

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA**

**SCUOLA DI SCIENZE MEDICHE E FARMACEUTICHE**

**DIPARTIMENTO DI MEDICINA SPERIMENTALE (DIMES)**

*Corso di laurea magistrale in Scienze e tecniche dello Sport*



**Studio della relazione tra i risultati dell'Artistic  
Gymnastics Specific Endurance Test e dello Yo-Yo  
Intermittent Recovery Children Test Level 1 in giovani  
ginnaste**

**Relatore**

*Panasci Marco*

**Candidato**

*Rossi Sofia*

Anno accademico 2025-2026

# INDICE

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>INTRODUZIONE.....</b>                                                | <b>3</b>  |
| <b>1. LA GINNASTICA ARTISTICA .....</b>                                 | <b>4</b>  |
| 1.1 CENNI SULLA GINNASTICA ARTISTICA .....                              | 4         |
| 1.2 GINNASTICA ARTISTICA IN ETÀ EVOLUTIVA .....                         | 7         |
| 1.3 RICHIESTE METABOLICHE .....                                         | 9         |
| <b>2. LA VALUTAZIONE FUNZIONALE .....</b>                               | <b>12</b> |
| 2.1 YO - YO INTERMITTENT RECOVERY TEST CHILDREN'S LEVEL 1..             | 13        |
| 2.2 TEST SPECIFICO: L'ARTISTIC GYMNASTICS SPECIFIC ENDURANCE TEST ..... | 15        |
| 2.3 SCOPO DELLA TESI .....                                              | 17        |
| <b>3. MATERIALI E METODI.....</b>                                       | <b>18</b> |
| 3.1.1 DISEGNO SPERIMENTALE .....                                        | 18        |
| 3.1.2 SOGGETTI .....                                                    | 19        |
| 3.1.3 YO-YO INTERMITTENT RECOVERY CHILDREN TEST LEVEL 1...              | 20        |
| 3.1.4 ARTISTIC GYMNASTICS SPECIFIC ENDURANCE TEST.....                  | 20        |
| 3.2 ANALISI DEI DATI.....                                               | 23        |
| <b>4. RISULTATI .....</b>                                               | <b>23</b> |
| 4.1.1 AFFIDABILITÀ DELLE MISURAZIONI .....                              | 23        |
| 4.1.2 CONFRONTO TRA T1 E T2 .....                                       | 24        |
| 4.2 ANALISI DELLE CORRELAZIONI .....                                    | 25        |
| <b>5. DISCUSSIONE .....</b>                                             | <b>26</b> |
| <b>6. CONCLUSIONI .....</b>                                             | <b>28</b> |
| <b><i>Bibliografia</i> .....</b>                                        | <b>30</b> |

# INTRODUZIONE

La ginnastica artistica è una disciplina sportiva individuale, tecnico-combinatoria, a carattere intermittente, che richiede elevati carichi di allenamento fin dalle prime fasi dello sviluppo. Tradizionalmente caratterizzata da un'elevata partecipazione di atlete in età prepuberale, negli ultimi anni ha mostrato un progressivo aumento del numero di praticanti di età superiore ai vent'anni, sia a livello élite sia non élite.

In Italia, il massimo livello competitivo è rappresentato dal campionato GOLD, nel quale le ginnaste si allenano mediamente 20 ore settimanali al fine di preparare programmi tecnici con difficoltà crescente. L'attività richiede lo sviluppo simultaneo di molteplici capacità fisiche, tra cui forza e potenza muscolare, resistenza alla forza, flessibilità, equilibrio e un alto livello delle capacità aerobiche e anaerobiche. Le routine prevedono l'esecuzione di sequenze motorie complesse che espongono l'atleta a elevate sollecitazioni meccaniche.

La durata delle prestazioni varia in funzione dell'attrezzo: pochi secondi nel volteggio e fino a circa 90 secondi negli esercizi alla trave e al corpo libero. Ne deriva un impegno energetico di natura mista, con alternanza di contributi aerobici e anaerobici.

L'elevato volume e l'intensità degli allenamenti rendono fondamentale un'accurata pianificazione del carico, finalizzata sia all'ottimizzazione della performance sia alla prevenzione degli infortuni da sovraccarico. In tale contesto, risulta essenziale lo sviluppo di strumenti di valutazione specifici che consentano di monitorare in modo accurato le capacità fisiche dell'atleta.

