evidenziando quali sia i cambiamenti fisiologici e biomeccanici e l'interconnessione tra essi.

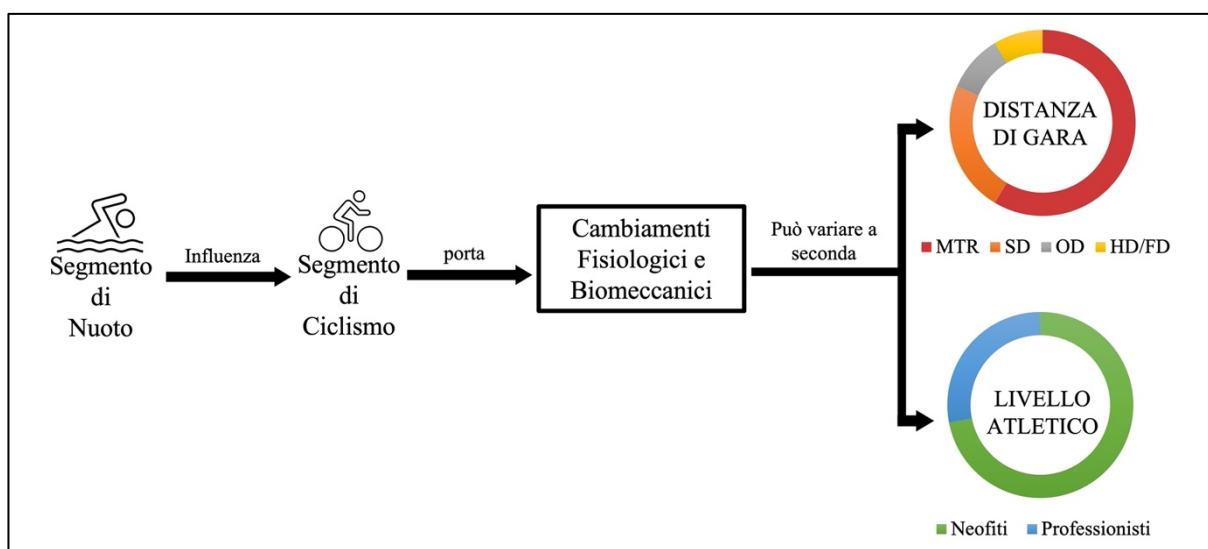
Inoltre, sono state valutate le diverse distanze del triathlon e i fattori associati alle caratteristiche del nuoto (es. frequenza delle gambate, intensità di nuoto, strategia di interpretazione dello sforzo) e alle condizioni in cui viene svolto (es. muta, scia), poiché possono indurre risposte specifiche ed influenzare ulteriormente il segmento successivo, avendo così un'influenza positiva o negativa sull'intera prestazione del triathlon.



### 3.2. Cambiamenti fisiologici

La natura multidisciplinare del triathlon provoca un carico fisiologico unico sugli atleti, con conseguente modificazione dei parametri emodinamici, biochimici, cardiorespiratori e metabolici (Fig. 3.1). Le diverse distanze di gara possono influenzare le risposte fisiologiche, poiché le brevi distanze di triathlon necessitano di potenza e velocità, mentre le distanze più lunghe richiedono resistenza e strategia di distribuzione dell'energia (Sharma & Périard, 2020).

In termini generali, i triatleti mostrano livelli elevati di capacità aerobica, ma inferiori rispetto agli specialisti delle singole discipline con una maggiore economia del gesto, cioè la capacità di esprimere una migliore prestazione ad una percentuale inferiore della  $\dot{V}O_2\text{max}$ . Inoltre, i triatleti hanno un livello elevato di soglia anaerobica e parametri cardiovascolari, con un'ottima gestione dello sforzo e del dispendio energetico. Infatti, tali fattori sono considerati critici e determinanti per il successo durante una competizione di triathlon (O'Toole & Douglas, 1995).



**Figura 3.1.** Cambiamenti fisiologici e biomeccanici in base alla distanza di gara e al livello dell'atleta. Il segmento del nuoto influenza il ciclo successivo provocando cambiamenti sia fisiologici che biomeccanici, che possono variare in base alla distanza di gara e al livello dell'atleta. I grafici ad anello sono interpretazioni non quantitative di variabili (distanza di gara e livello dell'atleta) che innescano maggiori o piccoli cambiamenti fisiologici e biomeccanici. I colori e le dimensioni delle sezioni dell'anello sono esempi qualitativi per spiegare visivamente i cambiamenti fisiologici e biomeccanici durante le diverse distanze di gara e in base al livello dell'atleta. Maggiori modifiche si verificano sulle brevi distanze (MTR, SD e OD) e sui principianti rispetto alle lunghe distanze (HD e FD) e agli atleti professionisti. HD: Half-Ironman<sup>®</sup>; FD: Ironman<sup>®</sup>; MTR: staffetta a squadre miste; OD: distanza olimpica; SD: distanza di sprint.

### Parametri emodinamici e biochimici

Le modificazioni del volume plasmatico (VP) che avvengono durante esercizio sono dovute principalmente al cambiamento posturale (cioè al passaggio dalla posizione orizzontale a quella verticale) più che dall'intensità dell'esercizio, che, ne influenza solo l'1% (Long & Blake, 1990). Infatti, durante la distanza Sprint, negli atleti principianti, si è riscontrata una riduzione del volume plasmatico del 3,8% dopo il segmento di nuoto e del 4,3% alla fine del segmento di ciclismo (McNaughton L. R., 1989).

La variazione del volume plasmatico durante la postura orizzontale rispetto a quella eretta è dovuta principalmente all'aumento del volume sanguigno. Infatti, in posizione supina (come avviene durante il nuoto) si ha un drenaggio più rapido ed efficiente dei liquidi corporei nei vasi, aumentando così il volume del sangue. Tuttavia, altri fattori concomitanti possono essere responsabili della modifica del volume plasmatico; come lo stato di idratazione, la postura, l'intensità dell'esercizio e la temperatura dell'acqua e corporea. Inoltre, l'ipertermia e la disidratazione portano ad una riduzione della gittata sistolica e ad un conseguente aumento della frequenza cardiaca (Coyle & González-Alonso, 2001; Presta & Ambrosini, 2021), necessaria a mantenere la gittata cardiaca fisiologica (Wingo & Ganio, 2012).

L'aumento della temperatura corporea durante il nuoto ha effetto sul volume plasmatico e, di conseguenza, sui parametri cardiovascolari (pressione arteriosa media, frequenza cardiaca e gittata sistolica) (Kreider & Boone, 1988; Kerr & Trappe, 1998; Wingo & Ganio, 2012). Inoltre, l'aumento della temperatura interna può ridurre la funzionalità metabolica centrale (Ament & Verkerke, 2009), che è considerata una delle cause dell'origine centrale della fatica e un fattore limitante per le prestazioni (Noakes T. D., 2011).

Generalmente, il sistema di termoregolazione del corpo provoca uno smistamento del sangue ai vasi cutanei per la dissipazione del calore, seguito da una riduzione della pressione arteriosa media e del volume cardiaco e da un aumento della frequenza cardiaca. Pertanto, bere frequentemente durante una gara di triathlon riduce al minimo l'aumento della temperatura e

limita l'insorgenza di queste modificazioni cardiovascolari. Infatti, diversi disturbi fisiologici in molteplici sistemi, organi e tessuti sono associati a uno stato di disidratazione e ipertermia (Trangmar & González-Alonso, 2019). Il consumo di bevande CHO/elettrolitiche per reintegrare i liquidi è una strategia per prevenire la deriva cardiovascolare e contrastare l'aumento della temperatura interna, al fine di evitare il peggioramento delle prestazioni che si osserva negli atleti ipoidrati (Kreider & Boone, 1988; Presta & Ambrosini, 2021).

Durante una simulazione della distanza olimpica (1 km di nuoto, 30 km in bicicletta, 10 km di corsa) in atleti neofiti, si osserva una variazione dei parametri ematochimici, con un aumento dei globuli bianchi (39%), dei globuli rossi (3,8%) e del volume medio cellulare (1%) e una diminuzione del volume plasmatico totale (9,57%), da pre-esercizio alla prima transizione (nuoto-ciclismo), senza alcuna variazione nell'emoglobina (Tab. 3.1) (McNaughton L. R., 1989; Long & Blake, 1990). L'aumento dei globuli bianchi riscontrato dopo il segmento di nuoto potrebbe essere spiegato come una *pseudo-leucocitosi*, che si verifica con livelli elevati di stress fisico, come avviene durante una performance sportiva. In aggiunta, l'aumento dell'adrenalina in circolo, induce la mobilitazione dei globuli bianchi, in maniera inversamente proporzionale rispetto al livello di allenamento (Simpson & Kunz, 2015). Inoltre, le modificazioni nei globuli rossi, come i livelli di ematocrito ed emoglobina, possono portare all'anemia indotta da sport, causata dall'effetto di diluizione dell'aumento del volume plasmatico che supera la crescita della massa dei globuli rossi (Long & Blake, 1990).

In aggiunta, si evidenziano modificazioni anche in altri parametri biochimici, come il Sodio (1,3% post-nuoto e 2,6% post-ciclo vs post-nuoto), la Lattato Deidrogenasi (21,2% post-nuoto e 10,2% post-ciclo vs-nuoto) e la Creatinina (25% post-nuoto e 2,9% post-ciclo vs post-nuoto) (Tab. 3.1). In particolare, l'aumento della Creatinina, dovuto alla riduzione del flusso sanguigno renale, e della Lattato Deidrogenasi, potrebbe essere correlato all'intensità e alla durata dell'esercizio e ai livelli degli atleti (Long & Blake, 1990; Kerr & Trappe, 1998). Inoltre, anche i

livelli di Calcio e Aspartato Aminotransferasi sono aumentati significativamente dopo il nuoto, rispetto ai valori pre-gara (Long & Blake, 1990).

### Temperatura corporea

Per quanto riguarda la temperatura corporea, l'aumento della temperatura interna ( $0,8^{\circ}\text{C}$ ) durante il segmento nuoto porta ad una riduzione della pressione arteriosa media (9,4%) e del volume plasmatico. I meccanismi di termoregolazione portano ad una vasodilatazione periferica e ad uno spostamento del sangue ai vasi sottocutanei per la dissipazione del calore, di conseguenza la pressione arteriosa media e la gittata sistolica diminuiscono. Provocando così un aumento della frequenza cardiaca durante il segmento successivo (ciclismo), necessaria per mantenere una gittata cardiaca efficiente, e ad un aumento del consumo di ossigeno ( $\dot{V}\text{O}_2 = 5,6\%$ ) e dell'equivalente ventilatorio ( $\text{VE} = 5,3\%$ ) (Tab. 3.1) (Kreider & Boone, 1988).

La temperatura può aumentare anche indossando uno *speedsuit*, cioè un abbigliamento da competizione da nuoto, formato da un unico pezzo con design e finitura idrorepellente in silicone, che può essere usato durante tutti e tre i segmenti di triathlon. Infatti, nuotare per 750 metri alla massima intensità con lo *speedsuit* tende ad aumentare la temperatura interna e ad elevare i livelli di lattato nel sangue (1,2%) e la frequenza cardiaca (1,8%) (Peeling & Landers, 2007).

Allo stesso modo, nuotare con una muta da nuoto (tipicamente usata nel nuoto in acque libere: mare, fiume e lago) durante un test di triathlon olimpico porta ad un aumento della temperatura cutanea ( $4^{\circ}\text{C}$ ) e corporea ( $1,5^{\circ}\text{C}$ ). Tuttavia, l'esecuzione della successiva fase di ciclismo in condizioni di laboratorio controllate (con uso del ventilatore) aiuta a ristabilire i normali livelli di temperatura. Al contrario, durante l'allenamento e le competizioni, in un ambiente caldo e umido potrebbe avere un effetto negativo sulle prestazioni (Kerr & Trappe, 1998).

### Parametri cardiorespiratori e metabolici

Durante un triathlon su distanza lunga (Half-Ironman<sup>®</sup> e Ironman<sup>®</sup>), l'esecuzione del segmento di nuoto (> 1500 metri) ha un impatto minore sul segmento successivo (ciclismo), rispetto alle distanze più brevi (Laursen & Rhodes, 2000; Rothschild & Sheard, 2022). Infatti, non sono emerse differenze significative nei parametri cardiorespiratori durante la prima transizione (nuoto-ciclismo), anche se, la frequenza cardiaca (dal 2% al 4%) e il  $\dot{V}O_2\text{max}$  (dal 4% al 5%) tendevano ad aumentare, e solo l'equivalente ventilatorio (VE) risultava significativamente aumentato (6,7 %) durante il segmento ciclistico (Tab. 3.1) (Laursen & Rhodes, 2000; Rothschild & Crocker 2019; Rothschild & Sheard, 2022).

Nella distanza Olimpica (OD), il segmento di nuoto (1500 metri) induce aumenti nel lattato nel sangue (La) (32,2%), nel  $\dot{V}O_2$  (5%), nella frequenza cardiaca (FC) (9,3%), nell'equivalente ventilatorio (VE) (15,7%) e nella frequenza respiratoria (RF) (19,9%) all'inizio del successivo segmento ciclistico (Tab. 3.1) rispetto al gruppo di controllo, che ha eseguito un riscaldamento ciclistico al 30% della MAP (Maximal Aerobic Power), di durata equivalente al tempo della prestazione di nuoto del gruppo sperimentale, prima dei successivi 30 minuti di ciclismo (Delextrat & Brisswalter, 2005).

González-Haro e colleghi, diversamente dai risultati evidenziati da Delextrat e colleghi sulla distanza Olimpica (Delextrat & Brisswalter, 2005), hanno evidenziato durante il nuoto un aumento significativo dei livelli di lattato nel sangue, ma con una tendenza a diminuire entro i 45 minuti della successiva sessione di ciclismo (durata 1 ora). Tuttavia, la frequenza cardiaca nella prima transizione da nuoto a ciclismo non era significativamente modificata, mentre durante il segmento di ciclismo tendeva ad aumentare significativamente insieme al  $\dot{V}O_2$  e all'equivalente ventilatorio (VE) (González-Haro & González-de-Suso, 2005).

Altri studi di Delextrat e colleghi, sulla distanza Sprint (cioè 750 metri di nuoto) hanno valutato l'utilizzo della muta da nuoto rispetto al nuoto senza di essa o l'esecuzione del segmento di nuoto in posizione di scia (immediatamente dietro ad un altro atleta), evidenziando

modifiche sostanziali nei parametri fisiologici (Delextrat & Bernard, 2003a; Delextrat & Tricot, 2003; Delextrat & Tricot, 2005).

Infatti, durante il nuoto l'utilizzo della muta porta ad una riduzione della frequenza cardiaca - FC (11%) e del lattato sanguigno - La (47%) e, durante il segmento di ciclismo ad una diminuzione del  $\dot{V}O_2$  (4,5%), della FC (3,3%), dell'equivalente ventilatorio - VE (14,4%), della frequenza respiratoria - RF (15,6%) e del La (25%) (Tab. 3.1) (Delextrat & Bernard, 2003a).

Allo stesso modo, nuotare in scia porta ad una riduzione della FC (6,4%; 7%) e del La (16,7%; 29,3%); nel segmento successivo, infatti, il  $\dot{V}O_2$  (5%), il VE (6,6%), la RF (9,4%) e l'RPE (Tasso di sforzo percepito) (Tab. 3.1) erano più bassi negli atleti che nuotavano in scia rispetto agli altri (Delextrat & Tricot, 2003; Delextrat & Tricot, 2005).

Per quanto riguarda l'intensità del nuoto utilizzata durante un evento breve come la distanza Sprint si è visto che, nuotare con una velocità inferiore al proprio massimale ("S80" dall'80% all'85%), valutato precedentemente tramite un test di nuoto (STT), porta ad una migliore prestazione di nuoto-ciclismo rispetto al nuoto a velocità media ("S90" dal 90% al 95% del STT) o massimale ("S100" dal 98% al 102% del STT). Infatti, sono state riscontrate concentrazioni di lattato maggiori nel gruppo S100 (75%) rispetto agli altri gruppi, mentre la percezione dello sforzo (RPE) era più bassa nei gruppi S80 e S90 (Peeling & Bishop, 2005).

Utilizzando una metodologia simile, Barragán e colleghi hanno confrontato varie intensità, al 70%, 80% e 90% della velocità massima di nuoto, dimostrando che si ottengono le prestazioni migliori di nuoto con la massima intensità (90%), però con un aumento significativo delle concentrazioni di lattato nel sangue (59%) (Tab. 3.1) (Barragán & González-Ravé, 2020).

In aggiunta, valutando sempre l'intensità di nuoto con un protocollo simile, Peeling e colleghi, hanno riportato un miglioramento significativamente più alto nell'efficienza della pedalata (4,2%) nel gruppo S80 rispetto a quello S100 (Peeling & Bishop, 2005).

Nel segmento di nuoto sulla distanza Mixed Team Relay - MTR (400 m) prima del segmento ciclistico, utilizzando tre diverse intensità di nuoto (S90 = 90% del proprio massimale;

S100 = 100%; nuoto in posizione di scia al 100%, SDr = 100%), si evidenziano variazioni nei parametri fisiologici; infatti, la frequenza cardiaca (3,5%) e il lattato nel sangue (~87%) erano più elevati nel gruppo S100 rispetto a quello S90, portando ad un affaticamento eccessivo, come confermato dalla maggiore percezione dello sforzo (RPE) rispetto alla condizione SDr (Tab. 3.1) (Bentley & Libicz, 2007).

Si è visto che la velocità dei primi 200 metri di nuoto è determinante per il risultato complessivo, perché fondamentale per rimanere con il primo gruppo di atleti, provocando però un aumento nella spesa energetica (Chatard & Chollet, 1998; Vleck & Bürgi, 2006).

Nuotare alle massime intensità, impegna principalmente la parte superiore del corpo, e induce ad un maggiore affaticamento durante il segmento di ciclismo, probabilmente causato dalla diminuzione del flusso sanguigno e del glicogeno nei muscoli delle gambe. Infatti, l'esaurimento del volume di glicogeno totale o inter/intra-mio fibrillare può compromettere le prestazioni muscolari. Esiste una stretta relazione tra elevati carichi di lavoro e la deplezione di glicogeno nei muscoli in esercizio, che potrebbe limitare la capacità di lavoro prolungato (Gejl & Ørtenblad, 2017).

Inoltre, la contrazione ritmica dei muscoli che lavorano (come avviene pedalando) limita la regolare perfusione sanguigna al compartimento muscolare delle gambe rallentando i meccanismi di tamponamento degli acidi (Bohnert & Ward, 1998; Wan & Qin, 2017).

Pertanto, l'intensità dello sforzo prodotto durante il nuoto ha un'influenza critica sulle prestazioni del triathlon e deve essere attentamente considerata da allenatori e atleti durante l'allenamento e la competizione.



Le diverse strategie di percorrenza del segmento di nuoto possono influenzare in modo variabile le prestazioni sulla distanza Sprint. Un ritmo positivo – cioè da una velocità quasi massimale (92%) fino ad una velocità più bassa (73%) – si è visto essere interpretato meno faticoso (RPE) rispetto ad un ritmo negativo (dal 73% al 92%). Tuttavia, i valori di frequenza cardiaca misurati alla fine della prestazione non differivano significativamente in termini di

stimolazione positiva rispetto a quella negativa – cioè da una velocità più bassa (73%) ad una quasi massimale (92%) – o ad una costante (all'82,5%) (Wu & Peiffer, 2016).

Infine, la modalità con cui l'atleta svolge il nuoto precedentemente al segmento ciclistico, cioè se utilizza maggiormente le braccia o le gambe, può influenzare i parametri fisiologici; si è riscontrato che, nuotare esclusivamente con le braccia o con le braccia e gambe porta a valori più elevati di lattato - La (42,9%),  $\dot{V}O_2$  (5%), frequenza cardiaca - FC (7%), equivalente ventilatorio - VE (19%) e frequenza respiratoria - RF (24,8%) rispetto a quelli ottenuti da una prestazione ciclistica isolata (Tab. 3.1) (Delextrat & Bernard, 2003b). Come già dimostrato da studi precedenti, il livello di  $\dot{V}O_2$  aumenta durante il ciclismo se preceduto da un esercizio ad alta intensità con le braccia (nuoto), ma non dopo l'esercizio effettuato con le gambe (Bohnert & Ward, 1998).

Per riassumere, a seguito di queste evidenze su come possano avvenire i cambiamenti fisiologici durante la transizione nuoto-ciclismo nel triathlon; allenatori e atleti dovrebbero considerare l'importanza di mantenere lo stato di idratazione, integrando con CHO/elettroliti ed evitando un aumento eccessivo della temperatura interna quando si indossa una muta o indumenti che possono influire negativamente sulla termoregolazione, specialmente in condizioni ambientali estreme. Inoltre, la modulazione del ritmo nel nuoto è un fattore determinante per la prestazione complessiva nuoto-ciclismo, perché può avere un impatto negativo sulla successiva prestazione ciclistica (Fig. 3.2).



	<p><b>Nuoto- Ciclismo (T1)</b></p>	
	<p><b>Cambiamenti Fisiologici</b></p>	<p><b>Cambiamenti Biomeccanici</b></p>
<p><b>Indossando la Muta</b></p>	<p>↓ lattato, VO<sub>2</sub>, FC, VE, RF</p>	<p>↑ Prestazione ciclistica</p>
<p><b>Nuotando in Scia</b></p>	<p>↓ lattato, VO<sub>2</sub>, FC, VE, RF, RPE</p>	<p>↑ Economia della pedalata ↓ Cadenza ↑ Picco/media di Forza sul pedale</p>
<p><b>Velocità Nuoto dal 90% al 70%</b></p>	<p>↓ RPE Nessun effetto sulla FC</p>	<p>↑ Potenza media</p>
<p><b>Caratteristiche nuotata (solo braccia o completo)</b></p>	<p>↑ lattato, VO<sub>2</sub>, FC, VE, RF</p>	<p>↓ Economia della pedalata</p>

**Figura 3.2.** Panoramica schematica dell'influenza del nuoto sul segmento ciclistico in termini di cambiamenti fisiologici e biomeccanici. FC: Frequenza Cardiaca; RF: Frequenza Respiratoria; RPE: tasso di sforzo percepito; T1: prima transizione, da nuoto a bicicletta; VE: Equivalente Ventilatorio; VO<sub>2</sub>: volume di ossigeno; ↓: riduzione; ↑: aumento.

### 3.3. Cambiamenti biomeccanici

Durante la transizione nuoto-ciclismo diversi parametri biomeccanici potrebbero essere rilevanti per il risultato finale, come la frequenza (SF) e la lunghezza delle bracciate di nuoto (SL); la cadenza ciclistica (RPM), l'efficienza della pedalata (CE), la forza applicata al pedale (PT), il picco di forza sul pedale (Pk) e la potenza espressa (PW) durante il segmento di ciclismo.

Analogamente ai parametri fisiologici, anche le risposte biomeccaniche possono essere influenzate dalla distanza di gara, dall'intensità, dalla strategia di stimolazione e soprattutto dall'utilizzo della muta o di un abbigliamento specifico.

Generalmente, la frequenza delle bracciate di nuoto (SF) aumenta proporzionalmente rispetto ai valori medi (dal 14 al 20,5%) in relazione all'intensità del nuoto (Tab. 3.1), mentre una frequenza delle bracciate più bassa è riscontrata ad intensità inferiori (Delextrat & Bernard, 2003b; Peeling & Bishop, 2005; Bentley & Libicz, 2007). Infatti, nuotare per 750 m all'80% dell'intensità massima (o indossare una muta) ha portato ad una frequenza di bracciate inferiore rispetto al nuoto al 100% (da 25 a 32 bracciate al minuto) (Delextrat & Bernard, 2003b; Peeling & Bishop, 2005). Allo stesso modo, nuotare per 400 m al 90% dell'intensità massima rispetto al 100% ha evidenziato una differenza nella frequenza delle bracciate (31 vs 37 bracciate al minuto) (Bentley & Libicz, 2007).

Come già detto, il segmento di nuoto può influenzare notevolmente il segmento successivo (Peeling & Landers, 2009; Scorcine & Pereira, 2017). Infatti, durante gli ultimi metri (200 metri) del segmento di nuoto, gli atleti tendono ad aumentare la propria velocità, attivando maggiormente le gambe con lo scopo di uscire nel primo gruppo (Cejuela Anta & Pérez Turpin, 2008). Anche Ortega Diez e colleghi, hanno evidenziato che nella transizione da nuoto a ciclismo nelle gare di breve distanza (Sprint e Olimpico), gli atleti aumentano la frequenza delle gambate a nuoto durante gli ultimi 100-200 metri del segmento, portando il rapporto a 6 battute per ogni ciclo di bracciata, provando così ad aumentare il volume del flusso sanguigno alle

gambe e così essere maggiormente attivi per il segmento successivo, infatti, durante il nuoto, il volume del flusso sanguigno è principalmente diretto alla parte superiore del corpo (Ortega Diez J., 2013).

Diversamente, il segmento di nuoto delle gare di lunga distanza (Half-Ironman® e Ironman®) evidenzia scarse modificazioni nella potenza erogata durante la successiva prestazione ciclistica (Laursen & Rhodes, 2000). Rothschild e colleghi, riscontrano lievi modifiche a seguito del nuoto oltre i 2000 metri, con diminuzioni nella potenza erogata a 4 mM di lattato, nella potenza di picco (3,8% e 4,8%, rispettivamente) (Rothschild & Crocker, 2019), e nella potenza totale (6%) senza influire sulla potenza critica o sul lavoro svolto al di sopra della potenza critica (Tab. 3.1) (Rothschild & Sheard, 2022).

Nella distanza Sprint, Peeling e colleghi, hanno evidenziato una variazione nella frequenza di bracciata (SF), direttamente influenzata dall'intensità del nuoto. Il gruppo che nuota a velocità più bassa (S80 – 80% del massimo) ha mostrato una variazione maggiore nella frequenza di bracciata (20,5%) rispetto al gruppo S100 (100% del massimo), mantenendo costante la lunghezza della bracciata (SL). Di conseguenza, l'economia del gesto (WE) durante il segmento ciclistico è stata superiore per il gruppo S80 (4,2%) rispetto al gruppo S100 (Peeling & Bishop, 2005).

In accordo con gli studi sulla modulazione delle intensità sulla distanza Sprint (Peeling & Bishop, 2005; Bentley & Libicz, 2007; Wu & Qin, 2017), nella distanza di nuoto Mixed Team Relay (400 metri), emerge una frequenza di bracciate di nuoto inferiore (18,4%) rispetto a S100, senza alcuna differenza significativa nella lunghezza. Di conseguenza, durante il segmento successivo, la potenza media del gruppo S90 è stata maggiore (11%) rispetto al gruppo S100, confermato anche dalla cadenza ciclistica mantenuta costante nel gruppo S90 (Tab. 3.1).

Per quanto riguarda i parametri biomeccanici del nuoto e del ciclismo, le prestazioni nella distanza Sprint possono essere influenzate dall'utilizzo della muta. Gli atleti possono indossare la muta in determinate situazioni, con il vantaggio di risparmiare energia, ridurre la resistenza

dell'acqua e aumentare la galleggiabilità (Toussaint & Bruinink, 1989; Chatard & Senegas, 1995). Inoltre, la resistenza idrodinamica può essere influenzata dalla velocità di nuoto, dalla distanza oltre che dalla frequenza nella battuta di gambe del nuotatore che precede (Delextrat & Tricot, 2003).

Similarmente, lo *speedsuit* ha permesso agli atleti di nuotare più velocemente e migliorare l'espressione del nuoto e di ridurre l'affaticamento (Peeling & Landers, 2007). Portando ad una riduzione della resistenza passiva dal 16 al 23% durante i 400 metri, associata ad un miglioramento della prestazione dal 3,2 al 5% (Chatard & Chollet, 1998).