In letteratura emerge una significativa carenza di test da campo sport-specifici per la valutazione della resistenza nella ginnastica artistica. Per colmare tale lacuna, Mkaouer et al. (2023) hanno sviluppato l'Artistic Gymnastics Specific Endurance Test (AGSET). Il protocollo AGSET sembra presentare un'ottima affidabilità e validità concorrente per la valutazione della resistenza nella ginnastica artistica di alto livello. Lo studio di Mkaouer et al. è stato condotto su ginnaste e ginnasti di età evoluta, dai 20 anni in su, comparando l'AGSET con il Multistage Shuttle Run Test, test da campo non specifico. Partendo da questo protocollo sperimentale, il presente lavoro si propone di applicare e adattare tale protocollo a un campione di giovani ginnaste in età evolutiva, confrontando l'AGSET con lo Yo-Yo Intermittent Recovery Test Level 1, ritenuto più idoneo per questa fascia d'età.

Durante i test sono stati rilevati parametri fisiologici quali frequenza cardiaca, consumo massimo di ossigeno ( $VO_2\text{max}$ ) e percezione dello sforzo, oltre a variabili specifiche dell'AGSET quali tempo totale mantenuto e velocità aerobica massima.

L'obiettivo dello studio è valutare la ripetibilità dei test e analizzare le eventuali differenze e correlazioni tra il test specifico e quello non specifico. I risultati del presente studio potrebbero contribuire alla validazione dell'AGSET in ginnaste giovani, fornendo uno strumento utile per il monitoraggio della prestazione e l'ottimizzazione dell'allenamento nella ginnastica artistica.

## **1. LA GINNASTICA ARTISTICA**

### **1.1 CENNI SULLA GINNASTICA ARTISTICA**

La ginnastica artistica femminile è una disciplina olimpica che si compone di quattro attrezzi: volteggio, parallele asimmetriche, trave e corpo libero. Nelle competizioni GOLD delle ginnaste della categoria allieve è presente anche il cinghietto, un attrezzo preparatorio alle parallele asimmetriche. In ognuno di questi attrezzi vengono presentati esercizi costruiti sulla base degli elementi previsti nelle griglie dei programmi tecnici, pubblicati e aggiornati annualmente dalla Federazione Ginnastica d'Italia, i quali si ispirano al Codice dei Punteggi internazionale. Gli esercizi vengono valutati da una giuria in base al loro contenuto, sia in termini di complessità tecnica sia di precisione ed eleganza esecutiva.

Dal punto di vista prestativo, la ginnastica artistica richiede un ampio spettro di capacità fisiche, tra cui forza, potenza neuromuscolare, flessibilità, velocità, coordinazione ed equilibrio. Lo sviluppo di tali capacità nei giovani atleti non segue un andamento lineare, ma è fortemente influenzato dall'interazione tra crescita, maturazione biologica e allenamento. Di conseguenza, soggetti della stessa età cronologica possono presentare livelli di sviluppo fisico molto differenti.

Per questo motivo, l'avviamento precoce alla pratica agonistica risulta determinante, soprattutto considerando che il periodo sensibile per lo sviluppo delle capacità coordinative, della velocità e della flessibilità si colloca generalmente tra i 6 e i 12 anni, fase cruciale per il raggiungimento della maestria sportiva.

In questa fase, l'esposizione a stimoli motori variati risulta fondamentale per favorire uno sviluppo armonico dell'atleta. La multilateralità, infatti, contribuisce alla crescita e alla maturazione del sistema muscolo-scheletrico, stimola lo sviluppo osseo e muscolare e favorisce il miglioramento delle capacità coordinative, dell'equilibrio e delle abilità motorie di base. Inoltre, supporta lo sviluppo cognitivo e sociale e promuove l'adozione di uno stile di vita attivo.

Tuttavia, nella ginnastica artistica si osserva frequentemente una specializzazione precoce che, se non adeguatamente gestita, può comportare rischi quali sovraccarichi funzionali, adattamenti funzionali e strutturali dei distretti maggiormente sollecitati e una possibile perdita di motivazione legata alla ripetitività degli stimoli. Per questo motivo, la specializzazione dovrebbe avvenire in modo progressivo e nel rispetto del principio dell'adeguatezza all'età e del carico finalizzato, in relazione alle specifiche richieste della disciplina (Weineck, 1980).