Inoltre, è stata dimostrata una frequenza di bracciate di nuoto inferiore (14%) per il gruppo che utilizza la muta rispetto ai triatleti senza questo tipo di attrezzatura (Delextrat & Bernard, 2003a). Il motivo potrebbe essere attribuito all'aumento dell'efficacia nell'applicazione della forza in acqua per il gruppo con la muta rispetto a quelli senza muta. Inoltre, il gruppo senza muta ha aumentato il tasso di  $\dot{V}O_2$  durante il segmento di ciclismo portando ad un'economia della pedalata inferiore (12,1%), rispetto al gruppo con la muta (Delextrat & Bernard, 2003a).

Infine, il miglioramento del tempo di nuoto (3,2%) osservato con lo *speedsuit* non è stato associato a un aumento concomitante della frequenza e della lunghezza di bracciata e, delle prestazioni ciclistiche (Tab. 3.1) (Peeling & Landers, 2007).

Si assiste ad un cambiamento nei parametri biomeccanici anche nuotando in posizione di scia con la muta. Infatti, il nuoto in posizione di scia ha indotto un aumento della lunghezza delle bracciate, mentre la frequenza delle bracciate è rimasta invariata, mostrando una maggiore efficienza di nuoto (Chatard & Chollet, 1998; Chollet & Hue, 2000; Brisswalter & Hauswirth, 2008). Inoltre, l'economia della pedalata nel gruppo con muta e nuotata in scia era maggiore (~5%) con una forza applicata al pedale inferiore (~5%) rispetto al gruppo senza muta e scia (Delextrat & Tricot, 2003; Delextrat & Tricot, 2005).

Inoltre, nel gruppo che sta in scia, la cadenza ciclistica più bassa rilevata è direttamente collegata ad una potenza massima e media applicata al pedale più alta (2,9% e 3,9%) (Tab. 3.1) (Delextrat & Tricot, 2005).

Durante il segmento di nuoto l'atleta che sta in scia spesso adotta 2 battute di gambata per ogni ciclo di bracciata (cioè un movimento della gamba destra e uno della sinistra ogni ciclo completo della bracciata), mostrando successivamente una cadenza ciclistica inferiore con una potenza di picco più elevata, mentre il gruppo che non era in scia, adottava 6 battute per bracciata e successivamente utilizzava una cadenza ciclistica più alta (Delextrat & Tricot, 2005).

Si potrebbe ipotizzare un coinvolgimento del fenomeno detto PAP (Potenziamento Post-Attivazione), dovuto all'aumento delle risposte contrattili muscolari grazie ad una precedente attivazione muscolare, con conseguente aumento della contrazione muscolare successiva, similmente si potrebbe pensare che il segmento di nuoto svolga il ruolo di condizionamento per il successivo segmento di ciclismo (Boullosa & Del Rosso, 2018; Tseng & Chen, 2021).

Pertanto, ci si potrebbe aspettare che un'elevata frequenza di gambata a nuoto generi il potenziamento post-attivazione e porti a effetti simili sulle prestazioni del ciclismo in termini di elevata frequenza di pedalata e/o potenza (Boullosa & Del Rosso, 2018).

Tuttavia, la comprensione dell'effetto che la frequenza della gambata a nuoto potrebbe avere sui parametri fisiologici durante il segmento di ciclismo e l'attivazione del PAP non è completamente spiegata. Pertanto, sono incoraggiati ulteriori studi per esplorare se una frequenza ottimale di gambata a nuoto potrebbe influenzare positivamente il segmento successivo e se un programma di allenamento specifico possa influenzare la frequenza di gambata a nuoto.

Inoltre, con la manipolazione del ritmo di nuoto, i risultati finali della gara possono essere influenzati. Durante una prestazione sulla distanza Sprint di 750 metri, l'andatura di nuoto positiva (dal massimale al sub-massimale) ha portato a un tempo totale di ciclismo più veloce (4%), ad una maggiore potenza media (6,5%) e ad uno sforzo percepito inferiore (Tab. 3.1) (Wu & Peifferr, 2016).

Tuttavia, le caratteristiche con cui si nuota (cioè, il nuoto con sole braccia, con solo gambe o entrambe), non sembra influenzare la frequenza della pedalata, anche se gli autori hanno riportato una riduzione dell'economia della pedalata (15,5%) nel nuoto con le braccia o completo (Delextrat & Bernard, 2003b). Il calo dell'efficienza della pedalata durante la prestazione ciclistica dopo il nuoto può essere ricollegato alla massa muscolare coinvolta durante la nuotata con le sole braccia o completa, e di conseguenza al maggiore dispendio energetico. Infatti, sono stati riscontrati valori più elevati per frequenza cardiaca,  $\dot{V}O_2$ , equivalente ventilatorio e frequenza respiratoria, specialmente dopo il nuoto completo (con braccia e gambe) (Delextrat & Bernard, 2003b).

A seguito dei cambiamenti biomeccanici emersi, gli allenatori e gli atleti dovrebbero considerare l'importanza della frequenza e della lunghezza della bracciata durante il nuoto e durante l'allenamento della transizione nuoto-ciclismo. Inoltre, nuotare in posizione di scia e/o indossare una muta ha portato ad una migliore prestazione nel tempo di nuoto, con un'elevata lunghezza di bracciata e una forza di avanzamento ridotta, preservando così l'energia per il successivo segmento ciclistico. Allo stesso modo, una gestione della frequenza di gambata a nuoto potrebbe essere essenziale per il successivo segmento (Fig. 3.2).

**Tabella 3.1.** Cambiamenti fisiologici e biomeccanici durante la transizione nuoto-ciclismo

DISTANZA E STUDIO	CAMBIAMENTI FISIOLGICI				CAMBIAMENTI BIOMECCANICI				
	$\dot{V}O_2$ /VE/RF Durante ciclismo	La/FC Nuoto/ Ciclismo	Hct/Hb/ WBC Dopo nuoto	RPE / T° Dopo nuoto	PV Dopo nuoto	WE Durante ciclismo	PW Durante ciclismo	SF/RPM/SL	PT
<b>FD - LAURSEN &amp; RHODES, 2000</b>	+5% $\dot{V}O_2$ +6.7% VE	+2% FC					-4.7%		
<b>HD - ROTH- SCHILD &amp; CROCKER, 2019</b>	+4% $\dot{V}O_2$	+4% FC					-3.8% PW me- dia		
<b>HD - ROTH- SCHILD &amp; SHEARD, 2020</b>		FC Nessun cambiamento							
<b>OD - LONG &amp; BLAKE, 1990</b>		+21.2%LDH +25% Cre	+39% WBC +3.8% RBC		-9.6%		-6%		
<b>OD - DELEX- TRAT &amp; BRISS- WALTER, 2005</b>	+5% $\dot{V}O_2$ +15.7% VE +19.9% RF	+9.3% HR +32.2% La				-13%			
<b>OD - GONZÁ- LEZ-HARO &amp; JGONZÁLEZ- DE-SUSO, 2005</b>	Nessun cam- biamento	FC Nessun cambiamento					Nessun cambiamento		
<b>SD - KREIDER &amp; BONE, 1988</b>	+5.6% $\dot{V}O_2$ +5.3% VE			+0.8% T°		-17%			
<b>SD - MC NAUGHTON L.R., 1989</b>					-3.8% 4.3%		Nessun cambiamento		
<b>SD - DELEX- TRAT &amp; BER- NARD, 2003A</b>	+4.5% $\dot{V}O_2$ +14.4% VE +15.6% RF	+11% FC +47% La				-12.1%		+14% SR	
<b>SD - DELEX- TRAT &amp; TRI- COT, 2003</b>	+4.4% $\dot{V}O_2$ +6.6% VE +9.4% RF	+7% FC +29.3% La		Alto RPE		-4.8%		+5.6% RPM	
<b>SD - DELEX- TRAT &amp; BER- NARD, 2003B</b>	+5% $\dot{V}O_2$ +19% VE +24.8% RF	+7% FC +42.9% La				-15.5%			
<b>SD - DELEX- TRAT &amp; TRI- COT, 2005</b>	+5% $\dot{V}O_2$	+6.4% FC +16.7% La		Alto RPE		-5.4%		+5.8% RPM	-2.9% Pk -3.9% PT Media
<b>SD - PEELING &amp; BISHOP, 2005</b>	Nessun cam- biamento	+75% La		Alto RPE		-4.2%	-9.6%	+20.5% SF	
<b>SD - PEELING &amp; LANDERS, 2007</b>		+1.8% FC +1.2% La		+2.4%T°			Nessun cambiamento		
<b>SD - WU &amp; PEIFFERR, 2016</b>				Alto RPE			-6.5%		
<b>SD - BARRAGÁN &amp; GONZÁLEZ- RAVÉ, 2019</b>		+59% La					Nessun cambiamento	Nessun cam- biamento RPM	
<b>MTR - BENT- LEY &amp; LIBICZ, 2007</b>	Nessun cam- biamento	+3.5% FC ~+87% La					-11% PW Media	+18.4% SF	

*Note generali, abbreviazioni e definizioni:* C°: Celsius; Cr: creatinina; FD: Ironman®; WE: economia del gesto; Hb: Emoglobina, Hct: Ematocrito; HD: Half-Ironman®, FC: frequenza cardiaca; La: lattato; LDH: lattato deidrogenasi; MTR: Staffetta a squadre miste Distanza; OD: distanza olimpica; PT: potenza sul pedale; PV: volume plasma; PW: Potenza; GR: globuli rossi; RF: frequenza respiratoria; RPE: tasso di sforzo percepito; RPM: Rivoluzioni Per Minuto; SD: Distanza Sprint; SF: frequenza di bracciata di nuoto; SL: lunghezza di bracciata di nuoto; VE: equivalente ventilatorio;  $\dot{V}O_2$ : volume di ossigeno; WBC: globuli bianchi.

### 3.4. Interconnessione tra i fattori fisiologici e biomeccanici

Il possibile collegamento tra le risposte fisiologiche e biomeccaniche durante la transizione dal nuoto al ciclismo dispone di prove limitate.

Sono state valutate le relazioni tra  $\dot{V}O_2$  (cioè il consumo metabolico) e la cadenza del ciclismo, al fine di determinare il minor costo energetico a una frequenza di pedalata specifica (cioè, la cadenza energeticamente ottimale), dimostrando un valore di intervallo che varia da 73 a 86 RPM (Rivoluzioni Per Minuto) (Brisswalter & Hausswirth, 2008; Vercruyssen & Hausswirth, 2001). Tuttavia, la cadenza di pedalata ottimale dipende dal livello e dal tipo di atleta (i ciclisti hanno una pedalata più efficiente con RPM più elevati rispetto ai triatleti) (Vercruyssen & Brisswalter, 2010; MacIntosh & Neptune, 2000). Sebbene la seconda transizione (ciclismo-corsa) non faccia parte dell'attuale revisione e sia stata discussa altrove (Millet & Vleck, 2000; Millet & Bentley, 2004), vale la pena ricordare che una cadenza bassa durante il segmento del ciclismo potrebbe portare a una frequenza del passo inferiore durante il segmento di corsa successivo (Vercruyssen & Hausswirth, 2001; Vercruyssen & Brisswalter, 2010).

Inoltre, il costo energetico del nuoto nella distanza Olimpica (1500 metri) ha causato una diminuzione dell'efficienza della pedalata (13%) (Delextrat & Brisswalter, 2005). Allo stesso modo, un aumento della temperatura interna porta ad un decremento dell'efficienza della pedalata (17%) durante il segmento di ciclismo (Kreider & Boone, 1988).

Concentrandosi sui parametri biomeccanici, durante il nuoto la frequenza di bracciata e la maggiore intensità hanno indotto una maggiore concentrazione di lattato nel sangue, trasferendola anche nel segmento ciclistico (Delextrat & Bernard, 2003a; Delextrat & Tricot, 2003; Delextrat & Tricot, 2005; Peeling & Bishop, 2005; Bentley & Libicz, 2007).

In entrambi i segmenti (nuoto e ciclismo), l'aumento della concentrazione di lattato nel sangue potrebbe essere attribuito al reclutamento maggiore e diversificato delle fibre muscolari (Peeling & Bishop, 2005). Per soddisfare l'elevata richiesta di ATP nelle fibre muscolari a contrazione rapida, il metabolismo glicolitico, che è legato al reclutamento di fibre muscolari di



tipo II (Coyle & González-Alonso, 2001), aumenta, così come per la produzione di lattato nel sangue, dovuto ad un maggiore coinvolgimento del metabolismo anaerobico (Brancaccio & Lippi, 2010).

Quando vengono valutati i parametri fisiologici e biomeccanici bisogna considerare anche l'importanza della lunghezza della piscina (25 o 50 metri), al fine di evitare interpretazione errate tra gli studi. Infatti, nuotare in una piscina di 25 metri ha comportato virate extra e ha indotto una maggiore lunghezza della bracciata con una concentrazione di lattato nel sangue e una frequenza cardiaca inferiore rispetto al nuoto in una piscina di 50 metri, generando una prestazione complessiva più efficiente (Delextrat & Brisswalter, 2005).

La limitata ricerca disponibile sulla valutazione combinata dei parametri fisiologici e biomeccanici durante la transizione nuoto-ciclismo non consente di trarre conclusioni definitive sulle possibili associazioni tra parametri fisiologici e biomeccanici. Pertanto, si raccomanda di progettare un programma di intervento volto ad esplorare l'impatto di diverse modalità di interpretazione della transizione nuoto-ciclismo sui parametri sia fisiologici che biomeccanici.

### 3.5. Applicazioni pratiche

Le prove disponibili sui parametri fisiologici e biomeccanici potrebbero essere tradotte in alcune implicazioni pratiche per allenatori e atleti da applicare durante l'allenamento e la competizione. In primo luogo, è importante sottolineare la necessità di proporre test periodici sulla transizione nuoto-ciclismo per la valutazione dei parametri fisiologici (es. frequenza cardiaca, lattato nel sangue,  $\dot{V}O_2$ , equivalente ventilatorio e frequenza respiratoria) e biomeccanici (es. economia del gesto, frequenza di bracciata, lunghezza di bracciata, potenza ciclistica e cadenza ciclistica) e per la determinazione di un *interlink* ottimale tra di loro. Di conseguenza, è possibile determinare l'intensità e la strategia da adottare durante l'allenamento e la competizione. Alla luce delle attuali conoscenze, potrebbero derivare maggiori implicazioni per il triathlon su breve distanza (cioè, distanza Sprint e Mixed Team Relay).

Considerando il segmento del nuoto, l'intensità dell'allenamento dovrebbe essere mantenuta intorno all'80-90% (di un precedente test di nuoto massimale), mentre una simulazione del nuoto di gara dovrebbe considerare la selezione di una strategia di stimolazione positiva dal 92 al 73% del massimale. Inoltre, per la staffetta a squadre miste (MTR), il segmento dovrebbe essere allenato con la massima intensità durante i primi 200 m, ed è consigliato, quando possibile, l'uso della posizione di scia e della muta grazie alla minore spesa energetica, in vista del successivo segmento.

Un approccio pratico per il monitoraggio del carico di allenamento interno e la valutazione dell'intensità dell'allenamento potrebbe essere l'utilizzo della percezione dello sforzo (scala RPE), eventualmente associata alla misurazione del lattato nel sangue. Per quanto riguarda il segmento di ciclismo, l'allenamento potrebbe considerare l'adozione di una cadenza ciclistica diversa in base alla programmazione di esso.

Considerando solo i segmenti di nuoto e ciclismo come parte del programma di allenamento, gli atleti potrebbero adottare una cadenza inferiore rispetto alla tradizionale, potenziandone la strategia cercando di esprimere una potenza maggiore nei primi istanti del segmento

ciclistico, imitando così lo sforzo per rimanere nel primo gruppo. A questo proposito, nel caso della combinazione dei tre segmenti (nuoto-ciclismo-corsa), una cadenza di pedalata costante e più elevata sarebbe vantaggiosa per il segmento di corsa successivo.

Inoltre, è ben documentata l'importanza dell'allenamento della forza per gli sport di resistenza come il triathlon. A questo proposito, una recente meta-analisi ha dimostrato il maggiore effetto benefico dell'allenamento aspecifico volto a migliorare la forza massima nei triatleti rispetto ad altri atleti, con un miglioramento nei test di prestazione di resistenza (Melani & Gobbi, 2019; Ambrosini & Presta, 2021).

### **3.6. Direzioni future**

La transizione da nuoto a ciclismo non è completamente spiegata, in particolare per il potenziale effetto del segmento di nuoto su quello di ciclismo. Pertanto, studi futuri potrebbero chiarire meglio se diverse modalità di nuoto, con una partecipazione attiva delle gambe, potrebbe influenzare positivamente le seguenti prestazioni ciclistiche.

Considerando il fenomeno del potenziamento post-attivazione, si potrebbe ipotizzare che il nuoto con un'elevata frequenza di gambata possa attivare maggiormente le stesse nel segmento successivo di ciclismo con un'espressione di potenza più efficiente. In particolare, si potrebbe proporre un programma di intervento di allenamento per testare l'ipotesi degli adattamenti all'allenamento della frequenza di gambata di nuoto e degli eventuali effetti sulle prestazioni ciclistiche.

Tuttavia, per una migliore comprensione dei fattori associati alle prestazioni del triathlon si raccomanda di adottare un approccio sperimentale consistente in una misurazione combinata dei parametri fisiologici e biomeccanici.

### 3.7. Conclusione

La complessità delle prestazioni del triathlon, costituita da tre diverse discipline, e le diverse distanze di gara non consentono di generalizzare i risultati di ogni studio sul passaggio da nuoto a ciclismo, ma ogni evidenza è limitata alla specifica distanza di gara. L'influenza dell'interpretazione del nuoto sul successivo segmento ciclistico è più evidente per le gare di breve distanza (Distanza Olimpica e Sprint e Mixed Team Relay) rispetto alle prove su lunga distanza (Half-Ironman® e Ironman®).

Diversi cambiamenti nelle variabili fisiologiche e biomeccaniche sono emersi durante il passaggio dal nuoto al ciclismo, considerando anche il livello degli atleti, con modifiche maggiori per quelli di livello inferiore. Il maggiore aumento delle concentrazioni di lattato nel sangue quando l'intensità del nuoto è mantenuta alta è correlato ad una minore potenza di pedalata erogata e ad un maggiore consumo di ossigeno. L'aumento della frequenza della gambata di nuoto durante gli ultimi metri del segmento sembra essere necessaria per rimanere all'interno del primo gruppo ciclistico, determinando un effetto simile sulle prestazioni ciclistiche in termini di cadenza ciclistica elevata, che, a sua volta, può essere vantaggiosa per il segmento successivo. Inoltre, l'aumento della frequenza delle gambate a nuoto nell'ultima parte del segmento ha lo scopo di aumentare il volume del flusso sanguigno alle gambe.

Indossare una muta o nuotare in posizione di scia può preservare energia per il segmento successivo. L'aumento dell'efficienza del nuoto si ottiene con una frequenza di bracciata di nuoto inferiore e una lunghezza maggiore, mentre un miglioramento dell'economia della pedalata si ottiene con una potenza sul pedale più elevata ad ogni gesto. Inoltre, sembra che mantenere un'intensità di nuoto intorno all'80-90% e l'uso di una strategia di stimolazione positiva (cioè da forte a piano) porti a prestazioni migliori.

## BIBLIOGRAFIA

1. Ambrosini, L., Presta, V., Goldoni, M., Galli, D., Mirandola, P., Vitale, M., Gobbi, G. (2021). Are we able to match non sport-specific strength training with endurance sports? A systematic review and meta-analysis to plan the best training programs for endurance athletes. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11 (16). <https://doi.org/10.3390/app11167280>
2. Ament, W., & Verkerke, G. J. (2009). Exercise and fatigue. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 39(5), 389–422. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939050-00005>
3. Barragán, R., González-Ravé, J., González-Mohino, F., Yustres, I., & Juárez Santos-García, D. (2020). Efectos de la intensidad de nado en el rendimiento del triatlón. *Revista Internacional De Medicina Y Ciencias De La Actividad Física Y Del Deporte*, 20(80), 529–538. <https://doi.org/10.15366/rimcafd2020.80.004>
4. Bentley, D. J., Libicz, S., Jougla, A., Coste, O., Manetta, J., Chamari, K., & Millet, G. P. (2007). The effects of exercise intensity or drafting during swimming on subsequent cycling performance in triathletes. *Journal of science and medicine in sport*, 10(4), 234–243. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.05.004>
5. Bohnert, B., Ward, S. A., & Whipp, B. J. (1998). Effects of prior arm exercise on pulmonary gas exchange kinetics during high-intensity leg exercise in humans. *Experimental physiology*, 83(4), 557–570. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.1998.sp004138>
6. Boullosa, D., Del Rosso, S., Behm, D. G., & Foster, C. (2018). Post-activation potentiation (PAP) in endurance sports: A review. *European journal of sport science*, 18(5), 595–610. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1438519>
7. Brancaccio, P., Lippi, G., & Maffulli, N. (2010). Biochemical markers of muscular damage. *Clinical chemistry and laboratory medicine*, 48(6), 757–767. <https://doi.org/10.1515/CCLM.2010.179>
8. Brisswalter, J., & Hausswirth, C. (2008). Consequences of drafting on human locomotion: benefits on sports performance. *International journal of sports physiology and performance*, 3(1), 3–15. <https://doi.org/10.1123/ijspp.3.1.3>
9. Cejuela Anta, R., Pérez Turpin, J., Villa Vicente, J., Cortell Tormo, J., & Rodríguez Marroyo, J. (2008). An analysis of performance factors in sprint distance triathlon. *Journal of Human Sport and Exercise*, 2(2), 1–25. <https://doi.org/10.4100/jhse.2007.22.01>
10. Cejuela, R., Cala, A., Pérez-Turpin, J. A., Villa, J. G., Cortell, J. M., & Chinchilla, J. J. (2013). Temporal activity in particular segments and transitions in the olympic triathlon. *Journal of human kinetics*, 36, 87–95. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0009>
11. Chatard, J. C., Senegas, X., Selles, M., Dreanot, P., & Geysant, A. (1995). Wet suit effect: a comparison between competitive swimmers and triathletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(4), 580–586.
12. Chatard, J. C., Chollet, D., & Millet, G. (1998). Performance and drag during drafting swimming in highly trained triathletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(8), 1276–1280. <https://doi.org/10.1097/00005768-199808000-00015>
13. Chollet, D., Hue, O., Auclair, F., Millet, G., & Chatard, J. C. (2000). The effects of drafting on stroking variations during swimming in elite male triathletes. *European journal of applied physiology*, 82(5-6), 413–417. <https://doi.org/10.1007/s004210000233>
14. Coyle, E. F., & González-Alonso, J. (2001). Cardiovascular drift during prolonged exercise: new perspectives. *Exercise and sport sciences reviews*, 29(2), 88–92. <https://doi.org/10.1097/00003677-200104000-00009>
15. Delextrat, A., Tricot, V., Bernard, T., Ver-cruyssen, F., Hausswirth, C., & Brisswalter, J. (2003). Drafting during swimming improves efficiency during subsequent cycling. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(9), 1612–1619. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000084422.49491.2C>
16. Delextrat, A., Bernard, T., Hausswirth, C., Ver-cruyssen, F., & Brisswalter, J. (2003a). Port de combinaison et dépense énergétique

- lors d'un enchaînement natation-cyclisme [Effects of swimming with a wet suit on energy expenditure during subsequent cycling]. *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquée*, 28(3), 356–369. <https://doi.org/10.1139/h03-026>
17. Delextrat A, Bernard T, Vercruyssen F, Hausswirth C, Brisswalter J. (2003b). Influence of swimming characteristics on performance during a swim-to-cycle transition. *Science & Sports*, 18:188-95. [https://doi.org/10.1016/S0765-1597\(03\)00147-3](https://doi.org/10.1016/S0765-1597(03)00147-3)
  18. Delextrat, A., Brisswalter, J., Hausswirth, C., Bernard, T., & Vallier, J. M. (2005). Does prior 1500-m swimming affect cycling energy expenditure in well-trained triathletes? *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquée*, 30(4), 392–403. <https://doi.org/10.1139/h05-129>
  19. Delextrat, A., Tricot, V., Bernard, T., Vercruyssen, F., Hausswirth, C., & Brisswalter, J. (2005). Modification of cycling biomechanics during a swim-to-cycle trial. *Journal of applied biomechanics*, 21(3), 297–308. <https://doi.org/10.1123/jab.21.3.297>
  20. Figueiredo, P., Marques, E. A., & Lepers, R. (2016). Changes in Contributions of Swimming, Cycling, and Running Performances on Overall Triathlon Performance Over a 26-Year Period. *Journal of strength and conditioning research*, 30(9), 2406–2415. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000001335>
  21. Gejl, K. D., Ørtenblad, N., Andersson, E., Plomgaard, P., Holmberg, H. C., & Nielsen, J. (2017). Local depletion of glycogen with supramaximal exercise in human skeletal muscle fibres. *The Journal of physiology*, 595(9), 2809–2821. <https://doi.org/10.1113/JP273109>
  22. Kantanista, A., Kusy, K., Zarębska, E., Włodarczyk, M., Ciekot-Sołtysiak, M. & Zieliński, J. (2016). Blood ammonia and lactate responses to incremental exercise in highly-trained male sprinters and triathletes. *Biomedical Human Kinetics*, 8(1) 32-38. <https://doi.org/10.1515/bhk-2016-0005>
  23. Kerr, C. G., Trappe, T. A., Starling, R. D., & Trappe, S. W. (1998). Hyperthermia during Olympic triathlon: influence of body heat storage during the swimming stage. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(1), 99–104. <https://doi.org/10.1097/00005768-199801000-00014>
  24. Kreider, R. B., Boone, T., Thompson, W. R., Burkes, S., & Cortes, C. W. (1988). Cardiovascular and thermal responses of triathlon performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 20(4), 385–390. <https://doi.org/10.1249/00005768-198808000-00010>
  25. Landers, G. J., Blanksby, B. A., Ackland, T. R., & Monson, R. (2008). Swim Positioning and its Influence on Triathlon Outcome. *International journal of exercise science*, 1(3), 96–105.
  26. Laursen, P. B., Rhodes, E. C., & Langill, R. H. (2000). The effects of 3000-m swimming on subsequent 3-h cycling performance: implications for ultra-endurance triathletes. *European journal of applied physiology*, 83(1), 28–33. <https://doi.org/10.1007/s004210000229>
  27. Long, D., Blake, M., McNaughton, L., & Angle, B. (1990). Hematological and biochemical changes during a short triathlon competition in novice triathletes. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 61(1-2), 93–99. <https://doi.org/10.1007/BF00236700>
  28. MacIntosh, B. R., Neptune, R. R., & Horton, J. F. (2000). Cadence, power, and muscle activation in cycle ergometry. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(7), 1281–1287. <https://doi.org/10.1097/00005768-200007000-00015>
  29. McNaughton L. R. (1989). Plasma volume responses associated with a sprint triathlon in novice triathletes. *International journal of sports medicine*, 10(3), 161–164.
  30. Melani, A., Gobbi, G., Galli, D., Carubbi, C., Masselli, E., Neri, L. M., Giovinco, G., Cicchella, A., Galuppo, L., Presta, V., Vaccarezza, M., Vitale, M., & Mirandola, P. (2019). Muscle Activation in Traditional and Experimental Barbell Bench Press Exercise: A Potential New Tool for Fitness Maintenance. *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(10), 224. <https://doi.org/10.3390/sports7100224>
  31. Migliorini S. Triathlon medicine. Springer; 2020. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-22357-1>

32. Millet, G. P., & Vleck, V. E. (2000). Physiological and biomechanical adaptations to the cycle to run transition in Olympic triathlon: review and practical recommendations for training. *British journal of sports medicine*, 34(5), 384–390.  
<https://doi.org/10.1136/bjism.34.5.384>
33. Millet, G. P., & Bentley, D. J. (2004). The physiological responses to running after cycling in elite junior and senior triathletes. *International journal of sports medicine*, 25(3), 191–197. <https://doi.org/10.1055/s-2003-45259>
34. Noakes T. D. (2011). Time to move beyond a brainless exercise physiology: the evidence for complex regulation of human exercise performance. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 36(1), 23–35.  
<https://doi.org/10.1139/H10-082>
35. Ofoghi, B., Zeleznikow, J., Macmahon, C., Rehula, J., & Dwyer, D. B. (2016). Performance analysis and prediction in triathlon. *Journal of sports sciences*, 34(7), 607–612.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1065341>
36. Ortega Diez J. Análisis de las transiciones en el triatlón: La t. 1. PubCE Stand 2013.  
<https://g-se.com/analisis-de-las-transiciones-en-el-triatlon-la-t-1-1606-sa-f57cfb2723493e>
37. O'Toole, M. L., & Douglas, P. S. (1995). Applied physiology of triathlon. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 19(4), 251–267.  
<https://doi.org/10.2165/00007256-199519040-00003>
38. Peeling, P. D., Bishop, D. J., & Landers, G. J. (2005). Effect of swimming intensity on subsequent cycling and overall triathlon performance. *British journal of sports medicine*, 39(12), 960–964.  
<https://doi.org/10.1136/bjism.2005.020370>
39. Peeling, P., & Landers, G. (2007). The effect of a one-piece competition speedsuit on swimming performance and thermoregulation during a swim-cycle trial in triathletes. *Journal of science and medicine in sport*, 10(5), 327–333.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.06.004>
40. Presta V, Ambrosini L, Carubbi C, Masselli E, Mirandola P, Arcari ML, Gobbi G, Vitale M. (2021) Different Waters for Different Performances: Can We Imagine Sport-Related Natural Mineral Spring Waters? *Water*. 13(2):166. <https://doi.org/10.3390/w13020166>
41. Quagliarotti, C., Gaiola, D., Bianchini, L., Vleck, V., & Piacentini, M. F. (2022). How to Form a Successful Team for the Novel Olympic Triathlon Discipline: The Mixed-Team-Relay. *Journal of functional morphology and kinesiology*, 7(2), 46.  
<https://doi.org/10.3390/jfkmk7020046>
42. Rothschild, J., & Crocker, G. H. (2019). Effects of a 2-km Swim on Markers of Cycling Performance in Elite Age-Group Triathletes. *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(4), 82.  
<https://doi.org/10.3390/sports7040082>
43. Rothschild, J., Sheard, A. C., & Crocker, G. H. (2022). Influence of a 2-km Swim on the Cycling Power-Duration Relationship in Triathletes. *Journal of strength and conditioning research*, 36(5), 1431–1436.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003623>
44. Scorcine C, Pereira R, Madureira F, Colantonio E. (2017). Contribution of swimming, cycling and running in the final performance in different distances of triathlon races. *MOJ Sports Medicine*, 1(5):125-128.  
<https://doi.org/10.15406/mojsm.2017.01.00027>
45. Sharma A. P. & Périard J. D. (2020). Physiological Requirements of the different Distances of Triathlon. S. Migliorini. *Triathlon Medicine* (pag 5-18). ©Springer Nature, Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22357-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22357-1_2)
46. Simpson, R. J., Kunz, H., Agha, N., & Graff, R. (2015). Exercise and the Regulation of Immune Functions. *Progress in molecular biology and translational science*, 135, 355–380.  
<https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2015.08.001>
47. Sousa, C. V., Aguiar, S., Olher, R. R., Cunha, R., Nikolaidis, P. T., Villiger, E., Rosemann, T., & Knechtle, B. (2021). What Is the Best Discipline to Predict Overall Triathlon Performance? An Analysis of Sprint, Olympic, Ironman® 70.3, and Ironman® 140.6. *Frontiers in physiology*, 12, 654552.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2021.654552>
48. Toussaint, H. M., Bruinink, L., Coster, R., De Looze, M., Van Rossem, B., Van Veenen, R., & De Groot, G. (1989). Effect of a triathlon wet suit on drag during swimming. *Medicine*

- and science in sports and exercise, 21(3), 325–328.
49. Trangmar, S. J., & González-Alonso, J. (2019). Heat, Hydration and the Human Brain, Heart and Skeletal Muscles. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(Suppl 1), 69–85. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-1033-y>
  50. Tseng, K. W., Chen, J. R., Chow, J. J., Tseng, W. C., Condello, G., Tai, H. L., & Fu, S. K. (2021). Post-activation Performance Enhancement after a Bout of Accentuated Eccentric Loading in Collegiate Male Volleyball Players. *International journal of environmental research and public health*, 18(24), 13110. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413110>
  51. Vercruyssen, F., Hausswirth, C., Smith, D., & Brisswalter, J. (2001). Effect of exercise duration on optimal pedaling rate choice in triathletes. *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquee*, 26(1), 44–54.
  52. Vercruyssen, F., & Brisswalter, J. (2010). Which factors determine the freely chosen cadence during submaximal cycling? *Journal of science and medicine in sport*, 13(2), 225–231. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.12.631>
  53. Vleck, V. E., Bürgi, A., & Bentley, D. J. (2006). The consequences of swim, cycle, and run performance on overall result in elite olympic distance triathlon. *International journal of sports medicine*, 27(1), 43–48. <https://doi.org/10.1055/s-2005-837502>
  54. Vleck, V. E., Bentley, D. J., Millet, G. P., & Bürgi, A. (2008). Pacing during an elite Olympic distance triathlon: comparison between male and female competitors. *Journal of science and medicine in sport*, 11(4), 424–432. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.01.006>
  55. Wan, J. J., Qin, Z., Wang, P. Y., Sun, Y., & Liu, X. (2017). Muscle fatigue: general understanding and treatment. *Experimental & molecular medicine*, 49(10), e384. <https://doi.org/10.1038/emm.2017.194>
  56. Wingo, J. E., Ganio, M. S., & Cureton, K. J. (2012). Cardiovascular drift during heat stress: implications for exercise prescription. *Exercise and sport sciences reviews*, 40(2), 88–94. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e31824c43af>
  57. World Triathlon Competition Rules. 2022, 196. Available online: [https://www.triathlon.org/uploads/docs/World\\_Triathlon\\_Competition\\_Rules\\_2022\\_20220128.pdf](https://www.triathlon.org/uploads/docs/World_Triathlon_Competition_Rules_2022_20220128.pdf)
  58. Wu, S. S., Peiffer, J. J., Peeling, P., Brisswalter, J., Lau, W. Y., Nosaka, K., & Abbiss, C. R. (2016). Improvement of Sprint Triathlon Performance in Trained Athletes With Positive Swim Pacing. *International journal of sports physiology and performance*, 11(8), 1024–1028. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0580>



## **4. L'UTILIZZO DELLA GAMBATA A NUOTO INFLUISCE SULLE SUCCESSIVE PRESTAZIONI CICLISTICHE NELLA SIMULAZIONE NUOTO-CICLISMO DEL TRIATHLON**

### **4.1. Introduzione**

Nel triathlon di breve distanza (Mixed Team Relay, Sprint, Olimpico) la prestazione espressa durante la transizione nuoto-ciclismo può influenzare il risultato complessivo (Olaya & Fernández-Sáez, 2021; Ambrosini & Presta, 2022). Infatti, una prestazione di nuoto più lenta porterà inevitabilmente a dover sviluppare una maggiore potenza nei primi metri del segmento di ciclismo, influenzando così la successiva corsa, e quindi la prestazione totale (Bentley e Vleck, 2004; Gadelha & Sousa, 2020). Inoltre, si è visto che pedalare nel primo gruppo di atleti porta a un minore consumo di ossigeno, ad una frequenza cardiaca più bassa e una potenza erogata più alta, risparmiando così energie per le prestazioni di corsa finali (Ofoghi & Zeleznikow, 2016; Sousa & Aguiar, 2021). Nello specifico, affrontare gli ultimi metri del segmento di nuoto ad un'intensità maggiore ed esprimere una pedalata più efficiente durante i primi metri del segmento ciclistico, rappresenta una strategia efficace per il risultato finale della competizione (Ofoghi & Zeleznikow, 2016).

La tecnica del nuoto prevede che gli arti superiori e inferiori si muovano in modo coordinato per produrre un'azione propulsiva, anche se gli arti superiori del corpo forniscono il contributo maggiore per lo spostamento del corpo (Gatta & Cortesi, 2012), studi recenti riconoscono anche al movimento degli arti inferiori un effetto positivo sulle prestazioni natatorie grazie ad un'azione più efficace delle braccia e creando un'inclinazione minore del tronco, tale da ridurre la resistenza passiva dell'acqua e un miglior scivolamento del corpo in acqua (Gourgoulis & Boli, 2014; Silveira & de Souza, 2017). Finora è emerso che i triatleti adottano maggiormente 2 gambate ogni ciclo di bracciata, mentre solo una piccola parte di loro adotta la gambata a sei battute (Millet & Chollet, 2002), ipotizzando un dispendio energetico minore. Di contro,

un impiego insufficiente delle gambe durante il nuoto prima del segmento ciclistico potrebbe essere controproducente.

Studi passati hanno dimostrato che un precedente esercizio ad alta intensità, prima di un successivo esercizio, porta al cambiamento di numerosi parametri fisiologici, come il miglioramento della perfusione muscolare, l'aumento dell'acidemia residua, della risposta del  $\dot{V}O_2$  e dell'attivazione delle fibre muscolari (Gerbino & Ward, 1996; Bohnert & Ward, 1998), e biomeccanici, come l'aumento della potenza di picco e del lavoro totale svolto nei primi 60 secondi della successiva prestazione ciclistica (Burnley & Davidson, 2011). Dal punto di vista fisiologico, i principali cambiamenti nella cinetica del  $\dot{V}O_2$  sono dovuti alla regione muscolare coinvolta (Bertuzzi & Silva-Cavalcante, 2021), quindi è ipotizzabile che l'esercizio precedente svolto con la maggiore partecipazione delle gambe possa ridurre l'ampiezza della componente lenta del  $\dot{V}O_2$  e aumentare la tollerabilità all'esercizio successivo (Jones & Grassi, 2011; Koppo & Jones, 2003). Inoltre, l'accumulo di metaboliti ( $H^+$ , lattato,  $K^+$ ) che avviene in seguito a un esercizio ad alta intensità con le braccia, come nel segmento di nuoto, anche nel muscolo che non lavora, potrebbe causare affaticamento e/o influenzare i modelli di reclutamento delle unità motorie durante l'esercizio successivo svolto con le gambe, come nel segmento ciclistico (Johnson & Mills, 2014).

Molti studi sul triathlon si sono principalmente focalizzati sugli effetti della cadenza di pedalata del ciclismo sulle prestazioni della corsa (Bentley e Vleck, 2004; Landers & Blanksby, 2011), mentre la comprensione dell'impatto che la strategia di gambata ha sulla prestazione natatoria e successivamente su quella ciclistica rimane ancora inesplorata. Quindi lo scopo primario di questo studio è stato quello di valutare gli effetti della strategia di gambata sui parametri fisiologici (consumo di ossigeno, frequenza cardiaca, spesa energetica, e lattato) e biomeccanici (frequenza della bracciata e della gambata, lunghezza della bracciata e della gambata, indice di efficienza della bracciata e della gambata, cadenza della pedalata, e potenza espressa durante la pedalata) attraverso un programma di allenamento specifico di 8 settimane in triatleti

di alto livello (élite). Inoltre, un obiettivo secondario è stato quello di verificare l'esistenza di associazione tra la prestazione di nuoto e quella di ciclismo nelle variabili fisiologiche e biomeccaniche investigate.

Quindi è ipotizzabile che un programma di intervento specifico per il coinvolgimento delle gambe a nuoto influisca positivamente sul seguente segmento ciclistico, grazie ad una maggiore utilizzo e attivazione del compartimento inferiore che porta ad una migliore perfusione muscolare e una riduzione nel consumo di ossigeno durante il segmento ciclistico seguente, e conseguentemente ad una migliore prestazione complessiva.

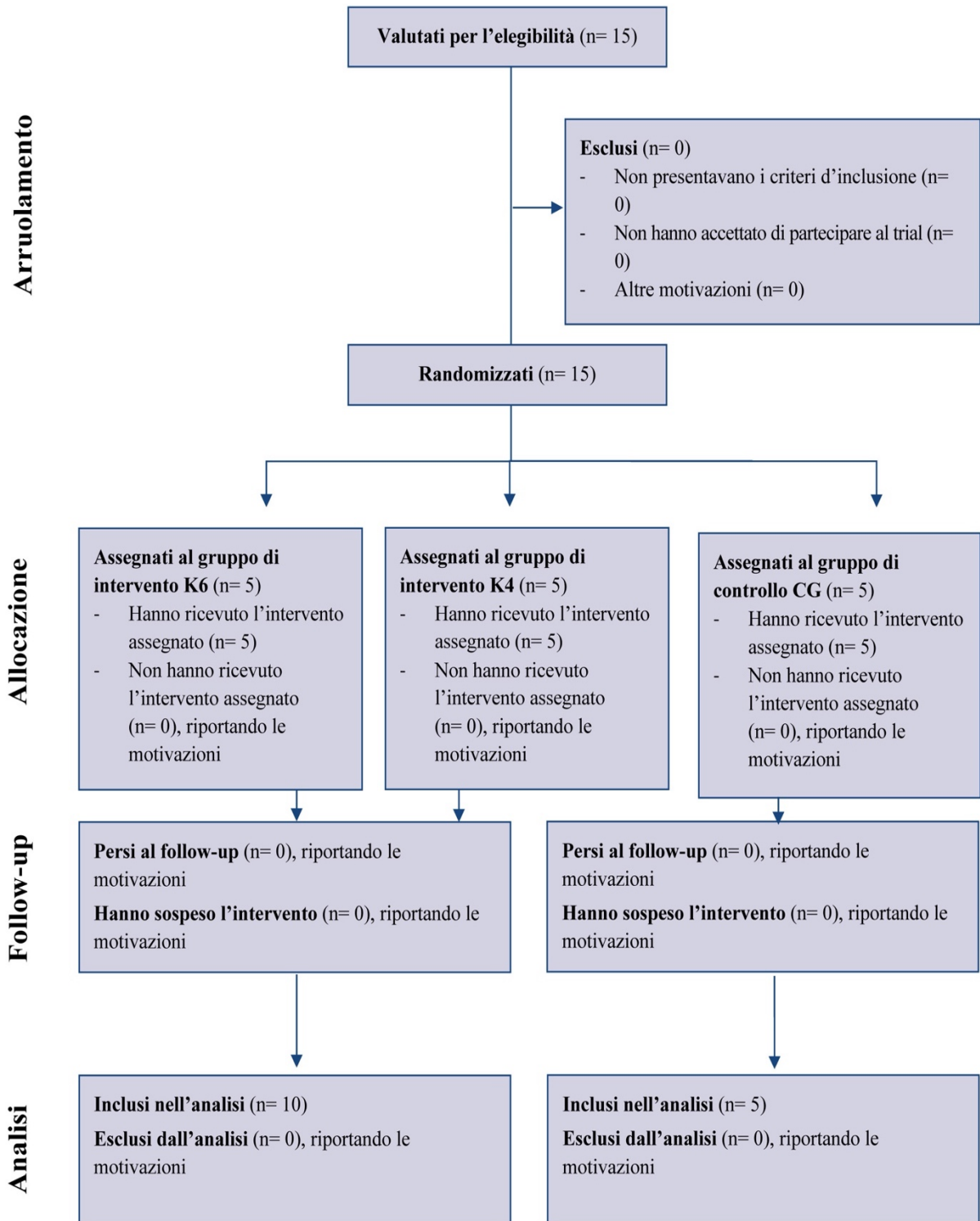
## 4.2. Materiali e metodi

### 4.2.1. Disegno dello studio

Lo studio controllato randomizzato in parallelo è stato condotto seguendo le raccomandazioni “Consolidated Standards of Reporting Trials (CONSORT) 2010” (Schulz & Altman, 2010; Moher & Hopewell, 2010; Cheng & Kessler, 2016; Juszczak & Altman, 2019) (Figura 4.1), considerando due gruppi sperimentali (K6 e K4) e un gruppo di controllo (CG). Un programma di allenamento specifico di 8 settimane è stato somministrato ai due gruppi sperimentali, ai quali è stato richiesto di adottare 6 gambate per ogni bracciata (K6) e 4 gambate per ogni bracciata (K4), mentre il CG ha svolto il programma di allenamento con l’abituale frequenza di gambata. Il programma di intervento è stato caratterizzato da un allenamento piramidale a blocchi, con un aumento progressivo del volume e successivamente dell’intensità (Hermosilla & González-Rave, 2021; Pla & Le Meur, 2019; Stöggl & Sperlich, 2019)

Prima e dopo il programma di allenamento, i partecipanti sono stati valutati attraverso una simulazione nuoto-ciclismo su distanza Mixed-Team Relay, composta da un segmento di nuoto di 400 metri seguito da un segmento di ciclismo di 10 minuti, con la concomitante misurazione dei parametri fisiologici, biomeccanici e prestazionali.

Lo studio è stato approvato dal Comitato Etico Area Vasta Emilia Nord dell’Università di Parma (Numero di Protocollo: 1384/2020/SPER/UNIPR) e tutte le procedure sperimentali sono state condotte secondo la Dichiarazione di Helsinki (World Medical Association, 2013).



**Figura 4.1.** Diagramma di flusso CONSORT 2010. Processo di selezione e randomizzazione utilizzati nella Ricerca Sperimentale (Schulz & Altman, 2010).

#### 4.2.2. Partecipanti

Quindici triatleti (13 maschi e 2 femmine) sono stati reclutati per partecipare allo studio (Tab. 4.1). Tutti i partecipanti erano specialisti di triathlon sprint/olimpico o di mezzofondo con un minimo di 5 anni di esperienza agonistica a livello nazionale e svolgevano un regolare programma di allenamento da 7 a 11 sessioni a settimana con una media di  $12,5 \pm 1$  ore settimanali totali di allenamento. Al momento del reclutamento, nessuno di loro presentava lesioni muscolari e articolari avvenute negli ultimi sei mesi e stava assumendo farmaci o integratori alimentari che potevano interferire con le procedure sperimentali.

Tutti i partecipanti hanno soddisfatto i criteri per la partecipazione alle competizioni nazionali con la certificazione medica attestante l'assenza di malattie cardiovascolari, polmonari, metaboliche, ossee o articolari. I partecipanti non erano a conoscenza degli obiettivi dello studio. Hanno ricevuto istruzioni riguardanti il programma di allenamento, su qualsiasi rischio noto e informati che erano liberi di ritirarsi dalla ricerca in qualsiasi momento. Pertanto, hanno dato il loro consenso informato scritto. Considerata la loro eleggibilità a partecipare allo studio, i partecipanti sono stati casualmente allocati in uno dei tre gruppi, ossia K6, K4, e CG.

**Tabella 4.1.** Caratteristiche dei partecipanti a livello di base, considerando i tre gruppi (medie  $\pm$  dev st).

CARATTERISTICHE	K6 (N = 4 M, 1 F)	K4 (N = 4 M, 1 F)	CG (N = 5 M)
ETÀ (anni)	23.2 $\pm$ 3.1	27.4 $\pm$ 5.1	29.6 $\pm$ 3.5
ALTEZZA (m)	1.7 $\pm$ 0	1.7 $\pm$ 0.1	1.8 $\pm$ 0.1
PESO (Kg)	62.3 $\pm$ 6.0	70.0 $\pm$ 8.3	73.4 $\pm$ 8.4
BMI (Kg/m <sup>2</sup> )	20.8 $\pm$ 0.9	23.0 $\pm$ 1.5	22.4 $\pm$ 1.2

CG = Gruppo di controllo; K6 = Gruppo con 6 battute di gambe; K4 = Gruppo con 4 battute di gambe; M = Maschio; F = Femmina.

### **4.2.3. Programma di intervento**

Il programma di allenamento di nuoto è stato eseguito durante il periodo agonistico di allenamento dei triatleti, con una durata di otto settimane, una frequenza di due volte a settimana, con un volume da 800 a 1200 metri per ogni sessione, mantenendo lo stesso programma di allenamento per le attività di ciclismo e corsa. Una durata minima di 8 settimane è considerata necessaria per generare gli adattamenti ricercati e il miglioramento nelle prestazioni (Cunanan & DeWeese, 2018).

Durante il programma di intervento i partecipanti non sono stati coinvolti in alcuna competizione ufficiale. I tre gruppi hanno eseguito un programma di allenamento equivalente nel volume, mentre differivano per il numero di gambate utilizzate ad ogni bracciata di nuoto, mentre il volume e l'intensità del protocollo erano progressivamente progettati per aumentare il carico di lavoro dell'allenamento. Una descrizione dettagliata del programma di intervento è riportata nella tabella 4.2.

**Tabella 4.2.** Programma di intervento di 8 settimane.

8 SETTIMANE X 16 SESSIONI DI INTERVENTO (2 SESSIONI A SETTIMANA)								
<b>RISCALDAMENTO STANDARDIZZATO A STILE LIBERO</b>	200m 4 x 50 m sub-massimali - recupero 15'' 8 x 25 m rec 10'' con solo Battuta di gambe (N° di gambate come da gruppo assegnato)							
<b>N° DI GAMBATE COME DA GRUPPO ASSEGNATO (CG/K6/K4) (STILE LIBERO)</b>	<b>1^ Sett.</b>	<b>2^ Sett.</b>	<b>3^ Sett.</b>	<b>4^ Sett.</b>	<b>5^ Sett.</b>	<b>6^ Sett.</b>	<b>7^ Sett.</b>	<b>8^ Sett.</b>
<b>1^ SESSIONE DI INTERVENTO</b>	2 x 4 x 25 m rec 10'' e 30'' tra le ripetute	8 x 25 m rec 5''	4 x 50 m rec 10''	6 x 50 m rec 5''	4 x 100 m rec 10''	4 x 100 m rec 5''	2 x 4 x 100 m rec 5'' e 15'' tra le ripetute	3 x 200 m rec 5''
<b>2^ SESSIONE DI INTERVENTO</b>	2 x 6 x 25 m rec 10'' e 30'' tra le ripetute	10 x 25 m rec 5''	6 x 50 m rec 10''	2 x 100 m rec 10''	2 x 2 x 100 m rec 5'' e 15'' tra le ripetute	2 x 200 m rec 10''	1 x 300 m	1 x 400 m

CG = Gruppo di controllo; K6 = Gruppo con 6 battute di gambe; K4 = Gruppo con 4 battute di gambe; m = metri; rec = recupero; '' = secondi.



#### 4.2.4. Simulazione della gara

Il profilo fisiologico e biomeccanico è stato valutato facendo svolgere una simulazione di nuoto-ciclismo su distanza Mixed Team Relay prima (Pre) e dopo (Post) il programma di intervento, costituita da un segmento di nuoto di 400 metri e seguita da un segmento di ciclismo di 10 minuti.

Prima della sessione di valutazione, ai partecipanti è stato chiesto di astenersi da qualsiasi integrazione nutrizionale, di evitare l'esercizio fisico pesante i due giorni precedenti la sessione di valutazione e di astenersi dal consumo di alcol e caffeina durante le 12 ore precedenti la sessione. Le sessioni di valutazione Pre- e Post-Intervento sono state eseguite alla stessa ora del giorno ( $9:00 \pm 30$  min) e con condizioni ambientali simili (temperatura:  $24 \pm 3$  °C, umidità:  $44 \pm 10\%$ ).

Il tratto di nuoto è stato eseguito su una piscina esterna di 25 metri (profondità: 1,90 m, temperatura dell'acqua:  $25 \pm 2$  °C), nella prima corsia e senza altri nuotatori nelle altre corsie, utilizzando la tecnica dello stile libero e indossando il costume da competizione utilizzato nel triathlon. Il segmento ciclistico è stato eseguito su un cicloergometro (Elite Directo-XR, Padova, Italia) con la bicicletta personale di ogni partecipante. Il segmento ciclistico è stato suddiviso in uno sforzo massimo di 3 minuti, seguito da uno sforzo a ritmo di gara di 7 minuti.

È stata standardizzata una transizione da nuoto a ciclismo di 3 minuti per tutti i partecipanti, necessaria per cambiare la maschera del sistema di analisi dei gas respiratori e prepararsi per il segmento di ciclismo.

Durante l'intera simulazione è stata condotta una valutazione concomitante dei parametri biomeccanici e fisiologici. Tuttavia, solo per gli ultimi 100 m del segmento nuoto e per i primi 45 secondi del segmento ciclismo i dati sono stati estrapolati ed elaborati per l'analisi statistica.

#### 4.2.5. Misurazioni

##### Misurazioni biomeccaniche

L'indagine dei parametri biomeccanici durante il segmento di nuoto è stata condotta utilizzando due orologi sportivi (Garmin® Forerunner® 735XT, Olathe, KA) posizionati al polso e alla caviglia. L'orologio sportivo Garmin® Forerunner® 735XT integra un accelerometro triassiale e un magnetometro con una frequenza di campionamento rispettivamente di 25 Hz e 1 Hz ed è stato validato come dispositivo indossabile per il conteggio delle gambate nei triatleti (Bianchi & Ambrosini, 2022). Inoltre, l'intera prova è stata registrata utilizzando una telecamera subacquea (GoPro® HERO7+, San Mateo, CA) tenuta parallela alla direzione del nuoto per accertare ulteriormente i parametri biomeccanici registrati dall'orologio.

Dall'orologio tenuto al polso invece, la frequenza di bracciate (che rappresenta il numero totale di bracciate di nuoto - SF), la lunghezza delle bracciate (che rappresenta la distanza per bracciate di nuoto e calcolata come numero di bracciate diviso la distanza di 25 m della vasca - SL) e la velocità media di nuoto (calcolata come la distanza di 25 m diviso il tempo sui 25 m - Sv) sono stati ottenuti per ogni vasca da 25 m dell'ultimo segmento di nuoto di 100 m e i valori sono stati utilizzati per l'analisi statistica.

Dall'orologio posizionato alla caviglia, la frequenza della gambata (che rappresenta il numero di gambate di nuoto - KF) e la lunghezza della gambata (che rappresenta la distanza per gambata di nuoto e calcolata come numero di KF diviso 25 m della vasca - KL) sono state ottenute per ogni vasca da 25 m dell'ultimo tratto di nuoto di 100 m e i valori sono stati utilizzati per l'analisi statistica.

Inoltre, gli indici di efficienza della bracciata (SI) e della gambata (KI) sono stati calcolati moltiplicando la velocità media di nuoto per la lunghezza della bracciata o della gambata (Co-still & Kovaleski, 1985), rispettivamente, per ogni vasca da 25 m dell'ultimo segmento di nuoto di 100 m e i valori sono stati utilizzati per l'analisi statistica.

Durante il segmento del ciclismo, la potenza e la cadenza sono state registrate utilizzando un cicloergometro (Elite Directo-XR, Padova, Italia) con un campionamento di 1 Hz. Per l'analisi statistica sono state utilizzate la potenza massima e media e la cadenza minima, massima e media del primo segmento di ciclismo di 45 secondi.

### Misurazioni fisiologiche

Gli scambi respiratori dei gas durante i segmenti di nuoto e ciclismo sono stati misurati respiro per respiro utilizzando un sistema di analisi di gas telemetrico portatile (Cosmed K5, Cosmed<sup>TM</sup>, Roma, Italia). In particolare, durante il segmento del nuoto l'analizzatore di gas è stato collegato a un boccaglio per il nuoto (Cosmed<sup>TM</sup> AquaTrainer<sup>®</sup>, Roma, Italia). Le misurazioni respiro per respiro sono state campionate a ogni secondo per i seguenti parametri: cinetica di assorbimento di O<sub>2</sub> ( $\dot{V}O_2$ ), ventilazione minuto (VE), spesa energetica (EE). Secondo le procedure standardizzate (Guidetti & Meucci, 2018) e le istruzioni del produttore, il sistema Cosmed K5 è stato calibrato prima del segmento di nuoto dopo un periodo di riscaldamento di 30 minuti. Inoltre, la frequenza cardiaca (FC) è stata continuamente monitorata utilizzando il cardiofrequenzimetro (Garmin<sup>®</sup> HRM-Tri<sup>®</sup> 735XT, Olathe, KA) e i dati sono stati importati nell'orologio sportivo (Garmin<sup>®</sup> Forerunner<sup>®</sup> 735XT, Olathe, KA) con un campionamento di 1 Hz.