Nell'allenamento giovanile è inoltre necessario considerare i processi di crescita e maturazione biologica. In particolare, si distinguono una fase di crescita ponderale, chiamata fase di *turgor* e una fase di crescita staturale rapida, chiamata fase di *proceritas*, durante le quali si verificano importanti cambiamenti morfologici e funzionali. Tali fasi evidenziano come età cronologica ed età biologica possano differire significativamente tra individui, rendendo necessario un adattamento individualizzato degli stimoli allenanti. A tal proposito, l'identificazione del picco di velocità di crescita staturale, Peak Height Velocity, (PHV) rappresenta un parametro utile per monitorare lo sviluppo biologico dell'atleta. In relazione al PHV, è possibile individuare specifiche "finestre sensibili di sviluppo" (*windows of opportunity*) per lo sviluppo delle capacità motorie (Balyi, 2003). In particolare, lo sviluppo della velocità avviene prevalentemente negli anni precedenti al PHV, mentre lo sviluppo della forza si colloca durante e dopo tale fase (Viru et al., 1999), con un'anticipazione temporale nelle femmine.

Nella ginnastica artistica risulta fondamentale programmare l'allenamento tenendo conto non solo dell'età anagrafica, ma anche del livello di maturazione biologica, al fine di ottimizzare gli adattamenti e ridurre il rischio di infortuni. Si configura prevalentemente come un'attività di forza e potenza, in cui le prestazioni dipendono dall'esecuzione di movimenti altamente tecnici che richiedono caratteristiche fisiche specifiche e, in molti casi, eccezionali. In quest'ottica, i parametri fisici e antropometrici rappresentano strumenti utili anche nei processi di identificazione del talento. Inoltre, la preparazione

dell'atleta deve avvenire in modo graduale e pluriennale, al fine di consentire lo sviluppo sicuro delle capacità necessarie a tollerare e generare le elevate forze tipiche della disciplina.

Negli ultimi decenni, la ginnastica artistica femminile ha subito un'importante evoluzione, con un progressivo aumento delle difficoltà tecniche da inserire nelle routine, accompagnato da un incremento dei volumi e dell'intensità di allenamento, spesso a età sempre più precoci. Parallelamente, l'efficacia dei programmi di preparazione tecnica nei paesi più sviluppati ha portato a un tentativo di imitazione da parte di contesti meno strutturati, talvolta attraverso strategie non ottimali. Questo fenomeno ha sollevato numerose criticità, portando la disciplina sotto l'attenzione di ambiti medici, educativi e mediatici, soprattutto per il rischio di pratiche eccessive o inappropriate. In risposta a tali problematiche, la Federazione Internazionale di Ginnastica (FIG) ha introdotto modifiche regolamentari e promosso programmi di formazione per allenatori, con l'obiettivo di tutelare la salute delle atlete e migliorare la qualità della preparazione.

Nonostante questi progressi, nella pratica quotidiana della disciplina olimpica, si osserva ancora una prevalenza dell'approccio tecnico rispetto a quello scientifico in diversi contesti applicativi. In particolare, l'esperienza sul campo evidenzia come la valutazione delle capacità fisiche venga spesso condotta in modo qualitativo, basandosi principalmente sull'osservazione dell'esecuzione piuttosto che sull'utilizzo sistematico di strumenti oggettivi. Questo approccio, sebbene supportato dall'esperienza dell'allenatore, può limitare la possibilità di monitorare in modo preciso i progressi dell'atleta e di individualizzare il carico di allenamento.

Un periodo particolarmente delicato nello sviluppo della ginnasta è rappresentato dalla fascia di età compresa tra gli 11 e i 15 anni. In questa fase, da un lato si osserva una grande capacità di apprendimento di abilità complesse, soprattutto di tipo acrobatico-aereo; dall'altro, aumenta la vulnerabilità a infortuni acuti, cronici e da sovraccarico, oltre che a possibili problematiche di natura psicologica ed emotiva.

Dal punto di vista fisiologico, l'impegno richiesto durante la competizione è prevalentemente di tipo anaerobico. Tuttavia, il significativo volume complessivo di lavoro e i tempi di recupero tra un attrezzo e l'altro determinano anche lo sviluppo di una buona capacità aerobica.

Numerosi studi evidenziano come la prestazione ginnica richieda elevati livelli di forma fisica generale, con predominanza del metabolismo anaerobico glicolitico durante le

routine. Le ginnaste d'élite mostrano infatti valori elevati di potenza anaerobica, con picchi che possono raggiungere i  $10\text{--}12 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$  nei test di Wingate.

Le concentrazioni di lattato ematico registrate al termine delle routine variano generalmente tra  $2,4$  e  $10,5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ , mentre la frequenza cardiaca può raggiungere valori compresi tra  $150$  e  $195$  battiti al minuto. Tali risposte fisiologiche sono attribuibili all'elevata intensità delle contrazioni muscolari e allo stress cardiovascolare indotto dall'esecuzione degli esercizi.

Per quanto riguarda il contributo del metabolismo aerobico, la letteratura presenta risultati meno concordi. Alcuni studi riportano valori relativamente bassi, seppur adeguati alla pratica della disciplina, mentre ricerche più recenti evidenziano un ruolo significativo, in particolare nelle routine al corpo libero, dove può contribuire in misura rilevante al mantenimento della prestazione.

Le modifiche introdotte nel Codice dei Punteggi negli ultimi anni hanno ulteriormente incrementato le richieste atletiche, determinando un aumento dei valori fisiologici osservati durante la competizione. Le ginnaste d'élite devono essere in grado di raggiungere valori fisiologici elevati e di recuperare rapidamente tra una routine e l'altra, al fine di mantenere alta la qualità della prestazione.

Nonostante i numerosi studi sulle esigenze fisiologiche della ginnastica artistica, risultano ancora limitate le conoscenze riguardanti l'andamento temporale delle risposte fisiologiche durante le diverse fasi della competizione. Una maggiore comprensione di questi aspetti potrebbe risultare fondamentale per ottimizzare la gestione del recupero e la programmazione dell'allenamento.

Sulla base di queste considerazioni, risulta quindi fondamentale approfondire il ruolo dei diversi sistemi energetici coinvolti nella ginnastica artistica femminile, analizzando in modo specifico il contributo dei vari metabolismi alla prestazione.

## 1.2 GINNASTICA ARTISTICA IN ETÀ EVOLUTIVA

La ginnastica artistica è caratterizzata da un inizio precoce della pratica sportiva, con un coinvolgimento significativo di atlete in età evolutiva. In questo contesto, lo sviluppo delle capacità fisiche e tecniche avviene in stretta relazione con i processi di crescita e maturazione biologica, determinando una marcata variabilità interindividuale anche tra soggetti della stessa età cronologica.

A questo proposito, un aspetto di particolare rilevanza è rappresentato dal diverso grado di maturazione biologica delle atlete, che può influenzare in modo significativo la risposta ai test di valutazione funzionale. Infatti, soggetti che si trovano in fasi differenti dello sviluppo, ad esempio in relazione al picco di velocità di crescita staturale (Peak Height Velocity, PHV), possono presentare differenze rilevanti nelle capacità fisiologiche, neuromuscolari e metaboliche, anche a parità di età anagrafica.

Le ginnaste in una fase prepuberale tendono generalmente a mostrare una maggiore efficienza del metabolismo aerobico e una minore capacità di produzione di energia attraverso i sistemi anaerobici, in particolare quello lattacido. Al contrario, con l'avanzare della maturazione biologica, si osserva un progressivo incremento della capacità anaerobica e della produzione di lattato, associato a cambiamenti nella massa muscolare e nella regolazione ormonale.

Queste differenze possono riflettersi in risposte differenti agli stessi protocolli di valutazione. Ad esempio, nei test intermittenti come lo Yo-Yo Intermittent Recovery Test, le atlete meno mature potrebbero mostrare una buona capacità di recupero ma valori inferiori di prestazione massimale, mentre nei test che richiedono una componente tecnico-metabolica più elevata, come l'Artistic Gymnastics Specific Endurance Test (AGSET), le differenze legate alla maturazione potrebbero influenzare sia l'esecuzione tecnica sia la risposta fisiologica.