Per l'analisi statistica sono stati utilizzati i valori massimi e medi per ciascun parametro dell'ultimo tratto di nuoto di 100 m e del primo tratto di ciclismo di 45 s.

La concentrazione di lattato nel sangue capillare della punta delle dita (La) è stata misurata con Lactate Pro 2<sup>TM</sup> (Arkaj, Tokyo, Giappone) prima e dopo il segmento di nuoto e al 3° e 10° minuto per il ciclismo.

#### 4.2.6. Analisi Statistica

I dati sono stati analizzati utilizzando il Statistical Package for the Social Sciences, versione 28.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Il livello di significatività statistica è stato fissato a  $p < 0,05$  per tutti i calcoli e tutti i risultati sono stati presentati come  $\text{media} \pm \text{Dev. St.}$ . L'ipotesi di normalità per ciascuna variabile è stata verificata utilizzando il test di Shapiro-Wilk, che ha confermato la normale distribuzione dei dati per le variabili studiate. Di conseguenza, è stata applicata un'analisi mista della varianza (ANOVA) per valutare gli effetti principali e di interazione del fattore tra i soggetti *gruppo* (K6, K4, CG) e il fattore entro i soggetti *tempo* (Pre, Post) su tutte le variabili dipendenti. Le dimensioni degli effetti per gli effetti principali sono state calcolate come Eta Parziale al quadrato ( $\eta_p^2$ ) e interpretate come effetti piccoli (0,01–0,06), medi (0,06–0,14) e grandi ( $> 0,14$ ). In caso di interazioni significative, sono state applicate analisi post hoc utilizzando ANOVA a una via e Paired *t*-test con correzione di Bonferroni per i confronti multipli. La grandezza dell'effetto è stata calcolata con il valore *d* di Cohen per ciascuna variabile ed interpretata come effetti banali ( $< 0,19$ ), piccoli (0,20–0,59), moderati (0,60–1,19), grandi (1,20–1,99), molto grandi (2,0–4,0) ed estremamente grandi ( $> 4,0$ ) (Cohen, 1992; Cumming & Finch, 2001). L'analisi delle associazioni tra i segmenti nuoto e ciclismo per le variabili fisiologiche e biomeccaniche sono state determinate dalla correlazione *r* di Pearson. La forza delle associazioni è stata quantificata e interpretata secondo le seguenti categorie:  $\leq 0,1$  (banale), 0,11–0,30 (piccolo), 0,31–0,50 (moderato), 0,51–0,70 (grande), 0,71–0,90 (molto grande) e  $\geq 0,9$  (quasi perfetto).

### 4.3. Risultati

#### Statistiche descrittive

Le prestazioni complessive durante i test di nuoto e ciclismo per i tre gruppi sono rappresentate nella tabella 4.3. Le risposte del lattato nel sangue non hanno rivelato differenze significative e sono riassunte nella tabella 4.4.

**Tabella 4.3.** Prestazioni complessive durante i test di nuoto e ciclismo per i tre gruppi (medie  $\pm$  dev st).

GRUPPO	TEST DI NUOTO - TEMPO TOTALE (Sec)		TEST DI CICLISMO - DISTANZA COPERTA (Km)	
	Pre-Intervento	Post-Intervento	Pre-Intervento	Post-Intervento
CG	321 $\pm$ 17.3	339.4 $\pm$ 40.5	7.41 $\pm$ 0.19	7.34 $\pm$ 0.22
K4	349.6 $\pm$ 30.0	345.4 $\pm$ 30.6	6.98 $\pm$ 0.43	7.01 $\pm$ 0.46
K6	363.6 $\pm$ 72.9	365.4 $\pm$ 79.8	6.81 $\pm$ 0.42	6.84 $\pm$ 0.50

CG = Gruppo di controllo; K6 = Gruppo con 6 battute di gambe; K4 = Gruppo con 4 battute di gambe; Sec = Secondi; Km = Chilometri.

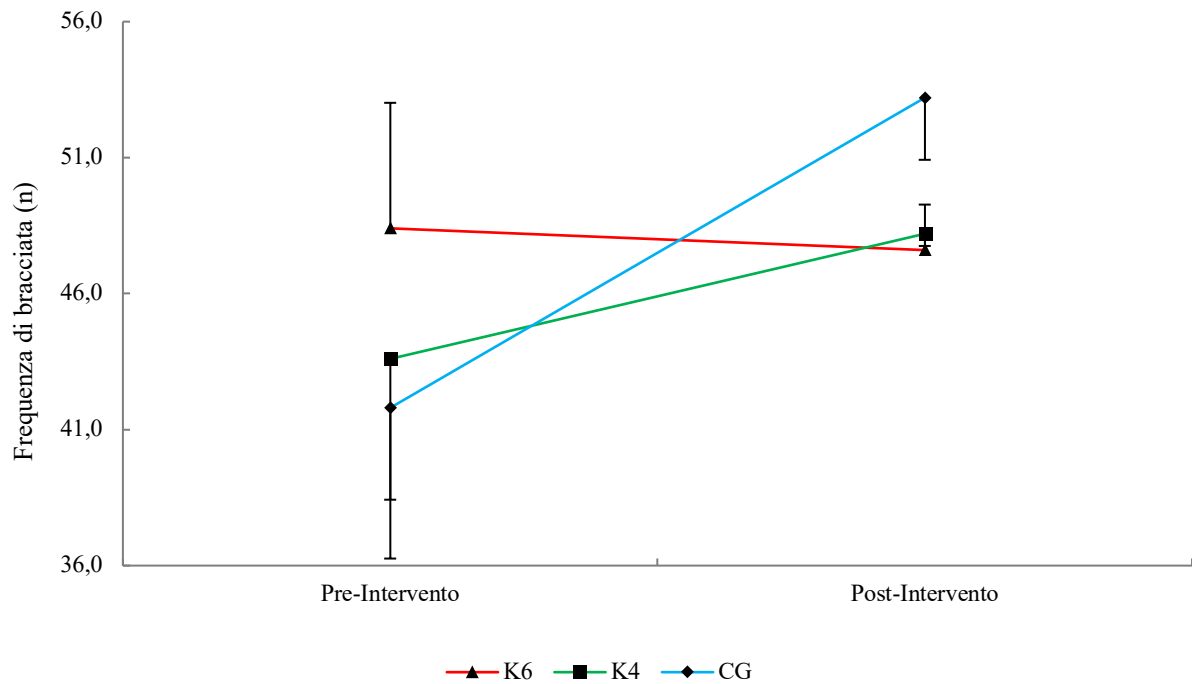
**Tabella 4.4.** Valori del lattato capillare nei tre gruppi (medie  $\pm$  dev st).

GRUPPO	TEST DI NUOTO				TEST DI CICLISMO			
	Pre-Intervento		Post-Intervento		Pre-Intervento		Post-Intervento	
	Pre- nuoto	Post-nuoto	Pre- nuoto	Post-nuoto	3° min	10° min	3° min	10° min
CG	1.86 $\pm$ 0.26	7.78 $\pm$ 3.61	2.26 $\pm$ 0.71	6.68 $\pm$ 2.77	14.84 $\pm$ 3.53	12.46 $\pm$ 2.94	10.92 $\pm$ 2.89	10.12 $\pm$ 4.61
K4	1.86 $\pm$ 0.25	6.78 $\pm$ 1.86	2.14 $\pm$ 0.46	7.24 $\pm$ 2.17	12.28 $\pm$ 3.69	11.66 $\pm$ 3.50	13.56 $\pm$ 4.53	13.82 $\pm$ 3.79
K6	2.04 $\pm$ 0.42	7.24 $\pm$ 3.86	1.78 $\pm$ 0.40	7.24 $\pm$ 2.89	11.66 $\pm$ 3.49	12.52 $\pm$ 4.60	11.14 $\pm$ 3.29	10.82 $\pm$ 3.53

CG = Gruppo di controllo; K6 = Gruppo con 6 battute di gambe; K4 = Gruppo con 4 battute di gambe; min = minuto; mM = milliMoli.

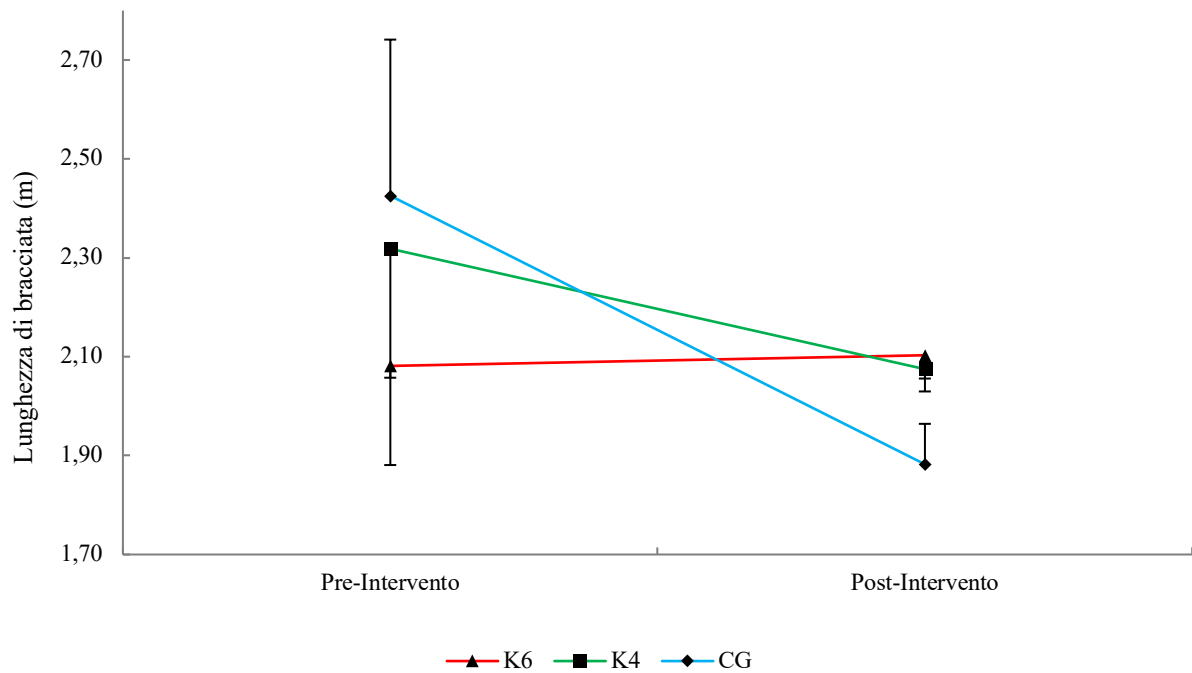
Segmento di nuoto

È emersa un'interazione tempo per gruppo per la frequenza della bracciata, la lunghezza della bracciata, l'indice di efficienza della bracciata, la spesa energetica media e la ventilazione al minuto media (Tab. 4.5).



**Figura 4.2.** Frequenza di bracciata (n) Pre- Vs Post-Intervento nei tre gruppi durante gli ultimi 100 m del segmento di nuoto.

L'analisi post hoc ANOVA con correzione di Bonferroni ( $p < 0,0083$ ) ha confermato una frequenza della bracciata inferiore ( $p = 0,004$ ; ES = 1,91) per il gruppo K6 rispetto al gruppo di controllo (CG) nel Post-Intervento (Fig. 4.2). Differenze nominali sono emerse nel Post-Intervento nel gruppo K6 rispetto al gruppo K4 per la frequenza della bracciata ( $p = 0,029$ ; ES = 2,57).



**Figura 4.3.** Lunghezza di bracciata (m) Pre- Vs Post-Intervento nei tre gruppi durante gli ultimi 100 m del segmento di nuoto.

L'analisi post hoc ANOVA con correzione di Bonferroni ( $p < 0,0083$ ) ha confermato una lunghezza della bracciata maggiore ( $p = 0,002$ ; ES = 2,00) per il gruppo K6 rispetto al gruppo di controllo (CG) nel Post-Intervento (Fig. 4.3). Differenze nominali sono emerse nel Post-Intervento nel gruppo K6 rispetto al gruppo K4 per la lunghezza della bracciata ( $p = 0,017$ ; ES = 1,41) e nella spesa energetica media rispetto a K4 ( $p = 0,024$ ; ES = 1,80) e gruppo di controllo (CG) ( $p = 0,025$ ; ES = 1,47).

Per l'indice di efficienza della bracciata e la ventilazione al minuto media, l'analisi post hoc non ha confermato alcun effetto al post-intervento.

**Tabella 4.5.** Sintesi degli effetti nelle variabili investigate pre- e post-intervento durante gli ultimi 100 m di nuoto (medie  $\pm$  dev st).

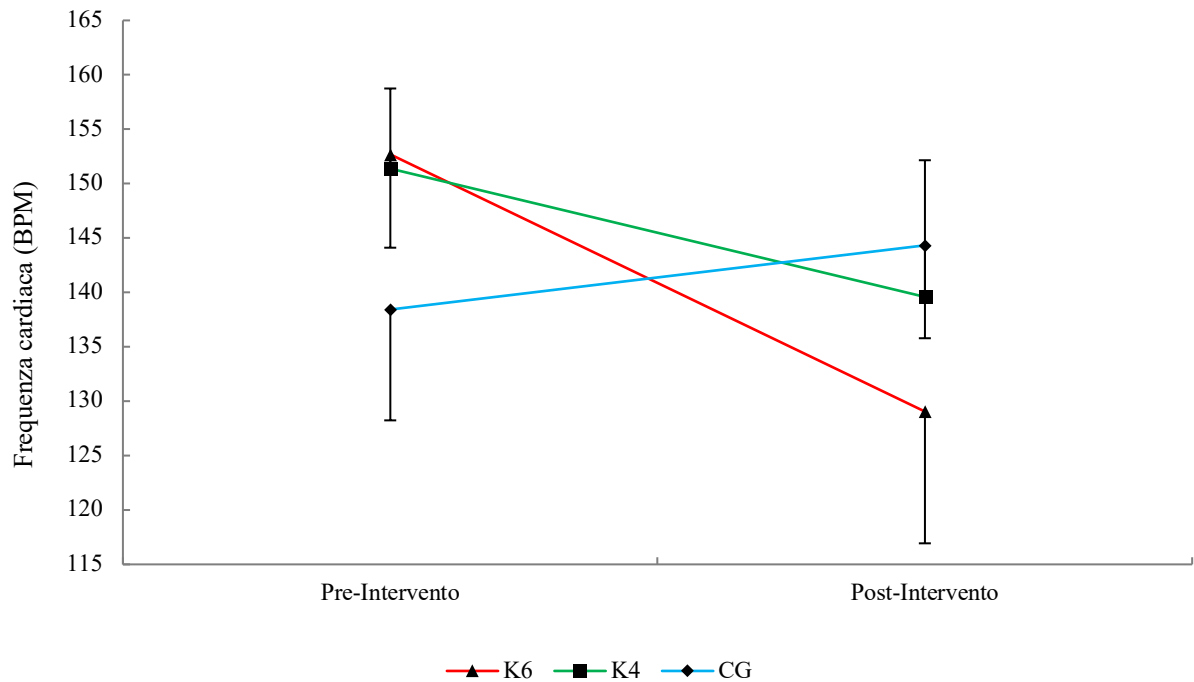
PARAMETRI NUOTO	GRUPPO	PRE-INTERVENTO	POST-INTERVENTO	EFFETTO DEL TEMPO P ( $\eta_p^2$ )	EFFETTO DEL GRUPPO P ( $\eta_p^2$ )	INTERAZIONE TEMPO X GRUPPO P ( $\eta_p^2$ )
FREQUENZA DI BRACCIATA (n)	CG	41.8 $\pm$ 5.5	49.6 $\pm$ 2.5			
	K4	43.6 $\pm$ 5.2	48.4 $\pm$ 0.6	<b>0.021 (0.371)</b>	0.736 (0.050)	<b>0.015 (0.503)</b>
	K6	48.4 $\pm$ 4.6	45.8 $\pm$ 1.3			
LUNGHEZZA DI BRACCIATA (m)	CG	2.4 $\pm$ 0.3	2.0 $\pm$ 0.1			
	K4	2.3 $\pm$ 0.3	2.1 $\pm$ 0.0	<b>0.015 (0.401)</b>	0.621 (0.76)	<b>0.022 (0.472)</b>
	K6	2.1 $\pm$ 0.2	2.2 $\pm$ 0.1			
EFFICIENZA DELLA BRACCIATA (m <sup>2</sup> /s)	CG	3.0 $\pm$ 0.4	2.4 $\pm$ 0.4			
	K4	2.7 $\pm$ 0.5	2.4 $\pm$ 0.2	<b>0.007 (0.462)</b>	0.336 (0.166)	<b>0.014 (0.508)</b>
	K6	2.3 $\pm$ 0.5	2.4 $\pm$ 0.3			
FREQUENZA DI GAMBATA (n)	CG	93.4 $\pm$ 28.9	101.2 $\pm$ 24.2			
	K4	92.2 $\pm$ 19.3	83.0 $\pm$ 23.3	0.528 (0.034)	<b>&lt; 0.001(0.694)</b>	0.478 (0.116)
	K6	154.4 $\pm$ 17.1	142.0 $\pm$ 28.7			
LUNGHEZZA DI GAMBATA (m)	CG	1.2 $\pm$ 0.4	1.0 $\pm$ 0.2			
	K4	1.1 $\pm$ 0.2	1.3 $\pm$ 0.5	0.651 (0.018)	<b>0.006 (0.579)</b>	0.508 (0.107)
	K6	0.6 $\pm$ 0.1	0.7 $\pm$ 0.2			
EFFICIENZA DELLA GAMBATA (m <sup>2</sup> /s)	CG	1.5 $\pm$ 0.5	1.2 $\pm$ 0.4			
	K4	1.3 $\pm$ 0.3	1.5 $\pm$ 0.6	0.795 (0.006)	<b>0.003 (0.630)</b>	0.505 (0.108)
	K6	0.7 $\pm$ 0.2	0.8 $\pm$ 0.2			
$\dot{V}O_2$ MEDIO (ml/Kg/min)	CG	40.7 $\pm$ 15.3	42.2 $\pm$ 12.2			
	K4	35.4 $\pm$ 9.7	46.1 $\pm$ 5.1	0.493 (0.040)	0.904 (0.017)	0.232 (0.216)
	K6	45.4 $\pm$ 7.4	40.6 $\pm$ 10.7			
$\dot{V}O_2$ MASSIMO (ml/Kg/min)	CG	58.6 $\pm$ 13.4	54.7 $\pm$ 9.9			
	K4	52.7 $\pm$ 9.7	60.8 $\pm$ 6.5	0.996 (0.000)	0.688 (0.060)	0.380 (0.149)
	K6	62.7 $\pm$ 12.1	58.6 $\pm$ 13.9			
VENTILAZIONE AL MINUTO MEDIA (l/min)	CG	79.3 $\pm$ 31.0	76.3 $\pm$ 24.0			
	K4	56.9 $\pm$ 24.7	82.7 $\pm$ 14.2	0.078 (0.236)	0.783 (0.040)	0.065 (0.366)
	K6	74.3 $\pm$ 15.5	78.2 $\pm$ 7.3			
VENTILAZIONE AL MINUTO MASSIMA (l/min)	CG	104.6 $\pm$ 27.5	91.0 $\pm$ 23.2			
	K4	81.8 $\pm$ 17.5	98.5 $\pm$ 16.0	0.545 (0.031)	0.828 (0.031)	<b>0.038 (0.420)</b>
	K6	91.4 $\pm$ 24.1	96.2 $\pm$ 15.4			
SPESA ENERGETICA MEDIA (kcal/min)	CG	14.6 $\pm$ 4.7	15.0 $\pm$ 3.0			
	K4	11.9 $\pm$ 2.8	15.0 $\pm$ 1.9	0.909 (0.001)	0.364 (0.155)	<b>0.042 (0.411)</b>
	K6	14.0 $\pm$ 2.6	10.8 $\pm$ 2.7			
SPESA ENERGETICA MASSIMA (kcal/min)	CG	19.7 $\pm$ 3.6	19.8 $\pm$ 6.1			
	K4	16.3 $\pm$ 3.0	18.6 $\pm$ 2.6	0.631 (0.020)	0.306 (0.179)	0.073 (0.354)
	K6	17.8 $\pm$ 4.6	14.1 $\pm$ 3.9			
FREQUENZA CARDIACA MEDIA (BPM)	CG	151.4 $\pm$ 16.3	147.0 $\pm$ 13.4			
	K4	161.1 $\pm$ 6.6	163.0 $\pm$ 9.0	0.307 (0.087)	0.132 (0.287)	0.303 (0.180)
	K6	164.2 $\pm$ 10.5	161.5 $\pm$ 10.5			
FREQUENZA CARDIACA MASSIMA (BPM)	CG	155.8 $\pm$ 16.1	150.6 $\pm$ 14.6			
	K4	163.8 $\pm$ 6.3	165.2 $\pm$ 9.7	0.182 (0.143)	0.170 (0.256)	0.203 (0.233)
	K6	167.6 $\pm$ 9.5	165.4 $\pm$ 9.8			

CG = Gruppo di controllo; K6 = Gruppo con 6 gambate; K4 = Gruppo con 4 gambate;  $p$  = p-value;  $\eta_p^2$  = Eta Squared; n = numero; m = metri; m<sup>2</sup>/s = metri quadri al secondo; ml/kg/min = millilitri di ossigeno per chilogrammo al minuto; l/min = litri x minuto; kcal/min = chilocalorie spese x minuto; BPM = Battiti Per Minuto.



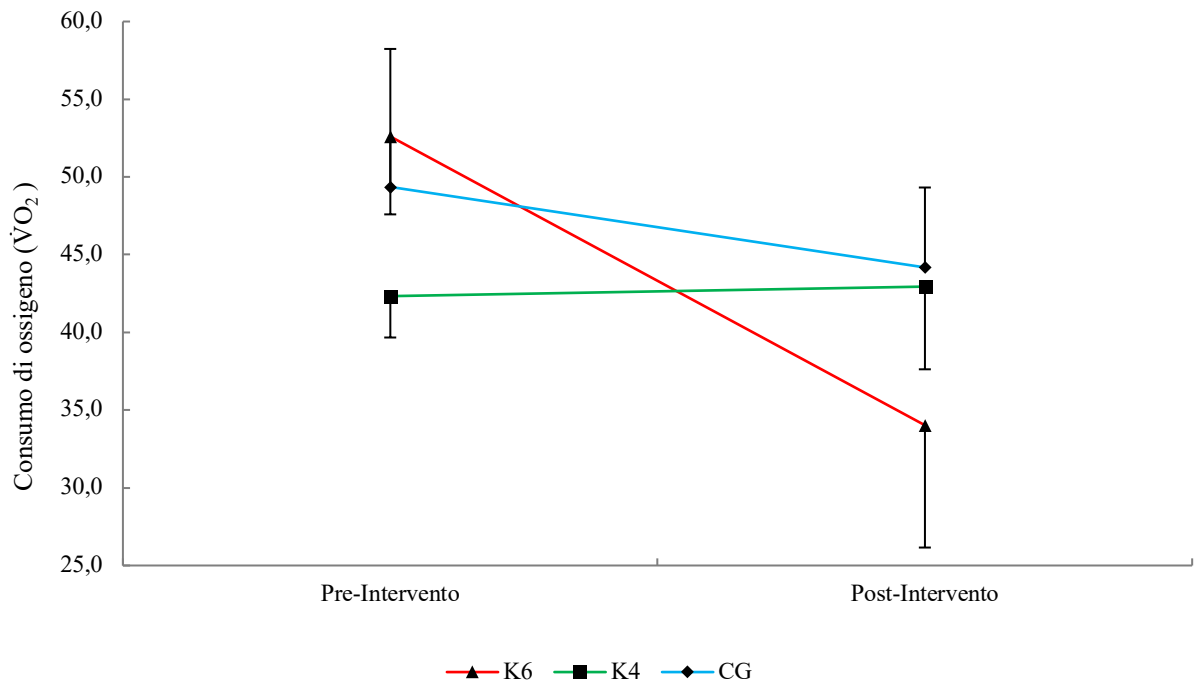
Segmento di ciclismo

È emersa un'interazione tempo per gruppo per la cadenza minima, la frequenza cardiaca media, il consumo di ossigeno medio, la spesa energetica media e massima (Tab. 4.6).



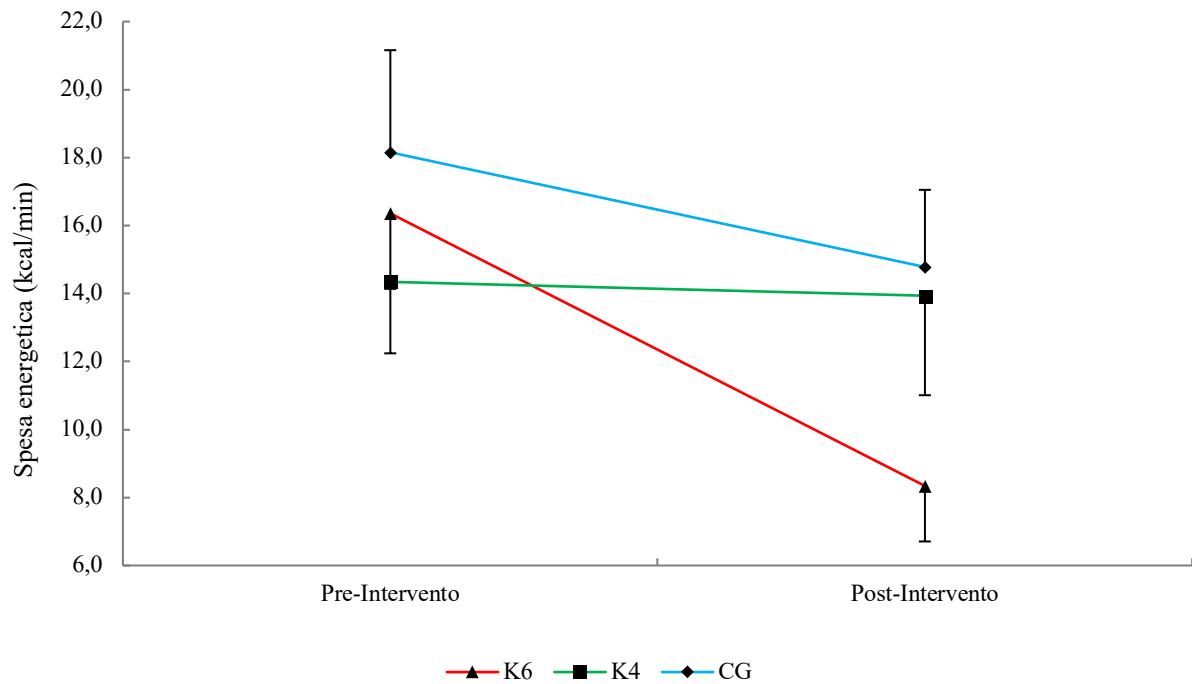
**Figura 4.4.** Frequenza cardiaca media (BPM) Pre- Vs Post-Intervento nei tre gruppi durante i primi 45 secondi del segmento di ciclismo.

L'analisi post hoc Paired *t*-test con correzione di Bonferroni ( $p < 0,016$ ) ha confermato nel gruppo K6 una riduzione tra Pre- e Post-Intervento per i valori medi di frequenza cardiaca ( $p = 0,005$ ; ES = 3,30) (Fig. 4.4).



**Figura 4.5.** Consumo di ossigeno medio ( $\dot{V}O_2$ ) Pre- Vs Post-Intervento nei tre gruppi durante i primi 45 secondi del segmento di ciclismo.

L'analisi post hoc Paired *t*-test con correzione di Bonferroni ( $p < 0,016$ ) ha confermato nel gruppo K6 una riduzione tra Pre- e Post-Intervento per i valori medi di consumo di ossigeno medio ( $p = 0,014$ ; ES = 2,95) (Fig. 4.5).



**Figura 4.6.** Spesa energetica media (kcal/min) Pre- Vs Post-Intervento nei tre gruppi durante i primi 45 secondi del segmento di ciclismo.

L'analisi post hoc Paired *t*-test con correzione di Bonferroni ( $p < 0,016$ ) ha confermato nel gruppo K6 una riduzione tra Pre- e Post-Intervento per i valori medi di spesa energetica ( $p = 0,008$ ; ES = 2,72) (Fig. 4.6).

Sono state trovate differenze nominali nel gruppo K6 tra il Pre- e Post-Intervento per la cadenza minima ( $p = 0,039$ ; ES = 1,69) e la spesa energetica massima ( $p = 0,037$ ; ES = 1,81), e nel Post-Intervento per il gruppo K6 rispetto al gruppo K4 nella cadenza minima ( $p = 0,036$ ; ES = 1,28) e nella spesa energetica media ( $p = 0,030$ ; ES = 1,60); per il gruppo K6 rispetto a CG nel consumo di ossigeno medio ( $p = 0,042$ ; ES = 1,32), nella spesa energetica media ( $p = 0,035$ ; ES = 1,49) e nella cadenza minima ( $p = 0,011$ ; ES = 3,08).

**Tabella 4.6.** Sintesi degli effetti nelle variabili investigate Pre- e Post-intervento durante i primi 45 secondi di ciclismo (medie  $\pm$  dev st).

PARAMETRI CICLISMO	GRUPPO	PRE-INTERVENTO	POST-INTERVENTO	EFFETTO DEL TEMPO P ( $\eta_p^2$ )	EFFETTO DEL GRUPPO P ( $\eta_p^2$ )	INTERAZIONE TEMPO X GRUPPO P ( $\eta_p^2$ )
POTENZA MEDIA (W)	CG	392.6 $\pm$ 54.9	381.7 $\pm$ 43.7			
	K4	334.3 $\pm$ 48.7	328.1 $\pm$ 53.6	0.195 (0.136)	0.208 (0.230)	0.768 (0.043)
	K6	348.8 $\pm$ 56.6	325.4 $\pm$ 67.8			
POTENZA MASSIMA (W)	CG	530.0 $\pm$ 80.3	486.2 $\pm$ 61.3			
	K4	438.0 $\pm$ 44.5	417.8 $\pm$ 79.4	0.089 (0.222)	0.214 (0.227)	0.851 (0.026)
	K6	447.0 $\pm$ 93.3	416.8 $\pm$ 118.8			
CADENZA MEDIA (RPM)	CG	107.7 $\pm$ 12.0	104.0 $\pm$ 6.1			
	K4	102.4 $\pm$ 6.0	99.4 $\pm$ 5.2	0.110 (0.199)	0.562 (0.091)	0.962 (0.006)
	K6	104.3 $\pm$ 11.6	99.9 $\pm$ 7.9			
CADENZA MASSIMA (RPM)	CG	135.6 $\pm$ 25.4	126.2 $\pm$ 16.1			
	K4	126.0 $\pm$ 18.9	108.6 $\pm$ 6.4	<b>0.042 (0.302)</b>	0.110 (0.307)	0.440 (0.128)
	K6	112.6 $\pm$ 14.5	109.4 $\pm$ 9.2			
CADENZA MINIMA (RPM)	CG	88.2 $\pm$ 7.4	77.8 $\pm$ 5.0			
	K4	91.4 $\pm$ 5.6	81.6 $\pm$ 14.4	0.392 (0.062)	0.238 (0.213)	<b>0.015 (0.505)</b>
	K6	83.8 $\pm$ 7.7	96.0 $\pm$ 6.7			
$\dot{V}O_2$ MEDIO (ml/Kg/min)	CG	49.4 $\pm$ 8.9	43.4 $\pm$ 7.2			
	K4	42.3 $\pm$ 2.7	42.9 $\pm$ 5.3	<b>0.001 (0.604)</b>	0.499 (0.109)	<b>0.004 (0.605)</b>
	K6	52.6 $\pm$ 5.0	33.6 $\pm$ 7.6			
$\dot{V}O_2$ MASSIMO (ml/Kg/min)	CG	61.2 $\pm$ 8.8	48.8 $\pm$ 11.1			
	K4	51.8 $\pm$ 1.6	50.5 $\pm$ 7.8	<b>0.020 (0.376)</b>	0.669 (0.065)	0.303 (0.180)
	K6	61.2 $\pm$ 5.5	47.9 $\pm$ 16.9			
SPESA ENERGETICA MEDIA (kcal/min)	CG	18.1 $\pm$ 3.0	13.8 $\pm$ 3.2			
	K4	14.3 $\pm$ 2.1	13.9 $\pm$ 2.9	<b>&lt; 0.001 (0.759)</b>	0.166 (0.259)	<b>0.004 (0.606)</b>
	K6	16.4 $\pm$ 2.2	9.1 $\pm$ 3.1			
SPESA ENERGETICA MASSIMA (kcal/min)	CG	22.8 $\pm$ 2.0	16.9 $\pm$ 3.6			
	K4	17.9 $\pm$ 2.4	16.7 $\pm$ 2.2	<b>&lt; 0.001 (0.690)</b>	0.080 (0.344)	<b>0.048 (0.397)</b>
	K6	19.4 $\pm$ 2.8	12.3 $\pm$ 4.8			
FREQUENZA CARDIACA MEDIA (BPM)	CG	138.4 $\pm$ 10.2	136.3 $\pm$ 15.6			
	K4	151.4 $\pm$ 7.4	139.6 $\pm$ 12.6	<b>&lt; 0.001 (0.691)</b>	0.384 (0.147)	<b>0.007 (0.564)</b>
	K6	152.7 $\pm$ 8.6	125.0 $\pm$ 8.2			
FREQUENZA CARDIACA MASSIMA (BPM)	CG	151.2 $\pm$ 9.8	144.0 $\pm$ 17.2			
	K4	161.8 $\pm$ 4.5	149.0 $\pm$ 11.4	<b>&lt; 0.001 (0.651)</b>	0.454 (0.123)	0.157 (0.266)
	K6	163.6 $\pm$ 8.3	141.4 $\pm$ 11.7			

CG = Gruppo di controllo; K6 = Gruppo con 6 gambate; K4 = Gruppo con 4 gambate;  $p$  = p-value;  $\eta_p^2$  = Eta Squared; w = watt; RPM = Rivoluzioni Per Minuto; ml/kg/min = millilitri di ossigeno per chilogrammo al minuto; kcal/min = chilocalorie spese x minuto; BPM = Battiti Per Minuto.

Associazione tra i segmenti di nuoto e ciclismo

L'analisi delle associazioni tra la prestazione del nuoto (ultimi 100 metri) e del ciclismo (primi 45 secondi) per le variabili fisiologiche e biomeccaniche nelle misurazioni Post-Intervento di ciascun gruppo è presentata nella tabella 4.7. Per quanto riguarda la correlazione tra i parametri biomeccanici di nuoto e ciclismo, si evidenziano correlazioni significative nel gruppo CG e K6. Per il gruppo CG sono emerse correlazioni negative e quasi perfette per la lunghezza di gambata (KL) e l'efficienza della gambata (KI) del segmento di nuoto rispetto ai valori medi e massimi di potenza espressi durante il ciclismo. Per il gruppo K6 sono emerse correlazioni positive e quasi perfette per la lunghezza di gambata (KL) e l'efficienza della gambata (KI) del segmento di nuoto rispetto ai valori minimi, massimi e medi della cadenza di pedalata durante il ciclismo. Per il gruppo K4 non sono emerse correlazioni significative.

**Tabella 4.7.** Analisi della correlazione di Pearson tra le variabili di nuoto e ciclismo Post-Intervento.

CORRELAZIONI TRA LE VARIABILI NUOTO-CICLISMO POST-INTERVENTO		GRUPPI		
NUOTO	CICLISMO	CG	K4	K6
		<i>r</i> ( <i>p</i> )	<i>r</i> ( <i>p</i> )	<i>r</i> ( <i>p</i> )
Lunghezza di Gambata (KL)	Potenza media	<b>-0,960 (0.009)</b>	0.346 (0.569)	0.751 (0.144)
	Potenza massima	<b>-0,900 (0.037)</b>	0.514 (0.375)	0.620 (0.265)
	Cadenza media	-0.493 (0.399)	0.289 (0.638)	<b>0.954 (0.012)</b>
	Cadenza minima	0.066 (0.916)	0.447 (0.450)	<b>0.935 (0.020)</b>
	Cadenza massima	-0.388 (0.518)	0.103 (0.870)	0.808 (0.098)
Efficienza della Gambata (KI)	Potenza media	<b>-0.943 (0.016)</b>	0.404 (0.500)	0.805 (0.101)
	Potenza massima	<b>-0.981 (0.003)</b>	0.605 (0.279)	0.728 (0.163)
	Cadenza media	-0.430 (0.470)	0.267 (0.664)	<b>0.954 (0.012)</b>
	Cadenza minima	-0.171 (0.784)	0.466 (0.429)	<b>0.937 (0.019)</b>
	Cadenza massima	-0.124 (0.842)	0.161 (0.796)	<b>0.888 (0.044)</b>

CG = Gruppo di controllo; K6 = Gruppo con 6 battute di gambe; K4 = Gruppo con 4 battute di gambe.

#### 4.4. Discussione

Lo scopo di questo studio sperimentale è stato quello di valutare l'effetto di un allenamento specifico di 8 settimane sui parametri fisiologici e biomeccanici durante una simulazione di triathlon nella transizione nuoto-ciclismo. L'inclusione di uno specifico protocollo di allenamento per il coinvolgimento delle gambe nel nuoto potrebbe fornire un valido metodo di allenamento del triathlon e indirettamente portare al miglioramento dei parametri della bracciata nel nuoto, quali la frequenza, lunghezza e conseguentemente l'indice di efficienza. Le modificazioni della bracciata potrebbero essere a loro volta correlate alle variazioni registrate nei parametri ciclistici come la cadenza, la frequenza cardiaca, il consumo di ossigeno e la spesa energetica, alla luce dei miglioramenti ottenuti dal gruppo che ha utilizzato un'alta frequenza di gambata (K6) rispetto agli altri gruppi (CG e K4). Tale collegamento tra la prestazione di nuoto e quella di ciclismo può essere spiegato grazie all'effetto migliorativo che un esercizio ad alta intensità anticipatorio può avere su una successiva prestazione, e nello specifico quando questo è preceduto da un esercizio con le gambe rispetto che all'esercizio con le braccia (Gerbino & Ward, 1996; Bohnert & Ward, 1998).

Durante il ciclismo, la variazione nei parametri fisiologici, quali la diminuzione del consumo di ossigeno medio, della frequenza cardiaca media e della spesa energetica media e massima e di quelli biomeccanici, con l'aumento della cadenza minima, ottenuti nel gruppo K6 sono in linea con i risultati di altri studi che evidenziavano un'elevata efficienza ciclistica a seguito di un precedente esercizio ad alta intensità, effettuato con lo stesso compartimento muscolare (Burnley & Davidson, 2011; Brock & Antonellis, 2018).

Durante la sessione di nuoto nella valutazione Post-Intervento, il gruppo di controllo ha evidenziato un aumento significativo della frequenza delle bracciate, una diminuzione della lunghezza e dell'indice di efficienza della bracciata che può essere associato ad una capacità inferiore da parte dell'atleta di generare la propulsione necessaria per superare la resistenza dell'acqua (Craig & Skehan, 1985; Termin & Pendergast, 2000). Infatti, con una tecnica

inefficace si riscontra una riduzione della lunghezza della bracciata del 6,5% rispetto a chi padroneggia una tecnica maggiormente efficace (Dekerle & Nesi, 2005). Tali capacità dovrebbero essere stimolate frequentemente negli atleti con l'obiettivo di aumentare le prestazioni, infatti, l'allenamento della lunghezza della bracciata richiede un periodo di allenamento elevato, nonostante promuova il risparmio energetico (Wakayoshi & Yoshida, 1993; Barbosa & Fernandes, 2008), mentre il miglioramento della frequenza della bracciata necessita di un periodo di tempo relativamente più breve (Morais & Barbosa, 2022).

Il programma di allenamento proposto dal seguente studio sembra aver contribuito alle differenze significative evidenziate tra i gruppi K6 e CG nelle misurazioni Post-Intervento circa i parametri della bracciata, con una riduzione della frequenza e un aumento della lunghezza della bracciata nel gruppo K6 rispetto al gruppo di controllo. Infatti, studi precedenti riconoscono che la gambata a sei movimenti (cioè sei gambate ogni ciclo di bracciata), porta ad un potenziamento della tecnica di nuoto grazie al miglioramento della coordinazione degli arti e una miglior posizione orizzontale in acqua (e dunque un maggior scivolamento) (Chollet & Chalies, 2000), mantenendo il corpo maggiormente stabile, migliorando l'assetto e la fluttuazione nel movimento di rollio (Toussaint & Van den Berg, 2002; Sortwell, 2011) e aumentando la profondità e la lunghezza della bracciata (Seifert & Boulesteix, 2005). Inoltre, le differenze nominali riscontrabili nei valori di gambata tra i gruppi K6 e CG, potrebbero essere un'ulteriore conferma circa il miglioramento nell'utilizzo della gambata. Le differenze significative emerse tra i gruppi durante il test di nuoto Post-Intervento nella spesa energetica (valori medi), evidenziando una riduzione maggiore da Pre a Post nel gruppo K6, potrebbero essere ricondotte ad una migliore economicità della nuotata dovuta ad una più efficiente coordinazione degli arti. Esiste infatti una correlazione diretta tra l'aumento della frequenza di bracciata, la diminuzione della lunghezza della bracciata e l'aumento dei costi energetici durante il nuoto (Komar & Lepître, 2012; Zamparo & Cortesi, 2020).

La valutazione post-intervento della sessione di ciclismo nel gruppo K6 ha mostrato un significativo aumento della cadenza minima, con valori che si aggirano intorno alle 90 pedalate al minuto. Tale aumento potrebbe essere riconducibile al miglioramento nell'utilizzo della *cadenza energetica ottimale*, cioè quel valore di cadenza che massimizza l'economia della pedalata (Verecruyssen & Brisswalter, 2010). Studi precedenti (Takaishi & Yasuda, 1996, Neptune & Hull, 1999) attribuivano un valore alla cadenza energetica ottimale intorno ai 60 RPM e una cadenza libera intorno ai 90 RPM. Tuttavia, studi più recenti riconoscono una sovrapposizione tra la cadenza ottimale e libera durante prestazioni di alta intensità (Umberger & Gerritsen, 2006), e che la massima efficienza energetica, con un'attivazione muscolare ottimale e un consumo di ossigeno inferiore, sia compresa tra 80 e 100 RPM (Lucia & San Juan, 2004). Inoltre, il miglioramento della cadenza minima è stato accompagnato da una diminuzione significativa tra Pre e Post della frequenza cardiaca media, del consumo di ossigeno medio e della spesa energetica media e che la differenza significativa riscontrata tra K6 e CG nella cadenza minima è stata accompagnata dalle differenze nominali nei valori di consumo di ossigeno medio e di spesa energetica media.

Tuttavia, bisogna ricordare che il triathlon, vista la sua caratteristica di multidisciplinarietà, potrebbe necessitare di adattare diversi valori di cadenza in vari momenti della competizione, quando gli atleti devono recuperare posizioni perse in acqua utilizzando cadenze più basse e potenti oppure in vista della fase finale di corsa con cadenze più elevate (Landers & Blanksby, 2011; Ambrosini & Presta, 2022).

I risultati dell'analisi delle relazioni tra i parametri del nuoto e del ciclismo hanno evidenziato un'associazione diretta tra l'efficienza della gambata a nuoto e la cadenza ciclistica (minima, media e massima) nel gruppo K6. Diversamente nel gruppo di controllo è emersa una correlazione indiretta tra l'efficienza di gambata a nuoto e la potenza ciclistica espressa (media e massima). È possibile speculare che nel gruppo K6 un aumento dell'efficienza della gambata possa aver contribuito ad una modificazione della cadenza di pedalata con un aumento del



numero di pedalate attestandole su valori vicini alla cadenza energetica ottimale, e probabilmente attribuibile ad un'attivazione muscolare maggiore. Di contro nel gruppo di controllo l'aumento dell'utilizzo della gambata, porta ad un calo della potenza espressa nella successiva fase ciclistica, che si ipotizza sia attribuibile a uno sforzo maggiore che questi atleti hanno dovuto sostenere per esprimere un'efficienza di gambata ottimale.

#### **4.5. Limiti della Ricerca**

Lo studio presenta alcuni limiti da tenere in considerazione. In primo luogo, i risultati sono stati ottenuti da una dimensione del campione relativamente piccola e con una disparità di genere, ciò dovuto alle difficoltà riscontrate nel reperire atleti élite nella disciplina esaminata. Inoltre, l'inserimento del protocollo sperimentale in aggiunta al tradizionale allenamento degli atleti rende l'analisi del nostro protocollo difficile da valutare a causa dell'influenza che può avere l'allenamento delle altre discipline; tuttavia, risultava impossibile interrompere l'allenamento nelle altre discipline in atleti di questo livello. In secondo luogo, la durata del protocollo di allenamento di sole 8 settimane potrebbe avere influito sulla grandezza dell'effetto, ma a causa dell'importanza del periodo agonistico che gli atleti stavano svolgendo non è stato possibile prolungarlo. Inoltre, l'assunzione dietetica degli atleti durante lo studio non è stata supervisionata; tuttavia, abbiamo consigliato ai partecipanti di non modificare le loro abitudini alimentari durante il periodo di intervento.

#### 4.6. Conclusione

Il presente studio sulla transizione nuoto-ciclismo nel triathlon ha evidenziato la possibile efficacia che un protocollo di intervento di nuoto può avere sui parametri fisiologici e biomeccanici investigati. Nello specifico, l'intervento mirato all'utilizzo della gambata a nuoto porterebbe anche ad un miglioramento della bracciata e conseguentemente dell'economia della nuotata. Infatti, sembrerebbe che il gruppo che ha utilizzato un'alta frequenza di gambata (K6) durante il protocollo di nuoto, migliori la tecnica di bracciata in acqua rendendo il gesto più economico e, successivamente, durante la fase ciclistica, riesca a mantenere un'elevata cadenza minima rendendo la pedalata più efficace. Infatti, all'aumentare dell'efficienza di gambata emerge un aumento della cadenza di pedalata, trovando conferma anche in un minore consumo di ossigeno ed una minore spesa energetica che si traduce in una maggiore economia della pedalata e dunque in una prestazione ciclistica migliore. Considerata la necessità di eseguire il segmento finale di corsa, i risultati emersi nella transizione nuoto-ciclismo, con il miglioramento dell'efficienza della pedalata data da una cadenza ciclistica minima aumentata, potrebbero portare ad una migliore gestione delle energie durante il segmento ciclistico e conseguentemente ad una migliore prestazione finale.

## BIBLIOGRAFIA

1. Barbosa, T. M., Fernandes, R. J., Keskinen, K. L., & Vilas-Boas, J. P. (2008). The influence of stroke mechanics into energy cost of elite swimmers. *European journal of applied physiology*, 103(2), 139–149. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0676-z>
2. Bentley, D. J., Vleck, V. E. (2004). Pacing Strategy and Performance in Elite World Cup Triathlon. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(5), 122
3. Bertuzzi, R., Silva-Cavalcante, M. D., Couto, P. G., Azevedo, R. A., Coelho, D. B., Zagatto, A., Lima-Silva, A. E., & Millet, G. Y. (2021). Prior Upper Body Exercise Impairs 4-km Cycling Time-Trial Performance Without Altering Neuromuscular Function. *Research quarterly for exercise and sport*, 92(1), 52–62. <https://doi.org/10.1080/02701367.2019.1708844>
4. Bianchi, V., Ambrosini, L., Presta, V., Gobbi, G., De Munari, I. (2022). Prediction of Kick Count in Triathletes during Freestyle Swimming Session Using Inertial Sensor Technology. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12 (13), art. no. 6313 <https://doi.org/10.3390/app12136313>
5. Bohnert, B., Ward, S. A., & Whipp, B. J. (1998). Effects of prior arm exercise on pulmonary gas exchange kinetics during high-intensity leg exercise in humans. *Experimental physiology*, 83(4), 557–570. <https://doi.org/10.1113/expphy-siol.1998.sp004138>
6. Burnley, M., Davison, G., & Baker, J. R. (2011). Effects of priming exercise on VO<sub>2</sub> kinetics and the power-duration relationship. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(11), 2171–2179. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821ff26d>
7. Brock, K., Antonellis, P., Black, M. I., DiMenna, F. J., Vanhatalo, A., Jones, A. M., & Bailey, S. J. (2018). Improvement of Oxygen-Uptake Kinetics and Cycling Performance With Combined Prior Exercise and Fast Start. *International journal of sports physiology and performance*, 13(3), 305–312. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0557>
8. Cejuela, R., Cala, A., Pérez-Turpin, J. A., Villa, J. G., Cortell, J. M., & Chinchilla, J. J. (2013). Temporal activity in particular segments and transitions in the olympic triathlon. *Journal of human kinetics*, 36, 87–95. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0009>
9. Cheng, A., Kessler, D., Mackinnon, R., Chang, T. P., Nadkarni, V. M., Hunt, E. A., Duval-Arnould, J., Lin, Y., Cook, D. A., Pusic, M., Hui, J., Moher, D., Egger, M., Auerbach, M., & International Network for Simulation-based Pediatric Innovation, Research, and Education (INSPIRE) Reporting Guidelines Investigators (2016). Reporting guidelines for health care simulation research: extensions to the CONSORT and STROBE statements. *Advances in simulation (London, England)*, 1, 25. <https://doi.org/10.1186/s41077-016-0025-y>
10. Chollet, D., Chabies, S., & Chatard, J. C. (2000). A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. *International journal of sports medicine*, 21(1), 54–59. <https://doi.org/10.1055/s-2000-8855>
11. Chollet, D., Hue, O., Auclair, F., Millet, G., & Chatard, J. C. (2000). The effects of drafting on stroking variations during swimming in elite male triathletes. *European journal of applied physiology*, 82(5-6), 413–417. <https://doi.org/10.1007/s004210000233>
12. Cohen J. (1992). A power primer. *Psychological bulletin*, 112(1), 155–159. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.112.1.155>
13. Costill, D. L., Kovaleski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R., & King, D. (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *International journal of sports medicine*, 6(5), 266–270. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025849>
14. Costill DL, Maglischo EW, Richardson AB: (1992) Swimming. London, Blackwell Scientific
15. Craig, A. B., Jr, Skehan, P. L., Pawelczyk, J. A., & Boomer, W. L. (1985). Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine and science in sports and exercise*, 17(6), 625–634. <https://doi.org/10.1249/00005768-198512000-00001>

16. Cunanan, A. J., DeWeese, B. H., Wagle, J. P., Carroll, K. M., Sausaman, R., Hornsby, W. G., 3rd, Haff, G. G., Triplett, N. T., Pierce, K. C., & Stone, M. H. (2018). The General Adaptation Syndrome: A Foundation for the Concept of Periodization. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(4), 787–797. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0855-3>
17. Cumming, G., & Finch, S. (2001). A Primer on the Understanding, Use, and Calculation of Confidence Intervals that are Based on Central and Noncentral Distributions. *Educational and Psychological Measurement*, 61(4), 532–574. <https://doi.org/10.1177/0013164401614002>
18. Gadelha, A. B., Sousa, C. V., Sales, M. M., Dos Santos Rosa, T., Flothmann, M., Barbosa, L. P., da Silva Aguiar, S., Olher, R. R., Viliger, E., Nikolaidis, P. T., Rosemann, T., Hill, L., & Knechtle, B. (2020). Cut-Off Values in the Prediction of Success in Olympic Distance Triathlon. *International journal of environmental research and public health*, 17(24), 9491. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249491>
19. Gatta, G., Cortesi, M., & Di Michele, R. (2012). Power production of the lower limbs in flutter-kick swimming. *Sports biomechanics*, 11(4), 480–491. <https://doi.org/10.1080/14763141.2012.670663>
20. Gerbino, A., Ward, S. A., & Whipp, B. J. (1996). Effects of prior exercise on pulmonary gas-exchange kinetics during high-intensity exercise in humans. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 80(1), 99–107. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.80.1.99>
21. Gourgoulis, V., Boli, A., Aggeloussis, N., Toubekis, A., Antoniou, P., Kasimatis, P., Vezos, N., Michalopoulou, M., Kambas, A., & Mavromatis, G. (2014). The effect of leg kick on sprint front crawl swimming. *Journal of sports sciences*, 32(3), 278–289. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.823224>
22. Guidetti, L., Meucci, M., Bolletta, F., Emerenziani, G. P., Gallotta, M. C., & Baldari, C. (2018). Validity, reliability and minimum detectable change of COSMED K5 portable gas exchange system in breath-by-breath mode. *PloS one*, 13(12), e0209925. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209925>
23. Hermosilla, F., González-Rave, J. M., Del Castillo, J. A., & Pyne, D. B. (2021). Periodization and Programming for Individual 400 m Medley Swimmers. *International journal of environmental research and public health*, 18(12), 6474. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126474>
24. Johnson, M. A., Mills, D. E., Brown, P. I., & Sharpe, G. R. (2014). Prior upper body exercise reduces cycling work capacity but not critical power. *Medicine and science in sports and exercise*, 46(4), 802–808. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000159>
25. Jones, A. M., Grassi, B., Christensen, P. M., Krustup, P., Bangsbo, J., & Poole, D. C. (2011). Slow component of VO<sub>2</sub> kinetics: mechanistic bases and practical applications. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(11), 2046–2062. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821fcfc1>
26. Juszczak, E., Altman, D. G., Hopewell, S., & Schulz, K. (2019). Reporting of Multi-Arm Parallel-Group Randomized Trials: Extension of the CONSORT 2010 Statement. *JAMA*, 321(16), 1610–1620. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.3087>
27. Komar, J., Leprêtre, P. M., Albery, M., Vantorre, J., Fernandes, R. J., Hellard, P., Chollet, D., & Seifert, L. (2012). Effect of increasing energy cost on arm coordination in elite sprint swimmers. *Human movement science*, 31(3), 620–629. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.07.011>
28. Koppo, K., Jones, A. M., & Bouckaert, J. (2003). Effect of prior heavy arm and leg exercise on VO<sub>2</sub> kinetics during heavy leg exercise. *European journal of applied physiology*, 88(6), 593–600. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0735-9>
29. Landers, G. J., Blanksby, B. A., & Rackland, T. (2011). Cadence, Stride Rate and Stride Length during Triathlon Competition. *International journal of exercise science*, 4(1), 40–48.
30. Lucia, A., San Juan, A. F., Montilla, M., Cañete, S., Santalla, A., Earnest, C., & Pérez, M. (2004). In professional road cyclists, low pedaling cadences are less efficient. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(6), 1048–1054.