Pertanto, nell'interpretazione dei risultati dei test in età evolutiva, risulta fondamentale considerare non solo l'età cronologica, ma anche il livello di maturazione biologica dell'atleta. La mancata considerazione di questo aspetto potrebbe rappresentare un limite nell'analisi dei dati e nella comparazione tra soggetti, influenzando la validità delle conclusioni.

In questo quadro, l'organizzazione del percorso agonistico e le richieste specifiche della disciplina assumono un ruolo determinante nel modulare il carico di allenamento e le modalità di valutazione.

In Italia, il percorso agonistico è strutturato in diversi livelli, tra cui il campionato GOLD rappresenta il più elevato standard tecnico a livello nazionale. All'interno di questo circuito, la categoria Allieve comprende atlete di età compresa tra gli 8 anni compiuti e i 13 anni, suddivise in base all'età. In questa fase, le ginnaste sono chiamate a eseguire programmi tecnici complessi su cinque attrezzi, con richieste crescenti, di anno in anno, sia dal punto di vista coordinativo che condizionale.

L'attività in età evolutiva si caratterizza per un elevato volume di allenamento, che supera le 15–20 ore settimanali nelle ginnaste delle categorie giovanili, con carichi che raddoppiano quando si superano i dieci anni.

Tale carico, se da un lato favorisce lo sviluppo precoce delle capacità coordinative e tecniche, dall'altro espone le giovani atlete a un aumentato rischio di infortuni da sovraccarico, soprattutto in periodi critici dello sviluppo, come la fase puberale.

Dal punto di vista fisiologico, le ginnaste in età evolutiva presentano caratteristiche differenti rispetto agli atleti adulti, in particolare per quanto riguarda la capacità anaerobica e la risposta metabolica allo sforzo. Tuttavia, risultano in grado di sostenere elevati livelli di attività intermittente, grazie a una buona efficienza del metabolismo aerobico e a tempi di recupero generalmente più rapidi.

In questo contesto, risulta fondamentale utilizzare strumenti di valutazione adeguati all'età e al livello di sviluppo delle atlete, in grado di fornire informazioni attendibili senza compromettere la sicurezza e l'equilibrio del carico di allenamento. L'utilizzo di test adattati per l'età evolutiva, come lo Yo-Yo Intermittent Recovery Test nella versione Children, e lo sviluppo di protocolli sport-specifici come l'AGSET, rappresentano strategie utili per una valutazione più mirata e contestualizzata della prestazione.

Pertanto, lo studio della ginnastica artistica in età evolutiva, e in particolare nel contesto del livello GOLD, assume un ruolo centrale per comprendere le richieste specifiche della disciplina e per sviluppare metodologie di allenamento e valutazione sempre più efficaci e sicure.

### 1.3 RICHIESTE METABOLICHE

Per comprendere in maniera approfondita le richieste fisiologiche della ginnastica artistica femminile, è fondamentale analizzare il contributo dei diversi sistemi energetici coinvolti nella prestazione. Le routine ginniche sono caratterizzate da sforzi di breve durata, elevata intensità e complessità tecnica, che implicano l'attivazione integrata dei tre principali metabolismi energetici: anaerobico alattacido, anaerobico lattacido e aerobico.

Il metabolismo anaerobico alattacido (sistema ATP-PCr) rappresenta la principale fonte energetica nelle fasi esplosive della prestazione. Questo sistema consente la produzione immediata di energia senza accumulo di lattato ed è determinante per l'espressione della potenza e della forza massimale richieste nella ginnastica artistica (Moeskops et al., 2019).

Il metabolismo anaerobico lattacido interviene in maniera significativa durante sequenze più prolungate, come negli esercizi al corpo libero o alla trave, che possono durare fino a 90 secondi. In queste situazioni, la glicolisi anaerobica diventa predominante, con conseguente produzione di lattato. Studi condotti su ginnaste d'élite hanno evidenziato concentrazioni di lattato ematico comprese tra 2,4 e 10,5 mmol·L<sup>-1</sup> al termine delle routine, indicando un importante coinvolgimento di questo sistema energetico (Mkaouer et al., 2023).