- <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000128249.10305.8a>
31. Millet, G. P., Chollet, D., Chabies, S., & Chatard, J. C. (2002). Coordination in front crawl in elite triathletes and elite swimmers. *International journal of sports medicine*, 23(2), 99–104. <https://doi.org/10.1055/s-2002-20126>
  32. Moher, D., Hopewell, S., Schulz, K. F., Montori, V., Gøtzsche, P. C., Devereaux, P. J., Elbourne, D., Egger, M., & Altman, D. G. (2010). CONSORT 2010 explanation and elaboration: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMJ (Clinical research ed.)*, 340, c869. <https://doi.org/10.1136/bmj.c869>
  33. Morais, J. E., Barbosa, T. M., Nevill, A. M., Cobley, S., & Marinho, D. A. (2022). Understanding the Role of Propulsion in the Prediction of Front-Crawl Swimming Velocity and in the Relationship Between Stroke Frequency and Stroke Length. *Frontiers in physiology*, 13, 876838. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.876838>
  34. Neptune, R. R., & Hull, M. L. (1999). A theoretical analysis of preferred pedaling rate selection in endurance cycling. *Journal of biomechanics*, 32(4), 409–415. [https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(98\)00182-1](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(98)00182-1)
  35. Ofoghi, B., Zeleznikow, J., Macmahon, C., Rehula, J., & Dwyer, D. B. (2016). Performance analysis and prediction in triathlon. *Journal of sports sciences*, 34(7), 607–612. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1065341>
  36. Olaya, J., Fernández-Sáez, J., Østerlie, O., & Ferriz-Valero, A. (2021). Contribution of Segments to Overall Result in Elite Triathletes: Sprint Distance. *International journal of environmental research and public health*, 18(16), 8422. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168422>
  37. Pla, R., Le Meur, Y., Aubry, A., Toussaint, J. F., & Hellard, P. (2019). Effects of a 6-Week Period of Polarized or Threshold Training on Performance and Fatigue in Elite Swimmers. *International journal of sports physiology and performance*, 14(2), 183–189. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0179>
  38. Schulz, K. F., Altman, D. G., Moher, D., & CONSORT Group (2010). CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMJ (Clinical research ed.)*, 340, c332. <https://doi.org/10.1136/bmj.c332>
  39. Seifert, L., Boulesteix, L., Carter, M., & Chollet, D. (2005). The spatial-temporal and coordinative structures in elite male 100-m front crawl swimmers. *International journal of sports medicine*, 26(4), 286–293. <https://doi.org/10.1055/s-2004-821010>
  40. Silveira, R. P., de Souza Castro, F. A., Figueiredo, P., Vilas-Boas, J. P., & Zamparo, P. (2017). The Effects of Leg Kick on Swimming Speed and Arm-Stroke Efficiency in the Front Crawl. *International journal of sports physiology and performance*, 12(6), 728–735. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0232>
  41. Sousa, C. V., Aguiar, S., Olher, R. R., Cunha, R., Nikolaidis, P. T., Villiger, E., Rosemann, T., & Knechtle, B. (2021). What Is the Best Discipline to Predict Overall Triathlon Performance? An Analysis of Sprint, Olympic, Ironman® 70.3, and Ironman® 140.6. *Frontiers in physiology*, 12, 654552. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.654552>
  42. Sortwell A. D. (2011). Relationship between Stroking Parameters and Leg Movement Quantity in 100 Metre Front Crawl. *International journal of exercise science*, 4(1), 22–29.
  43. Stöggel, T. L., & Sperlich, B. (2019). Editorial: Training Intensity, Volume and Recovery Distribution Among Elite and Recreational Endurance Athletes. *Frontiers in physiology*, 10, 592. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00592>
  44. Takaishi, T., Yasuda, Y., Ono, T., & Moritani, T. (1996). Optimal pedaling rate estimated from neuromuscular fatigue for cyclists. *Medicine and science in sports and exercise*, 28(12), 1492–1497. <https://doi.org/10.1097/00005768-199612000-00008>
  45. Termin, B., & Pendergast, D. R. (2000). Training using the stroke frequency-velocity relationship to combine biomechanical and metabolic paradigms. *Journal of Swimming Research*, 14.
  46. Toussaint, H. M., Van den Berg, C., & Beek, W. J. (2002). "Pumped-up propulsion" during front crawl swimming. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(2), 314–319.

- <https://doi.org/10.1097/00005768-200202000-00020>
47. Umberger, B. R., Gerritsen, K. G., & Martin, P. E. (2006). Muscle fiber type effects on energetically optimal cadences in cycling. *Journal of biomechanics*, 39(8), 1472–1479. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2005.03.025>
  48. Vercruyssen, F., & Brisswalter, J. (2010). Which factors determine the freely chosen cadence during submaximal cycling? *Journal of science and medicine in sport*, 13(2), 225–231. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.12.631>
  49. Wakayoshi, K., Yoshida, T., Ikuta, Y., Mutoh, Y., & Miyashita, M. (1993). Adaptations to six months of aerobic swim training. Changes in velocity, stroke rate, stroke length and blood lactate. *International journal of sports medicine*, 14(7), 368–372. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021194>
  50. World Medical Association (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–2194. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>
  51. Zamparo, P., Cortesi, M., & Gatta, G. (2020). The energy cost of swimming and its determinants. *European journal of applied physiology*, 120(1), 41–66. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04270-y>

## 5. DISCUSSIONE GENERALE

Il presente progetto di ricerca ha avuto come obiettivo generale, lo studio della prestazione del moderno atleta *Élite* di resistenza, attraverso un approccio multifattoriale diretto ad agire su diversi aspetti metodologici, con la finalità di migliorare le capacità condizionali e coordinative già altamente sviluppate in questa categoria di atleti, i quali necessitano di interventi specifici (forza, resistenza ed esercitazioni specifiche) per poter accrescere la propria prestazione.

Mentre nei soggetti non agonisti i miglioramenti ottenibili tramite il classico allenamento di resistenza aerobica sono di più facile raggiungimento, gli atleti *élite*, possedendo un alto livello di condizionamento atletico, hanno maggior difficoltà nel modificare i propri parametri e necessitano di stimolazioni specifiche.

La revisione sistematica della letteratura con meta-analisi pubblicata nella rivista scientifica *Applied Sciences* (**Capitolo 2**) ha fornito un'analisi quantitativa circa gli effetti dell'allenamento della forza, attraverso esercitazioni aspecifiche, evidenziando un miglioramento sui i parametri di resistenza quali l'economia del gesto e la prestazione di resistenza (Fig. 2.2 e Fig. 2.3). Tali miglioramenti sono da attribuire primariamente alle componenti della capacità anaerobica (aumento della forza massima valutata tramite il test di forza con una ripetizione massimale - 1RM, e l'aumento della velocità di sviluppo della forza valutata tramite l'Elettromiografia - EMG), piuttosto che a quelle della capacità aerobica (consumo di ossigeno -  $\dot{V}O_2$  e velocità aerobica massima - VAM), quest'ultime generalmente influenzate dal tradizionale allenamento aerobico. Infatti, come già accennato precedentemente, il *Concurrent Training* non influisce direttamente la capacità aerobica, ma agisce indirettamente migliorando la coordinazione intramuscolare e migliorando l'attivazione delle fibre muscolari scheletriche a contrazione rapida, ritardando l'insorgenza della fatica e aumentando le prestazioni aerobiche (Wilson & Marin, 2012).

Bisogna ricordare che gli atleti di resistenza posseggono un'elevata densità mitocondriale, con una maggior percentuale e attivazione delle fibre di tipo I rispetto alle tipo II, mentre gli atleti di potenza/velocità mostrano un'ipertrofia preferenziale delle fibre di tipo II e una bassa densità mitocondriale. Quindi, l'allenamento della forza, grazie all'aumento della proporzione di fibre muscolari di tipo II attivate e conseguentemente all'aumento della massima forza muscolare e della velocità di sviluppo della forza (rate of force development - RFD), porta, oltre che al miglioramento nella funzione neuromuscolare, anche ad una maggiore capacità di resistenza a lungo (>30 minuti) e a breve termine (<15 minuti) (Aagaard & Andersen, 2010). In pratica gli atleti di resistenza grazie agli allenamenti di forza diventano maggiormente efficienti nel gesto della pedalata in bici, nell'appoggio e nella reazione del piede a terra nella corsa e nella spinta delle braccia durante lo sci di fondo (Beattie & Kenny, 2014).

Il periodo necessario perché avvengano degli adattamenti all'allenamento risulta essere maggiore di 4 settimane, con un ordine di esercizio che privilegia le esercitazioni di forza precedenti a quelle di resistenza, utile ad evitare un'interferenza tra gli effetti allenanti. Infatti, per rendere l'allenamento efficace è fondamentale capire come la trasduzione del segnale cellulare risponda alle differenti modalità di allenamento. Ad esempio, l'allenamento simultaneo sia per la resistenza che per la forza potrebbe portare ad un adattamento differente, rispetto all'allenamento delle singole capacità, e tale fenomeno viene chiamato *Interference Effect (IE)* (Wilson & Marin, 2012). Infatti, l'*Interference Effect* che potrebbe presentarsi nell'allenamento della forza a seguito di una precedente stimolazione di resistenza aerobica, potrebbe essere dovuto a un abbassamento dei livelli di glicogeno muscolare, o dalla riduzione del picco di coppia muscolare con conseguente calo dell'input neurale al muscolo, o dall'attivazione di processi molecolari antagonisti che inibiscono il potenziale di adattamento della forza (Eddens & van Someren, 2018; Murlasits & Kneffel, 2018). Questo fenomeno può verificarsi maggiormente negli atleti d'élite, dovuto principalmente agli alti volumi di allenamento sia di forza che di resistenza aerobica che svolgono rispetto agli atleti non agonisti. In aggiunta, a seconda della tipologia di



esercizio svolto, questa possibile interferenza può essere maggiore o minore; infatti, la prestazione di ciclismo rispetto alla corsa subisce in maniera minore gli effetti negativi della sequenza delle stimolazioni (Wilson & Marin, 2012). Ciò è dovuto alle maggiori azioni muscolari eccentriche che avvengono durante la corsa, che possono aumentare il danno muscolare e quindi contribuire a diminuire l'espressione di forza successiva. Quest'effetto dovuto alla tipologia di esercizio è moderato da due proteine muscolari, *la cytoskeletal desmin protein e l'alpha-crystallin B protein*, coinvolte nella protezione dell'integrità della miofibra e la stabilizzazione cellulare. Gli stimoli adattatori indotti da esercizi eccentrici inducono un elevato aumento della fosforilazione dell'*alpha-crystallin B protein*, mentre gli stimoli concentrici stimolano maggiormente la *cytoskeletal desmin protein*. Tuttavia, gli atleti élite, posseggono quantità più elevate dell'*alpha-crystallin B protein* proteggendoli dall'affaticamento muscolare scheletrico post lavoro eccentrico (Parcell & Woolstenhulme, 2009). Inoltre, dal punto di vista metodologico l'esercizio in bicicletta si traduce in un affaticamento locale specifico con esaurimento del substrato energetico degli estensori del ginocchio, mentre l'esercizio di corsa è un tipo di esercizio più generale che coinvolge gruppi muscolari più grandi con un affaticamento generalizzato (Markov & Chaabene, 2022).

Nel triathlon l'allenamento della forza aspecifica si è visto agire in modo differente a seconda della disciplina allenata (ciclismo o corsa). Infatti, la multidisciplinarietà che caratterizza il triathlon rende questo sport maggiormente suscettibile alle modificazioni delle variabili fisiologiche e biomeccaniche determinanti per la prestazione di resistenza.

La revisione della letteratura pubblicata nella rivista scientifica *Sports Medicine-Open* (**Capitolo 3**) ha fornito un'analisi qualitativa delle risposte acute a livello fisiologico e biomeccanico durante la transizione T1 nuoto-ciclismo nel triathlon. È emerso che i fattori determinanti per una prestazione ottimale sono le relazioni che intercorrono tra il consumo di ossigeno e la cadenza del ciclismo, tra l'intensità dello sforzo sostenuto durante il nuoto e l'economia della pedalata e tra la frequenza di bracciata a nuoto e la concentrazione di lattato nel sangue.

L'esecuzione della prestazione di nuoto può influenzare la successiva prestazione ciclistica, dovuto ad una variazione nel consumo di ossigeno e conseguentemente nella cadenza ciclistica espressa. Inoltre, con cadenze ciclistiche eccessivamente elevate (>120 RPM) il consumo di ossigeno diventa metabolicamente inefficiente e non sostenibile rispetto ad una cadenza di pedalata più bassa (>60 e <90 RPM) (Mitchell & Boyle, 2019), portando ad un consumo energetico maggiore e ad una pedalata inefficiente con espressioni di potenza inferiori (Stebbins & Moore, 2014).

Nella disciplina del ciclismo, si è visto che gli atleti utilizzano cadenze elevate (80-90 RPM) al di sopra della cadenza in cui il consumo di ossigeno è minimo (55-65 RPM), evidenziando che la cadenza scelta si ricollega maggiormente alla risposta neuromuscolare e biomeccanica piuttosto che a quella metabolica. Tuttavia, bisogna ricordare che la cadenza di pedalata è molto soggettiva e relativa al livello di atletismo posseduto, infatti la pedala del ciclista, rispetto al triatleta, è più economica con cadenze di pedalata più elevate (MacIntosh & Neptune, 2000; Vercruyssen & Brisswalter, 2010). In aggiunta, nel triathlon la selezione della cadenza può essere differente dovuto alla sua multidisciplinarietà (nuoto-ciclismo-corsa), adattando la cadenza ciclistica a seconda del momento del segmento (inizio o fine), o del percorso di gara (più o meno curve) (Vercruyssen & Brisswalter, 2010).

Le modificazioni a cui si assiste al livello del consumo di ossigeno durante l'esercizio ad alta intensità (sia a nuoto che durante il ciclismo) possono essere associate al cambiamento nel reclutamento delle unità motorie e delle relative fibre muscolari. Al progredire dell'esercizio o all'aumentare della velocità di movimento, si assiste ad un maggior reclutamento delle fibre di tipo II, rispetto alle fibre di tipo I, che, se non correttamente allenate tramite esercitazioni di forza aspecifica (come evidenziato dai risultati della meta-analisi del progetto di ricerca; Cap. 2), determinano un maggiore costo energetico, accumulo di metaboliti e ridotti tempi di efficacia.

Inoltre, l'effetto sull'aumento del consumo di ossigeno, dovuto al maggior reclutamento di fibre di tipo II, potrebbe essere migliorato grazie alla manipolazione della frequenza della pedalata durante il segmento ciclistico o della bracciata durante il nuoto (Brisswalter & Hauswirth, 2000). Durante la prestazione ciclistica ad alta intensità, un non ottimale utilizzo del rapporto meccanico potrebbe portare ad esprimere basse cadenze di pedalata (<50 RPM) con un alto impegno muscolare, oppure alte (>100 RPM) con elevata rapidità di movimento, in entrambi i casi si avrà un reclutamento preferenziale delle fibre di tipo II e un aumento nel consumo di ossigeno. Infatti, si è visto essere preferibile utilizzare valori di pedalata prossimi alle 90 RPM, riconosciuti come cadenza energetica ottimale, dovuta ad una diminuzione dello stress muscolare ed un reclutamento preferenziale di fibre di tipo I, portando così ad aumentare la resistenza e l'efficienza della pedalata (Brisswalter & Hauswirth, 2000; Verecruyssen & Brisswalter, 2010). Similmente, una bracciata non efficace (cioè con un maggiore numero di cicli e una minore lunghezza) porterà ad un aumento del consumo di ossigeno dovuto ad una minor economia di movimento (Franken & Figueiredo, 2022). L'aumento della frequenza di bracciata, a causa dell'aumento dell'intensità di esercizio, dell'affaticamento e alla diminuzione della tecnica espressa, comporta un aumento nel reclutamento delle fibre di tipo II necessarie a soddisfare l'elevata richiesta di ATP (Adenosina Tri-Fosfato), aumentando così il coinvolgimento del metabolismo anaerobico e di conseguenza la produzione di lattato nel sangue (Barbosa & Fernandes, 2008; Brancaccio & Lippi, 2010).

Dunque, le interconnessioni esistenti tra i cambiamenti nei parametri fisiologici e biomeccanici che avvengono durante una prestazione in una specifica disciplina, fanno emergere ancor di più, rispetto alla singola disciplina, come nell'allenamento del triathlon, il concetto di *cross-training* attui questa interconnessione tra le discipline che lo compongono. Diventa però necessario capire come la segnalazione a livello cellulare risponda alle differenti modalità di stimolazione e si possa trasferire da una disciplina all'altra. Il concetto di flessibilità metabolica si pone alla base dell'adattamento all'allenamento e riguarda i meccanismi relativi le

modificazioni delle vie metaboliche (mediata dalla sintesi, degradazione o regolazione dell'attività di proteine o enzimi chiave) che gestiscono il rilevamento, l'assorbimento, il trasporto, lo stoccaggio e l'utilizzo dei nutrienti (Baker & McCormick, 2010). Inoltre, la plasticità nell'adattamento allo stimolo allenante è specifica per modalità di esercizio, per tempo e risposta soggettiva. Ad esempio, la massima risposta nei geni metabolici e in quelli miogenici (tessuto muscolare) si ha in 4-8 h dopo un esercizio, invece l'*mRNA* (cioè il messaggero biologico che traduce gli stimoli dell'esercizio in adattamenti anatomici, biochimici e fisiologici), ritorna ai livelli pre-esercizio entro le 24 ore dallo stimolo (Etxebarria & Mujika, 2019).

I concetti di interconnessione tra i cambiamenti nei parametri fisiologici e biomeccanici e di cross training, ampiamente sintetizzati attraverso le due revisioni della letteratura, hanno permesso di ideare la ricerca sperimentale circa l'effetto di uno specifico programma di allenamento (**Capitolo 4**) da cui ne è nato un articolo sottomesso per la pubblicazione alla rivista scientifica *The Journal of Strength and Conditioning Research*. Dallo studio condotto è emerso che l'allenamento della gambata a nuoto può essere un valido approccio nell'allenamento del triathlon per indurre il cross training e migliorare i parametri tecnico-condizionali della singola disciplina e della prestazione complessiva del triathlon. Infatti, dallo studio è emerso che a seguito del protocollo di intervento, il maggior coinvolgimento della gambata nel nuoto ha portato ad un miglioramento nella bracciata che a sua volta ha determinato la variazione dei parametri fisiologici e biomeccanici registrati durante il ciclismo, quali frequenza cardiaca, consumo di ossigeno, spesa energetica e cadenza di pedalata. Questa variazione è risultata maggiore nel gruppo ad alta frequenza di gambata rispetto agli altri gruppi di intervento che hanno utilizzato frequenze minori. Lo studio del potenziale effetto del maggiore coinvolgimento della gambata nel nuoto sulla successiva prestazione di ciclismo rappresenta un nuovo campo di ricerca e segue il rationale scientifico del *priming exercise*, dove un esercizio ad alta intensità che precede un altro esercizio ad intensità massimale, porta a miglioramenti nella prestazione (Burnley & Davidson, 2011; Brock & Antonellis, 2018). Infatti, questa sequenza di stimoli influisce sia

sulla componente biomeccanica che fisiologica della prestazione, migliorando la potenza espressa durante l'esercizio, dovuto ad un aumentata capacità aerobica, con una riduzione dell'ampiezza e nella pendenza della salita della componente lenta del  $\dot{V}O_2$ , e un aumento del volume medio e di picco del  $\dot{V}O_2$  durante il secondo esercizio (Burnley & Davidson, 2011). Inoltre, l'esercizio anticipatorio ad alta intensità porterebbe ad un aumento del contributo ossidativo (soprattutto nella fase iniziale) e ridurrebbe la dipendenza dal metabolismo del substrato anaerobico (cioè con un minore decremento nella concentrazione di Fosfocreatina - PCr). Il minor coinvolgimento del metabolismo anaerobico è confermato dalle ridotte concentrazioni di lattato nel sangue pur riscontrando un miglioramento della prestazione fisica. I possibili meccanismi che spiegano questo fenomeno potrebbero essere i cambiamenti nella risposta ormonale (in particolare Epinefrina e Glucagone) che avvengono a seguito di questa sequenza di svolgimento di esercizi e, come ipotizzato nella nostra ricerca, dalla realizzazione del potenziamento post-attivazione (PAP) (Ktenidis & Margaritelis, 2021).

Questa nuovo approccio nell'allenamento del triathlon, ipotizzato e testato per la prima volta dallo studio di intervento, potrebbe suggerire anche una nuova modalità di valutazione. Già da tempo, è di uso comune tra gli atleti e gli allenatori, il monitoraggio dei valori fisiologici e biomeccanici della prestazione sportiva, tramite soluzioni automatiche, low cost ed ergonomiche, impostando e adattando i loro allenamenti in base ai dati ricavati dalle strumentazioni di monitoraggio, in modo da ottimizzare le singole sessioni di allenamento e la prestazione durante la gara. La valutazione e il monitoraggio della gambata nel nuoto dal punto di vista biomeccanico è una nuova frontiera dell'analisi della prestazione dell'atleta, che, grazie all'utilizzo di dispositivi indossabili come lo *sportwatch* e alla creazione di algoritmi specifici, è possibile perseguire oggettivamente e con la possibilità di implicazioni pratiche più veloci ed efficaci, piuttosto che valutazioni soggettive o con strumentazioni invasive e complesse.

Malgrado non sia stato presentato in questo elaborato, il progetto di ricerca ha avuto anche l'obiettivo di testare la validità dello sportwatch nel misurare la gambata nel nuoto. Uno studio

condotto in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria e Architettura dell'Università degli Studi di Parma e già pubblicato su *Applied Sciences* ha dimostrato che l'accelerometro triassiale presente all'interno dello sportwatch (Garmin® Forerunner 735XT), indossato nella caviglia dell'atleta, raggiunge una accuratezza del 97,5% e una precisione del 99,3%. Questi risultati hanno dimostrato una elevata affidabilità e precisione del dispositivo nel conteggio della gamba, di più facile utilizzo rispetto ad altri metodi, tipo la ripresa video subacquea (Bianchi & Ambrosini, 2022).

## **6. LINEE FUTURE DI RICERCA**

L'allenamento multifattoriale dell'atleta élite è stato analizzato sotto diversi aspetti, quali la forza, i parametri fisiologici e biomeccanici e le esercitazioni specifiche determinanti per il miglioramento della prestazione. Tuttavia, il presente progetto di ricerca ha lasciato ulteriori domande di ricerca da esplorare e che possono dirigere le future ricerche.

Innanzitutto, l'allenamento della forza aspecifica necessita di un ampliamento; infatti, si dovrebbe valutare, tramite ricerche sperimentali, la tipologia di stimolazione della forza che non è stata utilizzata nelle discipline della meta-analisi, efficace nel migliorare la prestazione di resistenza. Nello specifico, negli atleti élite si dovrebbe indagare l'effetto dell'utilizzo di esercitazioni pliometriche ed esplosive nel ciclismo e nello sci di fondo. Inoltre, nel triatleta si dovrebbe valutare quale tipologia di forza (pliometrica, esplosiva, massima) abbia maggiore effetto a seconda della disciplina del triathlon allenata (nuoto, ciclismo e corsa).

Successivamente, per quanto riguarda la ricerca sperimentale sulle gambate utilizzate durante il segmento di nuoto nel triathlon, l'ampliamento dovrebbe riguardare la durata temporale del protocollo, con un bacino di soggetti allargato così da poter differenziare l'effetto a seconda del genere e valutare se un periodo maggiore possa portare a modificazioni più marcate.

Inoltre, l'utilizzo della muta e della nuotata in scia con una valutazione sulla variazione nel numero di gambate a nuoto risulta un campo inesplorato e potrebbe far emergere sostanziali differenze nell'utilizzo di queste due modalità per il miglioramento della prestazione nell'atleta élite.

## 7. CONCLUSIONE

Il presente progetto di ricerca ha lo scopo di valutare l'effetto dell'allenamento multifattoriale nell'atleta élite di triathlon. Dagli studi presi in analisi è emerso che l'allenamento multifattoriale porta al miglioramento della prestazione di resistenza grazie ai piccoli cambiamenti raggiunti nei parametri fisiologici e biomeccanici degli atleti; tuttavia, tali miglioramenti risultano più difficili da ottenere in questi soggetti rispetto agli atleti non agonisti, dovuto all'elevato livello di condizionamento atletico, molto vicino al massimo potenziale esprimibile, che l'atleta élite possiede. L'utilizzo di stimolazioni aspecifiche della forza, l'individuazione dei parametri specifici influenti sull'espressione di resistenza e l'utilizzo di un protocollo di allenamento mirato al miglioramento di parametri specifici, come la gambata e la bracciata a nuoto o la cadenza ciclistica, possono innalzare ulteriormente il livello prestativo di questi atleti.

Dai risultati analizzati nella meta-analisi è emerso che la forza massima deve essere utilizzata nei triatleti per il miglioramento della prestazione di ciclismo e di corsa, mentre per il corridore *puro* è migliore l'allenamento pliometrico.

L'analisi dei parametri fisiologici e biomeccanici nel triatleta durante la transizione nuoto-ciclismo ha messo in evidenza che l'allenamento di nuoto dovrebbe utilizzare un'intensità ~90% del massimale con una distribuzione positiva (dal 100% al 80%) controllando i livelli di lattato, utilizzando una frequenza di gambata e lunghezza di bracciata aumentata. Durante l'allenamento ciclistico è consigliato l'utilizzo di una cadenza di pedalata variabile, di ~80 RPM nell'allenamento della transizione nuoto-ciclismo e di ~90 RPM per la transizione ciclismo-corsa, in modo da stimolare differenzialmente la componente ciclistica a seconda che venga allenata per la sola prima transizione oppure per la prestazione totale.

Inoltre, la manipolazione delle componenti biomeccaniche del nuoto con un aumento della frequenza di gambata, circa 6 ogni ciclo di bracciata, con la ricerca della maggior lunghezza di bracciata, porta ad un miglioramento nell'economia della nuotata, in aggiunta, dovrebbe essere



inserito settimanalmente l'allenamento per la transizione nuoto-ciclismo con una particolare attenzione sulla cadenza ciclistica a seguito dell'alto numero di gambate utilizzate a nuoto.

In conclusione, l'allenamento del triatleta richiede una stimolazione multifattoriale determinante per le prestazioni di resistenza. Pertanto, l'allenamento dovrebbe essere mirato a i) migliorare la forza non specifica, ii) monitorare i parametri fisiologici e biomeccanici durante la transizione e iii) introdurre esercizi tecnico-condizionali specifici, come il numero di gambate utilizzate durante il segmento di nuoto.

## BIBLIOGRAFIA GENERALE

1. Aagaard, P., & Andersen, J. L. (2010). Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20 Suppl 2, 39–47. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01197.x>
2. Aagaard, P., Andersen, J. L., Bennekou, M., Larsson, B., Olesen, J. L., Cramer, R., Magnusson, S. P., & Kjaer, M. (2011). Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(6), e298–e307. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01283.x>
3. Ambrosini, L., Presta, V., Galli, D., Mirandola, P., Vitale, M., Gobbi, G., & Condello, G. (2022). Interlink Between Physiological and Biomechanical Changes in the Swim-to-Cycle Transition in Triathlon Events: A Narrative Review. *Sports medicine - open*, 8(1), 129. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00521-z>
4. Ambrosini, L., Presta, V., Goldoni, M., Galli, D., Mirandola, P., Vitale, M., Gobbi, G. (2021). Are we able to match non sport-specific strength training with endurance sports? A systematic review and meta-analysis to plan the best training programs for endurance athletes. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11 (16). <https://doi.org/10.3390/app11167280>
5. Ament, W., & Verkerke, G. J. (2009). Exercise and fatigue. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 39(5), 389–422. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939050-00005>
6. Anderson T. (1996). Biomechanics and running economy. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 22(2), 76–89. <https://doi.org/10.2165/00007256-199622020-00003>
7. Baechle, T. R. & Earle R. W. (2008). Essentials of strength training and conditioning/National Strength and Conditioning Association. 3<sup>rd</sup> edition – Perugia: Calzetti & Mariucci Editori.
8. Balshaw, T. G., Massey, G. J., Maden-Wilkinson, T. M., Tillin, N. A., & Folland, J. P. (2016). Training-specific functional, neural, and hypertrophic adaptations to explosive- vs. sustained-contraction strength training. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 120(11), 1364–1373. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00091.2016>
9. Baker, J. S., McCormick, M. C., & Robergs, R. A. (2010). Interaction among Skeletal Muscle Metabolic Energy Systems during Intense Exercise. *Journal of nutrition and metabolism*, 2010, 905612. <https://doi.org/10.1155/2010/905612>
10. Barbosa, T. M., Fernandes, R. J., Keskinen, K. L., & Vilas-Boas, J. P. (2008). The influence of stroke mechanics into energy cost of elite swimmers. *European journal of applied physiology*, 103(2), 139–149. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0676-z>
11. Barragán, R., González-Ravé, J., González-Mohino, F., Yustres, I., & Juárez Santos-García, D. (2020). Efectos de la intensidad de nado en el rendimiento del triatlón. *Revista Internacional De Medicina Y Ciencias De La Actividad Física Y Del Deporte*, 20(80), 529–538. <https://doi.org/10.15366/rimcafd2020.80.004>
12. Barnes, K. R., Hopkins, W. G., McGuigan, M. R., & Kilding, A. E. (2013). Effects of different uphill interval-training programs on running economy and performance. *International journal of sports physiology and performance*, 8(6), 639–647. <https://doi.org/10.1123/ijspp.8.6.639>
13. Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Strategies to improve running economy. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(1), 37–56. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0246-y>
14. Bassett, D. R., Jr, & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(1), 70–84. <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>
15. Bastiaans, J. J., van Diemen, A. B., Veneberg, T., & Jeukendrup, A. E. (2001). The effects of replacing a portion of endurance training by explosive strength training on performance in trained cyclists. *European journal of applied*

- physiology*, 86(1), 79–84.  
<https://doi.org/10.1007/s004210100507>
16. Bazyler, C.D., Abbott, H.A., Bellon, C.R., Taber, C.B., & Stone, M.H. (2015). Strength Training for Endurance Athletes: Theory to Practice. *Strength and Conditioning Journal*, 37, 1–12.
  17. Beattie, K., Kenny, I. C., Lyons, M., & Carson, B. P. (2014). The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(6), 845–865.  
<https://doi.org/10.1007/s40279-014-0157-y>
  18. Bellotti, P; Matteucci, E. (1999). Allenamento Sportivo, teoria, metodologia e pratica. Torino: UTET
  19. Bentley, D. J., Vleck, V. E. (2004). Pacing Strategy and Performance in Elite World Cup Triathlon. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(5), 122
  20. Bentley, D. J., Libicz, S., Jougla, A., Coste, O., Manetta, J., Chamari, K., & Millet, G. P. (2007). The effects of exercise intensity or drafting during swimming on subsequent cycling performance in triathletes. *Journal of science and medicine in sport*, 10(4), 234–243.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.05.004>
  21. Bernard, T., Hausswirth, C., Le Meur, Y., Bignet, F., Dorel, S., & Brisswalter, J. (2009). Distribution of power output during the cycling stage of a Triathlon World Cup. *Medicine and science in sports and exercise*, 41(6), 1296–1302.  
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318195a233>
  22. Berryman, N., Maurel, D. B., & Bosquet, L. (2010). Effect of plyometric vs. dynamic weight training on the energy cost of running. *Journal of strength and conditioning research*, 24(7), 1818–1825.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181def1f5>
  23. Berryman, N., Mujika, I., Arvisais, D., Roubeix, M., Binet, C., & Bosquet, L. (2018). Strength Training for Middle- and Long-Distance Performance: A Meta-Analysis. *International journal of sports physiology and performance*, 13(1), 57–63.  
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0032>
  24. Bertucelli C., Bottoni A., Miglio M., Tamburri R. (2014). Triathlon, aspetti metodologici e orientamenti per il tecnico e per l'atleta. Perugia: Calzetti-Mariucci Editore
  25. Bertuzzi, R., Silva-Cavalcante, M. D., Couto, P. G., Azevedo, R. A., Coelho, D. B., Zagatto, A., Lima-Silva, A. E., & Millet, G. Y. (2021). Prior Upper Body Exercise Impairs 4-km Cycling Time-Trial Performance Without Altering Neuromuscular Function. *Research quarterly for exercise and sport*, 92(1), 52–62.  
<https://doi.org/10.1080/02701367.2019.1708844>
  26. Bianchi, V., Ambrosini, L., Presta, V., Gobbi, G., De Munari, I. (2022). Prediction of Kick Count in Triathletes during Freestyle Swimming Session Using Inertial Sensor Technology. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12 (13), art. no. 6313  
<https://doi.org/10.3390/app12136313>
  27. Bishop, D., Jenkins, D. G., Mackinnon, L. T., McEniery, M., & Carey, M. F. (1999). The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(6), 886–891.  
<https://doi.org/10.1097/00005768-199906000-00018>
  28. Bohnert, B., Ward, S. A., & Whipp, B. J. (1998). Effects of prior arm exercise on pulmonary gas exchange kinetics during high-intensity leg exercise in humans. *Experimental physiology*, 83(4), 557–570.  
<https://doi.org/10.1113/expphysiol.1998.sp004138>
  29. Bonacci, J., Green, D., Saunders, P. U., Franettovich, M., Blanch, P., & Vicenzino, B. (2011). Plyometric training as an intervention to correct altered neuromotor control during running after cycling in triathletes: a preliminary randomised controlled trial. *Physical therapy in sport: official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 12(1), 15–21.  
<https://doi.org/10.1016/j.pts.2010.10.005>
  30. Borg, G., & Dahlstrom, H. (1962). A pilot study of perceived exertion and physical working capacity. *Acta Societatis Medicorum Upsaliensis*, 67, 21–27.
  31. Boullousa, D., Del Rosso, S., Behm, D. G., & Foster, C. (2018). Post-activation potentiation (PAP) in endurance sports: A review. *European journal of sport science*, 18(5), 595–610.

- <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1438519>
32. Brancaccio, P., Lippi, G., & Maffulli, N. (2010). Biochemical markers of muscular damage. *Clinical chemistry and laboratory medicine*, 48(6), 757–767. <https://doi.org/10.1515/CCLM.2010.179>
  33. Brisswalter, J., Hausswirth, C., Smith, D., Ver-cruyssen, F., & Vallier, J. M. (2000). Energetically optimal cadence vs. freely-chosen cadence during cycling: effect of exercise duration. *International journal of sports medicine*, 21(1), 60–64. <https://doi.org/10.1055/s-2000-8857>
  34. Brisswalter, J., & Hausswirth, C. (2008). Consequences of drafting on human locomotion: benefits on sports performance. *International journal of sports physiology and performance*, 3(1), 3–15. <https://doi.org/10.1123/ijsp.3.1.3>
  35. Brock, K., Antonellis, P., Black, M. I., Di-Menna, F. J., Vanhatalo, A., Jones, A. M., & Bailey, S. J. (2018). Improvement of Oxygen-Uptake Kinetics and Cycling Performance With Combined Prior Exercise and Fast Start. *International journal of sports physiology and performance*, 13(3), 305–312. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0557>
  36. Brooks G. A. (2018). The Science and Translation of Lactate Shuttle Theory. *Cell metabolism*, 27(4), 757–785. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2018.03.008>
  37. Brunetti, G. (2010). *Allenare l'atleta, manuale di metodologia dell'allenamento sportivo*. Roma: Coni Servizi S.p.A. – Scuola dello Sport
  38. Burnie, L., Barratt, P., Davids, K., Stone, J., Worsfold, P., & Wheat, J. (2018). Coaches' philosophies on the transfer of strength training to elite sports performance. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 13(5), 729–736. <https://doi.org/10.1177/1747954117747131>
  39. Burnley, M., Davison, G., & Baker, J. R. (2011). Effects of priming exercise on VO<sub>2</sub> kinetics and the power-duration relationship. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(11), 2171–2179. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821ff26d>
  40. Cala, A.; Cejuela, R.; Veiga, S.; Garcia, A.; Navarro, E.; Perez Turpin, J.A. Biomechanical Analysis of The Running Part at Competition Triathlon World Cup. Differences Between Men and Women. In Proceedings of the 1st Joint International Pre-Olympic Conference of Sports Science and Sports Engineering, Nanjing, China, 4–7 August 2008; pp. 29–34.
  41. Cejuela Anta, R., Pérez Turpin, J., Villa Vicente, J., Cortell Tormo, J., & Rodríguez Marroyo, J. (2008). An analysis of performance factors in sprint distance triathlon. *Journal of Human Sport and Exercise*, 2(2), 1–25. <https://doi.org/10.4100/jhse.2007.22.01>
  42. Cejuela, R., Cala, A., Pérez-Turpin, J. A., Villa, J. G., Cortell, J. M., & Chinchilla, J. J. (2013). Temporal activity in particular segments and transitions in the olympic triathlon. *Journal of human kinetics*, 36, 87–95. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0009>
  43. Cejuela, R., & Sellés-Pérez, S. (2022). Road to Tokyo 2020 Olympic Games: Training Characteristics of a World Class Male Triathlete. *Frontiers in physiology*, 13, 835705. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.835705>
  44. Chatard, J. C., Senegas, X., Selles, M., Dreanot, P., & Geysant, A. (1995). Wet suit effect: a comparison between competitive swimmers and triathletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(4), 580–586.
  45. Chatard, J. C., Chollet, D., & Millet, G. (1998). Performance and drag during drafting swimming in highly trained triathletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(8), 1276–1280. <https://doi.org/10.1097/00005768-199808000-00015>
  46. Cheng, A., Kessler, D., Mackinnon, R., Chang, T. P., Nadkarni, V. M., Hunt, E. A., Duval-Arnould, J., Lin, Y., Cook, D. A., Pusic, M., Hui, J., Moher, D., Egger, M., Auerbach, M., & International Network for Simulation-based Pediatric Innovation, Research, and Education (INSPIRE) Reporting Guidelines Investigators (2016). Reporting guidelines for health care simulation research: extensions to the CONSORT and STROBE statements. *Advances in simulation (London, England)*, 1, 25. <https://doi.org/10.1186/s41077-016-0025-y>
  47. Chollet, D., Chaliés, S., & Chatard, J. C. (2000). A new index of coordination for the crawl: description and

- usefulness. *International journal of sports medicine*, 21(1), 54–59. <https://doi.org/10.1055/s-2000-8855>
48. Chollet, D., Hue, O., Auclair, F., Millet, G., & Chatard, J. C. (2000). The effects of drafting on stroking variations during swimming in elite male triathletes. *European journal of applied physiology*, 82(5-6), 413–417. <https://doi.org/10.1007/s004210000233>
  49. Cohen J. (1992). A power primer. *Psychological bulletin*, 112(1), 155–159. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.112.1.155>
  50. Coyle, E. F., & González-Alonso, J. (2001). Cardiovascular drift during prolonged exercise: new perspectives. *Exercise and sport sciences reviews*, 29(2), 88–92. <https://doi.org/10.1097/00003677-200104000-00009>
  51. Costill, D. L., Kovaleski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R., & King, D. (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *International journal of sports medicine*, 6(5), 266–270. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025849>
  52. Craig, A. B., Jr, Skehan, P. L., Pawelczyk, J. A., & Boomer, W. L. (1985). Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine and science in sports and exercise*, 17(6), 625–634. <https://doi.org/10.1249/00005768-198512000-00001>
  53. Cuba-Dorado, A., Álvarez-Yates, T., & García-García, O. (2022). Elite Triathlete Profiles in Draft-Legal Triathlons as a Basis for Talent Identification. *International journal of environmental research and public health*, 19(2), 881. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020881>
  54. Cumming, G., & Finch, S. (2001). A Primer on the Understanding, Use, and Calculation of Confidence Intervals that are Based on Central and Noncentral Distributions. *Educational and Psychological Measurement*, 61(4), 532–574. <https://doi.org/10.1177/0013164401614002>
  55. Cunanan, A. J., DeWeese, B. H., Wagle, J. P., Carroll, K. M., Sausaman, R., Hornsby, W. G., 3rd, Haff, G. G., Triplett, N. T., Pierce, K. C., & Stone, M. H. (2018). The General Adaptation Syndrome: A Foundation for the Concept of Periodization. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(4), 787–797. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0855-3>
  56. Damasceno, M. V., Lima-Silva, A. E., Pasqua, L. A., Tricoli, V., Duarte, M., Bishop, D. J., & Bertuzzi, R. (2015). Effects of resistance training on neuromuscular characteristics and pacing during 10-km running time trial. *European journal of applied physiology*, 115(7), 1513–1522. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3130-z>
  57. Damasceno, M., Pasqua, L., Gáspari, A., Araujo, G., de-Oliveira, F., Lima-Silva, A., Bertuzzi, R. (2018). Effects of strength training on bioenergetics parameters determined at velocity corresponding to maximal oxygen uptake in endurance runners. *Science & Sports*, 33, e263–e270. <https://doi.org/10.1016/j.sci-spo.2018.04.004>
  58. Delextrat, A., Tricot, V., Bernard, T., Vercruyssen, F., Hausswirth, C., & Brisswalter, J. (2003). Drafting during swimming improves efficiency during subsequent cycling. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(9), 1612–1619. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000084422.49491.2C>
  59. Delextrat, A., Bernard, T., Hausswirth, C., Vercruyssen, F., & Brisswalter, J. (2003a). Port de combinaison et dépense énergétique lors d'un enchaînement natation-cyclisme [Effects of swimming with a wet suit on energy expenditure during subsequent cycling]. *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquée*, 28(3), 356–369. <https://doi.org/10.1139/h03-026>
  60. Delextrat A, Bernard T, Vercruyssen F, Hausswirth C, Brisswalter J. (2003b). Influence of swimming characteristics on performance during a swim-to-cycle transition. *Science & Sports*. 18:188-95. doi:10.1016/S0765-1597(03)00147-3
  61. Delextrat, A., Brisswalter, J., Hausswirth, C., Bernard, T., & Vallier, J. M. (2005). Does prior 1500-m swimming affect cycling energy expenditure in well-trained triathletes? *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquée*, 30(4), 392–403. <https://doi.org/10.1139/h05-129>
  62. Delextrat, A., Tricot, V., Bernard, T., Vercruyssen, F., Hausswirth, C., & Brisswalter, J. (2005). Modification of cycling biomechanics

- during a swim-to-cycle trial. *Journal of applied biomechanics*, 21(3), 297–308. <https://doi.org/10.1123/jab.21.3.297>
63. Denadai, B. S., de Aguiar, R. A., de Lima, L. C., Greco, C. C., & Caputo, F. (2017). Explosive Training and Heavy Weight Training are Effective for Improving Running Economy in Endurance Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(3), 545–554. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0604-z>
  64. Doma, K., Deakin, G. B., Schumann, M., & Bentley, D. J. (2019). Training Considerations for Optimising Endurance Development: An Alternate Concurrent Training Perspective. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(5), 669–682. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01072-2>
  65. Earle R. W. & Baechle, T. R. (2004). *NCSA's Essentials of Personal Training by National Strength and Conditioning Association*. 3<sup>rd</sup> edition – Perugia: Calzetti & Mariucci Editori.
  66. Eddens, L., van Someren, K., & Howatson, G. (2018). The Role of Intra-Session Exercise Sequence in the Interference Effect: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(1), 177–188. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0784-1>
  67. Ettema, G., & Lorås, H. W. (2009). Efficiency in cycling: a review. *European journal of applied physiology*, 106(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1008-7>
  68. Etxebarria, N., D'Auria, S., Anson, J. M., Pyne, D. B., & Ferguson, R. A. (2014). Variability in power output during cycling in international Olympic-distance triathlon. *International journal of sports physiology and performance*, 9(4), 732–734. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0303>
  69. Etxebarria, N., Mujika, I., & Pyne, D. B. (2019). Training and Competition Readiness in Triathlon. *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(5), 101. <https://doi.org/10.3390/sports7050101>
  70. Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 39(6), 469–490. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939060-00003>
  71. Figueiredo, P., Marques, E. A., & Lepers, R. (2016). Changes in Contributions of Swimming, Cycling, and Running Performances on Overall Triathlon Performance Over a 26-Year Period. *Journal of strength and conditioning research*, 30(9), 2406–2415. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000001335>
  72. Franken, M., Figueiredo, P., Correia, R. A., Feitosa, W. G., Lazzari, C. D., Diefenthaler, F., & Castro, F. S. (2022). Manipulation of Stroke Rate in Swimming: Effects on Oxygen Uptake Kinetics. *International journal of sports medicine*. <https://doi.org/10.1055/a-1930-5462>
  73. Gadelha, A. B., Sousa, C. V., Sales, M. M., Dos Santos Rosa, T., Flothmann, M., Barbosa, L. P., da Silva Aguiar, S., Olher, R. R., Viliger, E., Nikolaidis, P. T., Rosemann, T., Hill, L., & Knechtle, B. (2020). Cut-Off Values in the Prediction of Success in Olympic Distance Triathlon. *International journal of environmental research and public health*, 17(24), 9491. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249491>
  74. Gatta, G., Cortesi, M., & Di Michele, R. (2012). Power production of the lower limbs in flutter-kick swimming. *Sports biomechanics*, 11(4), 480–491. <https://doi.org/10.1080/14763141.2012.670663>
  75. Garcia-Tabar, I., & Gorostiaga, E. M. (2018). A "Blood Relationship" Between the Overlooked Minimum Lactate Equivalent and Maximal Lactate Steady State in Trained Runners. Back to the Old Days? *Frontiers in physiology*, 9, 1034. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01034>
  76. Gejl, K. D., Ørtenblad, N., Andersson, E., Plomgaard, P., Holmberg, H. C., & Nielsen, J. (2017). Local depletion of glycogen with supramaximal exercise in human skeletal muscle fibres. *The Journal of physiology*, 595(9), 2809–2821. <https://doi.org/10.1113/JP273109>
  77. Gerbino, A., Ward, S. A., & Whipp, B. J. (1996). Effects of prior exercise on pulmonary gas-exchange kinetics during high-intensity exercise in humans. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 80(1), 99–107. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.80.1.99>
  78. Giovanelli, N., Taboga, P., Rejc, E., & Lazzar, S. (2017). Effects of strength, explosive and plyometric training on energy cost of running in ultra-endurance athletes. *European journal*

- of sport science*, 17(7), 805–813.  
<https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1305454>
- 79.ourgoulis, V., Boli, A., Aggeloussis, N., Toubekis, A., Antoniou, P., Kasimatis, P., Vezos, N., Michalopoulou, M., Kambas, A., & Mavromatis, G. (2014). The effect of leg kick on sprint front crawl swimming. *Journal of sports sciences*, 32(3), 278–289.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2013.823224>
  80. Guglielmo, L. G., Greco, C. C., & Denadai, B. S. (2009). Effects of strength training on running economy. *International journal of sports medicine*, 30(1), 27–32.  
<https://doi.org/10.1055/s-2008-1038792>
  81. Guidetti, L., Meucci, M., Bolletta, F., Emerenziani, G. P., Gallotta, M. C., & Baldari, C. (2018). Validity, reliability and minimum detectable change of COSMED K5 portable gas exchange system in breath-by-breath mode. *PloS one*, 13(12), e0209925.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209925>
  82. González-Haro, C., González-de-Suso, J. M., Padullés, J. M., Drobnič, F., & Escanero, J. F. (2005). Physiological adaptation during short distance triathlon swimming and cycling sectors simulation. *Physiology & behavior*, 86(4), 467–474.  
<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2005.08.029>
  83. Haddad, M., Stylianides, G., Djaoui, L., Delal, A., & Chamari, K. (2017). Session-RPE Method for Training Load Monitoring: Validity, Ecological Usefulness, and Influencing Factors. *Frontiers in neuroscience*, 11, 612.  
<https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00612>
  84. Hansen, E. A., Rønnestad, B. R., Vegge, G., & Raastad, T. (2012). Cyclists' improvement of pedaling efficacy and performance after heavy strength training. *International journal of sports physiology and performance*, 7(4), 313–321.  
<https://doi.org/10.1123/ijspp.7.4.313>
  85. Hausswirth, C., Lehénaff, D., Dréano, P., & Savonen, K. (1999). Effects of cycling alone or in a sheltered position on subsequent running performance during a triathlon. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(4), 599–604.  
<https://doi.org/10.1097/00005768-199904000-00018>
  86. Hausswirth, C., Argentin, S., Bieuzen, F., Le Meur, Y., Couturier, A., & Brisswalter, J. (2010). Endurance and strength training effects on physiological and muscular parameters during prolonged cycling. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 20(2), 330–339.  
<https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2009.04.008>
  87. Hermosilla, F., González-Rave, J. M., Del Castillo, J. A., & Pyne, D. B. (2021). Periodization and Programming for Individual 400 m Medley Swimmers. *International journal of environmental research and public health*, 18(12), 6474.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph18126474>
  88. Hickson, R. C., Dvorak, B. A., Gorostiaga, E. M., Kurowski, T. T., & Foster, C. (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 65(5), 2285–2290.  
<https://doi.org/10.1152/jappl.1988.65.5.2285>
  89. Hoff, J., Helgerud, J., & Wisløff, U. (1999). Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(6), 870–877.  
<https://doi.org/10.1097/00005768-199906000-00016>
  90. Hoff, J., Gran, A., & Helgerud, J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 12(5), 288–295.  
<https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2002.01140.x>
  91. Hoppeler H. (2018). Deciphering  $\dot{V}O_2$  max: limits of the genetic approach. *The Journal of experimental biology*, 221(Pt 21), jeb164327.  
<https://doi.org/10.1242/jeb.164327>
  92. Hughes, D. C., Ellefsen, S., & Baar, K. (2018). Adaptations to Endurance and Strength Training. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 8(6), a029769.  
<https://doi.org/10.1101/cshperspect.a029769>
  93. Janssen, M., Wilson, B. D., & Toussaint, H. M. (2009). Effects of drafting on hydrodynamic and metabolic responses in front crawl swimming. *Medicine and science in sports and exercise*, 41(4), 837–843.  
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818f2a9b>

94. Johnson, R. E.; Quinn, T. J.; Kertzer, R.; Vroman, N. B. (1997) Strength Training in Female Distance Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11(4), 224-229
95. Johnson, M. A., Mills, D. E., Brown, P. I., & Sharpe, G. R. (2014). Prior upper body exercise reduces cycling work capacity but not critical power. *Medicine and science in sports and exercise*, 46(4), 802–808. <https://doi.org/10.1249/MSS.000000000000159>
96. 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>
97. Jones, A. M., Grassi, B., Christensen, P. M., Krustup, P., Bangsbo, J., & Poole, D. C. (2011). Slow component of VO<sub>2</sub> kinetics: mechanistic bases and practical applications. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(11), 2046–2062. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821fcef1>
98. Juszczak, E., Altman, D. G., Hopewell, S., & Schulz, K. (2019). Reporting of Multi-Arm Parallel-Group Randomized Trials: Extension of the CONSORT 2010 Statement. *JAMA*, 321(16), 1610–1620. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.3087>
99. Kantanista, A., Kusy, K., Zarębska, E., Włodarczyk, M., Ciekot-Sołtysiak, M. & Zieliński, J. (2016). Blood ammonia and lactate responses to incremental exercise in highly-trained male sprinters and triathletes. *Biomedical Human Kinetics*, 8(1) 32-38. <https://doi.org/10.1515/bhk-2016-0005>
100. Keiner, M., Wirth, K., Fuhrmann, S., Kunz, M., Hartmann, H., & Haff, G. G. (2021). The Influence of Upper- and Lower-Body Maximum Strength on Swim Block Start, Turn, and Overall Swim Performance in Sprint Swimming. *Journal of strength and conditioning research*, 35(10), 2839–2845. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000329>
101. Kerr, C. G., Trappe, T. A., Starling, R. D., & Trappe, S. W. (1998). Hyperthermia during Olympic triathlon: influence of body heat storage during the swimming stage. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(1), 99–104. <https://doi.org/10.1097/00005768-199801000-00014>
102. Komar, J., Leprêtre, P. M., Albery, M., Van-torre, J., Fernandes, R. J., Hellard, P., Chollet, D., & Seifert, L. (2012). Effect of increasing energy cost on arm coordination in elite sprint swimmers. *Human movement science*, 31(3), 620–629. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.07.011>
103. Koppo, K., Jones, A. M., & Bouckaert, J. (2003). Effect of prior heavy arm and leg exercise on VO<sub>2</sub> kinetics during heavy leg exercise. *European journal of applied physiology*, 88(6), 593–600. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0735-9>
104. Kreider, R. B., Boone, T., Thompson, W. R., Burkes, S., & Cortes, C. W. (1988). Cardiovascular and thermal responses of triathlon performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 20(4), 385–390. <https://doi.org/10.1249/00005768-198808000-00010>
105. Ktenidis, C. K., Margaritelis, N. V., Cherouveim, E. D., Stergiopoulos, D. C., Malliou, V. J., Geladas, N. D., Nikolaidis, M. G., & Paschalis, V. (2021). Priming exercise increases Wingate cycling peak power output. *European journal of sport science*, 21(5), 705–713. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1765026>
106. Kubo, K., Ishigaki, T., & Ikebukuro, T. (2017). Effects of plyometric and isometric training on muscle and tendon stiffness in vivo. *Physiological reports*, 5(15), e13374. <https://doi.org/10.14814/phy2.13374>
107. Landers, G. J., Blanksby, B. A., Ackland, T. R., & Monson, R. (2008). Swim Positioning and its Influence on Triathlon Outcome. *International journal of exercise science*, 1(3), 96–105.
108. Landers, G. J., Blanksby, B. A., & Rackland, T. (2011). Cadence, Stride Rate and Stride Length during Triathlon Competition. *International journal of exercise science*, 4(1), 40–48.
109. Laursen, P. B., Rhodes, E. C., & Langill, R. H. (2000). The effects of 3000-m swimming on subsequent 3-h cycling performance: implications for ultra-endurance triathletes. *European journal of applied physiology*, 83(1), 28–33. <https://doi.org/10.1007/s004210000229>



110. Le Meur, Y., Hausswirth, C., Dorel, S., Bignet, F., Brisswalter, J., & Bernard, T. (2009). Influence of gender on pacing adopted by elite triathletes during a competition. *European journal of applied physiology*, 106(4), 535–545. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1043-4>
111. Li, R. T., Kling, S. R., Salata, M. J., Cupp, S. A., Sheehan, J., & Voos, J. E. (2016). Wearable Performance Devices in Sports Medicine. *Sports health*, 8(1), 74–78. <https://doi.org/10.1177/1941738115616917>
112. Long, D., Blake, M., McNaughton, L., & Angle, B. (1990). Hematological and biochemical changes during a short triathlon competition in novice triathletes. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 61(1-2), 93–99. <https://doi.org/10.1007/BF00236700>
113. Louis, J., Hausswirth, C., Easthope, C., & Brisswalter, J. (2012). Strength training improves cycling efficiency in master endurance athletes. *European journal of applied physiology*, 112(2), 631–640. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2013-1>
114. Losnegard, T., Mikkelsen, K., Rønnestad, B. R., Hallén, J., Rud, B., & Raastad, T. (2011). The effect of heavy strength training on muscle mass and physical performance in elite cross-country skiers. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(3), 389–401. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01074.x>
115. Luckin-Baldwin, K. M., Badenhorst, C. E., Cripps, A. J., Landers, G. J., Merrells, R. J., Bulsara, M. K., & Hoyne, G. F. (2021). Strength Training Improves Exercise Economy in Triathletes During a Simulated Triathlon. *International journal of sports physiology and performance*, 16(5), 663–673. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0170>
116. Lucia, A., San Juan, A. F., Montilla, M., Ca-Nete, S., Santalla, A., Earnest, C., & Pérez, M. (2004). In professional road cyclists, low pedaling cadences are less efficient. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(6), 1048–1054. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000128249.10305.8a>
117. Lum, D., & Barbosa, T. M. (2019). Brief Review: Effects of Isometric Strength Training on Strength and Dynamic Performance. *International journal of sports medicine*, 40(6), 363–375. <https://doi.org/10.1055/a-0863-4539>
118. MacIntosh, B. R., Neptune, R. R., & Horton, J. F. (2000). Cadence, power, and muscle activation in cycle ergometry. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(7), 1281–1287. <https://doi.org/10.1097/00005768-200007000-00015>
119. Mann, T., Lamberts, R. P., & Lambert, M. I. (2013). Methods of prescribing relative exercise intensity: physiological and practical considerations. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(7), 613–625. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0045-x>
120. Markov, A., Chaabene, H., Hauser, L., Behm, S., Bloch, W., Puta, C., & Granacher, U. (2022). Acute Effects of Aerobic Exercise on Muscle Strength and Power in Trained Male Individuals: A Systematic Review with Meta-analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 52(6), 1385–1398. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01615-6>
121. McNaughton L. R. (1989). Plasma volume responses associated with a sprint triathlon in novice triathletes. *International journal of sports medicine*, 10(3), 161–164.
122. Melani, A., Gobbi, G., Galli, D., Carubbi, C., Masselli, E., Neri, L. M., Giovinco, G., Cicchella, A., Galuppo, L., Presta, V., Vacca-rezza, M., Vitale, M., & Mirandola, P. (2019). Muscle Activation in Traditional and Experimental Barbell Bench Press Exercise: A Potential New Tool for Fitness Maintenance. *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(10), 224. <https://doi.org/10.3390/sports7100224>
123. Mikkola, J., Vesterinen, V., Taipale, R., Capostagno, B., Häkkinen, K., & Nummela, A. (2011). Effect of resistance training regimens on treadmill running and neuromuscular performance in recreational endurance runners. *Journal of sports sciences*, 29(13), 1359–1371. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.589467>
124. Migliorini S. & Bini A.M. (1996). Triathlon, allenamenti e gare, aspetti tecnici e medici. Milano: Edizioni Correre
125. Migliorini S. Triathlon medicine. Springer; 2020. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-22357-1>

126. Millet, G. P., & Vleck, V. E. (2000). Physiological and biomechanical adaptations to the cycle to run transition in Olympic triathlon: review and practical recommendations for training. *British journal of sports medicine*, 34(5), 384–390. <https://doi.org/10.1136/bjism.34.5.384>
127. Millet, G. P., Chollet, D., Chaliès, S., & Chatard, J. C. (2002). Coordination in front crawl in elite triathletes and elite swimmers. *International journal of sports medicine*, 23(2), 99–104. <https://doi.org/10.1055/s-2002-20126>
128. Millet, G. P., & Bentley, D. J. (2004). The physiological responses to running after cycling in elite junior and senior triathletes. *International journal of sports medicine*, 25(3), 191–197. <https://doi.org/10.1055/s-2003-45259>
129. Mitchell, R. A., Boyle, K. G., Ramsook, A. H., Puyat, J. H., Henderson, W. R., Koehle, M. S., & Guenette, J. A. (2019). The Impact of Cycling Cadence on Respiratory and Hemodynamic Responses to Exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 51(8), 1727–1735. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001960>
130. Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *BMJ (Clinical research ed.)*, 339, b2535. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2535>
131. Moher, D., Hopewell, S., Schulz, K. F., Montori, V., Gøtzsche, P. C., Devereaux, P. J., Elbourne, D., Egger, M., & Altman, D. G. (2010). CONSORT 2010 explanation and elaboration: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMJ (Clinical research ed.)*, 340, c869. <https://doi.org/10.1136/bmj.c869>
132. Moore I. S. (2016). Is There an Economical Running Technique? A Review of Modifiable Biomechanical Factors Affecting Running Economy. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(6), 793–807. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0474-4>
133. Morici, G., Gruttad'Auria, C. I., Baiamonte, P., Mazzuca, E., Castrogiovanni, A., & Bonsignore, M. R. (2016). Endurance training: is it bad for you?. *Breathe (Sheffield, England)*, 12(2), 140–147. <https://doi.org/10.1183/20734735.007016>
134. Mujika I. (2017). Quantification of Training and Competition Loads in Endurance Sports: Methods and Applications. *International journal of sports physiology and performance*, 12(Suppl 2), S29–S217. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0403>
135. Murlasits, Z., Kneffel, Z., & Thalib, L. (2018). The physiological effects of concurrent strength and endurance training sequence: A systematic review and meta-analysis. *Journal of sports sciences*, 36(11), 1212–1219. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1364405>
136. Neptune, R. R., & Hull, M. L. (1999). A theoretical analysis of preferred pedaling rate selection in endurance cycling. *Journal of biomechanics*, 32(4), 409–415. [https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(98\)00182-1](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(98)00182-1)
137. Noakes T. D. (2011). Time to move beyond a brainless exercise physiology: the evidence for complex regulation of human exercise performance. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 36(1), 23–35. <https://doi.org/10.1139/H10-082>
138. Ofoghi, B., Zeleznikow, J., Macmahon, C., Rehula, J., & Dwyer, D. B. (2016). Performance analysis and prediction in triathlon. *Journal of sports sciences*, 34(7), 607–612. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1065341>
139. Olaya, J., Fernández-Sáez, J., Østerlie, O., & Ferriz-Valero, A. (2021). Contribution of Segments to Overall Result in Elite Triathletes: Sprint Distance. *International journal of environmental research and public health*, 18(16), 8422. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168422>
140. Olaya-Cuartero, J., Fernández-Sáez, J., Østerlie, O., & Ferriz-Valero, A. (2022). Concordance Analysis between the Segments and the Overall Performance in Olympic Triathlon in Elite Triathletes. *Biology*, 11(6), 902. <https://doi.org/10.3390/biology11060902>
141. Ortega Diez J. Análisis de las transiciones en el triatlón: La t. 1. PubCE Stand 2013. <https://g-se.com/analisis-de-las-transiciones-en-el-triatlon-la-t-1-1606-sa-f57cfb2723493e>

142. O'Toole, M. L., & Douglas, P. S. (1995). Applied physiology of triathlon. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 19(4), 251–267. <https://doi.org/10.2165/00007256-199519040-00003>
143. Paavolainen, L., Häkkinen, K., & Rusko, H. (1991). Effects of explosive type strength training on physical performance characteristics in cross-country skiers. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 62(4), 251–255. <https://doi.org/10.1007/BF00571548>
144. Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A., & Rusko, H. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 86(5), 1527–1533. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.86.5.1527>
145. Papavassiliou, T., Zacharogiannis, E., Soultanakis, H., Paradisis, G., & Dagli Pagotto, F. (2019). Contribution of select physiological variables to sprint triathlon performance. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 59(8), 1311–1318. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.19.09190-4>
146. Parcell, A. C., Woolstenhulme, M. T., & Sawyer, R. D. (2009). Structural protein alterations to resistance and endurance cycling exercise training. *Journal of strength and conditioning research*, 23(2), 359–365. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318198fd62>
147. Paton, C. D., & Hopkins, W. G. (2005). Combining explosive and high-resistance training improves performance in competitive cyclists. *Journal of strength and conditioning research*, 19(4), 826–830. <https://doi.org/10.1519/R-16334.1>
148. Peeling, P. D., Bishop, D. J., & Landers, G. J. (2005). Effect of swimming intensity on subsequent cycling and overall triathlon performance. *British journal of sports medicine*, 39(12), 960–964. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.020370>
149. Peeling, P., & Landers, G. (2007). The effect of a one-piece competition speedsuit on swimming performance and thermoregulation during a swim-cycle trial in triathletes. *Journal of science and medicine in sport*, 10(5), 327–333. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.06.004>
150. Piacentini, M. F., De Ioannon, G., Comotto, S., Spedicato, A., Vernillo, G., & La Torre, A. (2013). Concurrent strength and endurance training effects on running economy in master endurance runners. *Journal of strength and conditioning research*, 27(8), 2295–2303. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182794485>
151. Pla, R., Le Meur, Y., Aubry, A., Toussaint, J. F., & Hellard, P. (2019). Effects of a 6-Week Period of Polarized or Threshold Training on Performance and Fatigue in Elite Swimmers. *International journal of sports physiology and performance*, 14(2), 183–189. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0179>
152. Potdevin, F. J., Alberty, M. E., Chevuttschi, A., Pelayo, P., & Sidney, M. C. (2011). Effects of a 6-week plyometric training program on performances in pubescent swimmers. *Journal of strength and conditioning research*, 25(1), 80–86. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181fef720>
153. Presta V, Ambrosini L, Carubbi C, Masselli E, Mirandola P, Arcari ML, Gobbi G, Vitale M. (2021) Different Waters for Different Performances: Can We Imagine Sport-Related Natural Mineral Spring Waters? *Water*. 13(2):166. <https://doi.org/10.3390/w13020166>
154. Puccinelli, P. J., Lima, G., Pesquero, J. B., de Lira, C., Vancini, R. L., Nikolaidis, P. T., Knechtle, B., & Andrade, M. S. (2020). Previous experience, aerobic capacity and body composition are the best predictors for Olympic distance triathlon performance: Predictors in amateur triathlon. *Physiology & behavior*, 225, 113110. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.113110>
155. Puce, L., Chamari, K., Marinelli, L., Mori, L., Bove, M., Faelli, E., Fassone, M., Cotellessa, F., Bragazzi, N. L., & Trompetto, C. (2022). Muscle Fatigue and Swimming Efficiency in Behind and Lateral Drafting. *Frontiers in physiology*, 13, 835766. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.835766>
156. Quagliarotti, C., Gaiola, D., Bianchini, L., Vleck, V., & Piacentini, M. F. (2022). How to Form a Successful Team for the Novel

- Olympic Triathlon Discipline: The Mixed-Team-Relay. *Journal of functional morphology and kinesiology*, 7(2), 46. <https://doi.org/10.3390/jfmk7020046>
157. Ramírez-Campillo, R., Alvarez, C., Henríquez-Olguín, C., Baez, E. B., Martínez, C., Andrade, D. C., & Izquierdo, M. (2014). Effects of plyometric training on endurance and explosive strength performance in competitive middle- and long-distance runners. *Journal of strength and conditioning research*, 28(1), 97–104. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a1f44c>
158. Rothschild, J., & Crocker, G. H. (2019). Effects of a 2-km Swim on Markers of Cycling Performance in Elite Age-Group Triathletes. *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(4), 82. <https://doi.org/10.3390/sports7040082>
159. Rothschild, J., Sheard, A. C., & Crocker, G. H. (2022). Influence of a 2-km Swim on the Cycling Power-Duration Relationship in Triathletes. *Journal of strength and conditioning research*, 36(5), 1431–1436. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003623>
160. Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2010). Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists. *European journal of applied physiology*, 108(5), 965–975. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1307-z>
161. Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2011). Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(2), 250–259. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01035.x>
162. 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>
163. Rønnestad, B. R., Hansen, J., Hollan, I., & Ellefsen, S. (2015). Strength training improves performance and pedaling characteristics in elite cyclists. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25(1), e89–e98. <https://doi.org/10.1111/sms.12257>
164. Rønnestad, B. R., Hansen, J., & Nygaard, H. (2017). 10 weeks of heavy strength training improves performance-related measurements in elite cyclists. *Journal of sports sciences*, 35(14), 1435–1441. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1215499>
165. Sammoud, S., Negra, Y., Chaabene, H., Bouguezzi, R., Moran, J., & Granacher, U. (2019). The Effects of Plyometric Jump Training on Jumping and Swimming Performances in Prepubertal Male Swimmers. *Journal of sports science & medicine*, 18(4), 805–811.
166. Saunders, P. U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Peltola, E. M., Cunningham, R. B., Gore, C. J., & Hawley, J. A. (2006). Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *Journal of strength and conditioning research*, 20(4), 947–954. <https://doi.org/10.1519/R-18235.1>
167. Sawyer, B. J., Stokes, D. G., Womack, C. J., Morton, R. H., Weltman, A., & Gaesser, G. A. (2014). Strength training increases endurance time to exhaustion during high-intensity exercise despite no change in critical power. *Journal of strength and conditioning research*, 28(3), 601–609. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31829e113b>
168. Schabort, E. J., Killian, S. C., St Clair Gibson, A., Hawley, J. A., & Noakes, T. D. (2000). Prediction of triathlon race time from laboratory testing in national triathletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(4), 844–849. <https://doi.org/10.1097/00005768-200004000-00018>
169. Schulz, K. F., Altman, D. G., Moher, D., & CONSORT Group (2010). CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMJ (Clinical research ed.)*, 340, e332. <https://doi.org/10.1136/bmj.e332>
170. Scorcione, C., Pereira, R., Madureira, F., Colantonio, E. (2017). Contribution of swimming, cycling and running in the final performance in different distances of triathlon races. *MOJ Sports Medicine*, 1(5):125-128.

- <https://doi.org/10.15406/mo-jsm.2017.01.00027>
171. Sedano, S., Marín, P. J., Cuadrado, G., & Redondo, J. C. (2013). Concurrent training in elite male runners: the influence of strength versus muscular endurance training on performance outcomes. *Journal of strength and conditioning research*, 27(9), 2433–2443. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318280cc26>
172. Seifert, L., Boulesteix, L., Carter, M., & Chollet, D. (2005). The spatial-temporal and coordinative structures in elite male 100-m front crawl swimmers. *International journal of sports medicine*, 26(4), 286–293. <https://doi.org/10.1055/s-2004-821010>
173. 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/ijsp.5.3.276>
174. Sharma A. P. & Périard J. D. (2020). Physiological Requirements of the different Distances of Triathlon. S. Migliorini. *Triathlon Medicine* (pag 5-18). ©Springer Nature, Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22357-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22357-1_2)
175. Silva, R. A., Silva-Júnior, F. L., Pinheiro, F. A., Souza, P. F., Boullosa, D. A., & Pires, F. O. (2014). Acute prior heavy strength exercise bouts improve the 20-km cycling time trial performance. *Journal of strength and conditioning research*, 28(9), 2513–2520. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000442>
176. Silveira, R. P., de Souza Castro, F. A., Figueiredo, P., Vilas-Boas, J. P., & Zamparo, P. (2017). The Effects of Leg Kick on Swimming Speed and Arm-Stroke Efficiency in the Front Crawl. *International journal of sports physiology and performance*, 12(6), 728–735. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0232>
177. Simpson, R. J., Kunz, H., Agha, N., & Graff, R. (2015). Exercise and the Regulation of Immune Functions. *Progress in molecular biology and translational science*, 135, 355–380. <https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2015.08.001>
178. Skattebo, Ø., Hallén, J., Rønnestad, B. R., & Losnegard, T. (2016). Upper body heavy strength training does not affect performance in junior female cross-country skiers. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 26(9), 1007–1016. <https://doi.org/10.1111/sms.12517>
179. Skattebo, Ø., Losnegard, T., & Stadheim, H. K. (2019). Double-Poling Physiology and Kinematics of Elite Cross-Country Skiers: Specialized Long-Distance Versus All-Round Skiers. *International journal of sports physiology and performance*, 1190–1199. Advance online publication. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0471>
180. Sousa, C. V., Aguiar, S., Olher, R. R., Cunha, R., Nikolaidis, P. T., Villiger, E., Rosemann, T., & Knechtel, B. (2021). What Is the Best Discipline to Predict Overall Triathlon Performance? An Analysis of Sprint, Olympic, Ironman® 70.3, and Ironman® 140.6. *Frontiers in physiology*, 12, 654552. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.654552>
181. Sortwell A. D. (2011). Relationship between Stroking Parameters and Leg Movement Quantity in 100 Metre Front Crawl. *International journal of exercise science*, 4(1), 22–29.
182. Spurrs, R. W., Murphy, A. J., & Watsford, M. L. (2003). The effect of plyometric training on distance running performance. *European journal of applied physiology*, 89(1), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0741-y>
183. Stebbins, C. L., Moore, J. L., & Casazza, G. A. (2014). Effects of cadence on aerobic capacity following a prolonged, varied intensity cycling trial. *Journal of sports science & medicine*, 13(1), 114–119.
184. Stöggl, T. L., & Sperlich, B. (2019). Editorial: Training Intensity, Volume and Recovery Distribution Among Elite and Recreational Endurance Athletes. *Frontiers in physiology*, 10, 592. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00592>
185. Stöggl, T. L., & Sperlich, B. (2015). The training intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes. *Frontiers in physiology*, 6, 295. <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00295>
186. Støren, O., Helgerud, J., Støa, E. M., & Hoff, J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(6), 1087–1092. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318168da2f>

187. Sunde, A., Støren, O., Bjerkaas, M., Larsen, M. H., Hoff, J., & Helgerud, J. (2010). Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. *Journal of strength and conditioning research*, 24(8), 2157–2165.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181aeb16a>
188. Swinnen, W., Kipp, S., & Kram, R. (2018). Comparison of running and cycling economy in runners, cyclists, and triathletes. *European journal of applied physiology*, 118(7), 1331–1338. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3865-4>
189. Takaishi, T., Yasuda, Y., Ono, T., & Moritani, T. (1996). Optimal pedaling rate estimated from neuromuscular fatigue for cyclists. *Medicine and science in sports and exercise*, 28(12), 1492–1497.  
<https://doi.org/10.1097/00005768-199612000-00008>
190. Tanghe, K. K., & Martin, J. C. (2020). Heavy and Explosive Training Differentially Affect Modeled Cyclic Muscle Power. *Medicine and science in sports and exercise*, 52(5), 1068–1075.  
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002237>
191. Termin, B., & Pendergast, D. R. (2000). Training using the stroke frequency-velocity relationship to combine biomechanical and metabolic paradigms. *Journal of Swimming Research*, 14.
192. Toussaint, H. M., Bruinink, L., Coster, R., De Looze, M., Van Rossem, B., Van Veenen, R., & De Groot, G. (1989). Effect of a triathlon wet suit on drag during swimming. *Medicine and science in sports and exercise*, 21(3), 325–328.
193. Toussaint, H. M., Van den Berg, C., & Beek, W. J. (2002). "Pumped-up propulsion" during front crawl swimming. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(2), 314–319.  
<https://doi.org/10.1097/00005768-200202000-00020>
194. Trangmar, S. J., & González-Alonso, J. (2019). Heat, Hydration and the Human Brain, Heart and Skeletal Muscles. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(Suppl 1), 69–85.  
<https://doi.org/10.1007/s40279-018-1033-y>
195. Tseng, K. W., Chen, J. R., Chow, J. J., Tseng, W. C., Condello, G., Tai, H. L., & Fu, S. K. (2021). Post-activation Performance Enhancement after a Bout of Accentuated Eccentric Loading in Collegiate Male Volleyball Players. *International journal of environmental research and public health*, 18(24), 13110.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph182413110>
196. Umberger, B. R., Gerritsen, K. G., & Martin, P. E. (2006). Muscle fiber type effects on energetically optimal cadences in cycling. *Journal of biomechanics*, 39(8), 1472–1479.  
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2005.03.025>
197. Vercruyssen, F., Hausswirth, C., Smith, D., & Brisswalter, J. (2001). Effect of exercise duration on optimal pedaling rate choice in triathletes. *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquee*, 26(1), 44–54.
198. Vercruyssen, F., & Brisswalter, J. (2010). Which factors determine the freely chosen cadence during submaximal cycling? *Journal of science and medicine in sport*, 13(2), 225–231.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.12.631>
199. Vikmoen, O., Ellefsen, S., Trøen, Ø., Hollan, I., Hanestadhaugen, M., Raastad, T., & Rønnestad, B. R. (2016). Strength training improves cycling performance, fractional utilization of VO<sub>2</sub>max and cycling economy in female cyclists. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 26(4), 384–396.  
<https://doi.org/10.1111/sms.12468>
200. Vikmoen, O., Raastad, T., Seynnes, O., Bergström, K., Ellefsen, S., & Rønnestad, B. R. (2016). Effects of Heavy Strength Training on Running Performance and Determinants of Running Performance in Female Endurance Athletes. *PloS one*, 11(3), e0150799.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150799>
201. Vikmoen, O., Rønnestad, B. R., Ellefsen, S., & Raastad, T. (2017). Heavy strength training improves running and cycling performance following prolonged submaximal work in well-trained female athletes. *Physiological reports*, 5(5), e13149.  
<https://doi.org/10.14814/phy2.13149>
202. Vleck, V. E., Bürgi, A., & Bentley, D. J. (2006). The consequences of swim, cycle, and run performance on overall result in elite olympic distance triathlon. *International*

- journal of sports medicine*, 27(1), 43–48.  
<https://doi.org/10.1055/s-2005-837502>
203. Vleck, V. E., Bentley, D. J., Millet, G. P., & Bürgi, A. (2008). Pacing during an elite Olympic distance triathlon: comparison between male and female competitors. *Journal of science and medicine in sport*, 11(4), 424–432.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.01.006>
204. Wakayoshi, K., Yoshida, T., Ikuta, Y., Mutoh, Y., & Miyashita, M. (1993). Adaptations to six months of aerobic swim training. Changes in velocity, stroke rate, stroke length and blood lactate. *International journal of sports medicine*, 14(7), 368–372.  
<https://doi.org/10.1055/s-2007-1021194>
205. Walsh J. A. (2019). The Rise of Elite Short-Course Triathlon Re-Emphasises the Necessity to Transition Efficiently from Cycling to Running. *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(5), 99.  
<https://doi.org/10.3390/sports7050099>
206. Wan, J. J., Qin, Z., Wang, P. Y., Sun, Y., & Liu, X. (2017). Muscle fatigue: general understanding and treatment. *Experimental & molecular medicine*, 49(10), e384.  
<https://doi.org/10.1038/emm.2017.194>
207. Weineck, J. (2009). L'allenamento Ottimale – 2<sup>a</sup> ed. Perugia: Calzetti-Mariucci Editore
208. Wilson, J. M., Marin, P. J., Rhea, M. R., Wilson, S. M., Loenneke, J. P., & Anderson, J. C. (2012). Concurrent training: a meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *Journal of strength and conditioning research*, 26(8), 2293–2307.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823a3e2d>
209. Wingo, J. E., Ganio, M. S., & Cureton, K. J. (2012). Cardiovascular drift during heat stress: implications for exercise prescription. *Exercise and sport sciences reviews*, 40(2), 88–94.  
<https://doi.org/10.1097/JES.0b013e31824c43af>
210. World Triathlon Competition Rules. 2022, 196. Available online: [https://www.triathlon.org/uploads/docs/World\\_Triathlon\\_Competition\\_Rules\\_2022\\_20220128.pdf](https://www.triathlon.org/uploads/docs/World_Triathlon_Competition_Rules_2022_20220128.pdf)
211. World Medical Association (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–2194.  
<https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>
212. Wu, S. S., Peiffer, J. J., Peeling, P., Brisswalter, J., Lau, W. Y., Nosaka, K., & Abbiss, C. R. (2016). Improvement of Sprint Triathlon Performance in Trained Athletes With Positive Swim Pacing. *International journal of sports physiology and performance*, 11(8), 1024–1028.  
<https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0580>
213. Zamparo, P., Cortesi, M., & Gatta, G. (2020). The energy cost of swimming and its determinants. *European journal of applied physiology*, 120(1), 41–66.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-019-04270-y>

## ELENCO DELLE PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE PRODOTTE

- i. **Ambrosini, L.**, Presta, V., Vitale, M., Menegatti, E., Condello, G., Gobbi, G. The effect of a swimming training program on swim-to-cycle transition during a triathlon simulation. Sottomesso alla rivista scientifica *The Journal of Strength and Conditioning Research*
- ii. **Ambrosini, L.**, Presta, V., Galli, D., Mirandola, P., Vitale, M., Gobbi, G., Condello, G. Interlink Between Physiological and Biomechanical Changes in the Swim-to-Cycle Transition in Triathlon Events: A Narrative Review (2022). *Sports Medicine-Open*, 8 (1), 129  
DOI: 10.1186/s40798-022-00521-z
- iii. Bianchi, V., **Ambrosini, L.**, Presta, V., Gobbi, G., De Munari, I. Prediction of Kick Count in Triathletes during Freestyle Swimming Session Using Inertial Sensor Technology (2022). *Applied Sciences (Switzerland)*, 12 (13), art. no. 6313  
DOI: 10.3390/app12136313
- iv. Pozzi, G., Gobbi, G., Masselli, E., Carubbi, C., Presta, V., **Ambrosini, L.**, Vitale, M., Mirandola, P. Buffering Adaptive Immunity by Hydrogen Sulfide (2022). *Cells*, 11 (3), art. no. 325  
DOI: 10.3390/cells11030325
- v. Presta, V., Vitale, C., **Ambrosini, L.**, Gobbi, G. Stereopsis in sports: Visual skills and visuomotor integration models in professional and non-professional athletes (2021). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18 (21), art. no. 11281, .  
DOI: 10.3390/ijerph182111281
- vi. **Ambrosini, L.**, Presta, V., Goldoni, M., Galli, D., Mirandola, P., Vitale, M., Gobbi, G. Are we able to match non sport-specific strength training with endurance sports? A systematic review and meta-analysis to plan the best training programs for endurance athletes (2021). *Applied Sciences (Switzerland)*, 11 (16), art. no. 7280  
DOI: 10.3390/app11167280
- vii. Galli, D., Carubbi, C., Masselli, E., Vaccarezza, M., Presta, V., Pozzi, G., **Ambrosini, L.**, Gobbi, G., Vitale, M., Mirandola, P. Physical activity and redox balance in the elderly:



- Signal transduction mechanisms (2021). *Applied Sciences* (Switzerland), 11 (5), art. no. 2228, pp. 1-17.  
DOI: 10.3390/app11052228
- viii. Presta, V., **Ambrosini, L.**, Carubbi, C., Masselli, E., Mirandola, P., Arcari, M.L., Gobbi, G., Vitale, M. Different waters for different performances: Can we imagine sport-related natural mineral spring waters? (2021). *Water* (Switzerland), 13 (2), art. no. 166  
DOI: 10.3390/w13020166
- ix. Presta, V., Galuppo, L., Mirandola, P., Galli, D., Pozzi, G., Zoni, R., Capici, S., Colucci, M.E., Veronesi, L., **Ambrosini, L.**, Gobbi, G., Vitale, M., Pasquarella, C. One-shoulder carrying school backpack strongly affects gait swing phase and pelvic tilt: A case study. (2020) *Acta Biomedica*, 91, pp. 168-170  
DOI: 10.23750/abm.v91i3-S.9435

## **ELENCO PRESENTAZIONI A CONGRESSI SCIENTIFICI**

- i. **Ambrosini L.**, Presta V., Goldoni M., Galli D., Vitale M., Mirandola P., Gobbi G. Optimizing endurance performance by appropriate non-sport-specific strength training: a systematic review and meta-analysis. Presentazione poster. XII Congresso Scientifico Nazionale della Società Italiana delle Scienze Motorie e Sportive (SISMES), Padova (Italia), 8-9-10 Ottobre 2021.
- ii. Presta V., **Ambrosini L.**, Carubbi C., Masselli E., Mirandola P., Arcari M.L., Gobbi G., Vitale M. Natural mineral spring waters for different sport performances. Presentazione poster. XII Congresso Scientifico Nazionale della Società Italiana delle Scienze Motorie e Sportive (SISMES), Padova (Italia), 8-9-10 Ottobre 2021.
- iii. **Ambrosini L.**, Presta V., De Munari I., Bianchi V., Mirandola P., Vitale M., Condello G., Gobbi G. The effect of a swimming training program on swim-to-cycle transition during a triathlon simulation. Presentazione poster. XIII Congresso Scientifico Nazionale della Società Italiana delle Scienze Motorie e Sportive (SISMES), Milano (Italia), 4-5-6 Novembre 2022.
- iv. Presta V., Galuppo L., Condello G., **Ambrosini L.**, Rodà F., Mirandola P., Vitale M., Gobbi G., A predictive model of falling risk and frailty condition in the elderly. Poster Scientifico. 4-5-6 Nov. 2022, XIII Congresso Scientifico Nazionale-SISMES