Nonostante la natura prevalentemente anaerobica della disciplina, anche il metabolismo aerobico svolge un ruolo rilevante soprattutto nei processi di recupero tra le routine e tra gli attrezzi, favorendo il ripristino delle riserve di fosfocreatina e la rimozione dei metaboliti accumulati. Inoltre, negli esercizi di maggiore durata il contributo aerobico può risultare significativo per il mantenimento della prestazione.

L'interazione tra questi tre sistemi energetici consente alle ginnaste di sostenere le elevate richieste della disciplina, garantendo al contempo prestazioni di alta qualità e la capacità di recuperare rapidamente durante la competizione. Di conseguenza, una programmazione dell'allenamento efficace deve prevedere lo sviluppo integrato di tutte le componenti metaboliche, in relazione alle specifiche esigenze degli attrezzi e al livello di maturazione dell'atleta.

L'analisi delle richieste energetiche nella ginnastica artistica femminile evidenzia come il contributo dei diversi sistemi metabolici vari significativamente in funzione dell'attrezzo, della durata della routine e delle caratteristiche tecniche dell'esercizio.

Il volteggio rappresenta l'espressione più pura del metabolismo anaerobico alattacido (ATP-PCr), trattandosi di uno sforzo estremamente breve (circa 5–7 secondi) e ad altissima intensità. La produzione di energia avviene quasi esclusivamente attraverso le riserve immediate di fosfocreatina, senza accumulo significativo di lattato. Ciò è confermato dai bassi valori di lattato ematico (circa 2,4–2,6 mmol·L<sup>-1</sup>) e frequenza cardiaca relativamente inferiore rispetto agli altri attrezzi (Marina & Rodríguez, 2014).

Le parallele asimmetriche e la trave presentano una durata intermedia e una combinazione di elementi statici, dinamici e di controllo. In questi attrezzi si osserva una maggiore integrazione tra metabolismo anaerobico alattacido e lattacido, con un contributo crescente della glicolisi anaerobica nelle sequenze più lunghe o continue. Studi fisiologici indicano che esercizi di durata simile (circa 40–60 secondi) mostrano una predominanza del sistema alattacido (~50%), ma con contributi rilevanti sia del sistema lattacido (~20%)

sia aerobico (~30%) (Seemann-Sinn et al., 2023). Questo evidenzia come anche in esercizi apparentemente di forza vi sia una significativa richiesta metabolica mista.

Il corpo libero rappresenta l'attrezzo con la maggiore complessità metabolica. Gli esercizi, che possono durare fino a 90 secondi, richiedono un'elevata produzione energetica sostenuta, con predominanza del metabolismo anaerobico lattacido. In questo contesto si registrano i valori più elevati di lattato (fino a 7–9 mmol·L<sup>-1</sup>) e frequenza cardiaca (fino a 183–199 bpm), insieme a un importante contributo aerobico per il mantenimento della prestazione. Il coinvolgimento aerobico può raggiungere percentuali elevate rispetto al VO<sub>2</sub>max, suggerendo un ruolo non trascurabile nella performance complessiva.

Nel complesso, la ginnastica artistica femminile rappresenta una disciplina anaerobica intermittente ad alta intensità, caratterizzata da una forte integrazione tra i diversi sistemi energetici. Studi recenti evidenziano come, durante esercizi ginnici, il contributo energetico sia distribuito tra sistema alattacido (~50%), aerobico (~30%) e lattacido (~20%), sottolineando la natura altamente combinata della prestazione. (Seemann-Sinn et al., 2023)

Risulta, quindi, evidente che la preparazione fisica delle ginnaste preveda uno sviluppo integrato dei diversi sistemi energetici, per migliorare la performance, ma anche ottimizzare i tempi di recupero e ridurre il rischio di affaticamento e infortuni.

È fondamentale disporre di strumenti di valutazione in grado di monitorare in modo oggettivo le capacità fisiologiche delle atlete. Tra i test maggiormente utilizzati in letteratura per la valutazione delle componenti anaerobiche si trova il test di Wingate, che stima la potenza anaerobica massima, ed è stato ampiamente impiegato negli studi sulla ginnastica artistica, evidenziando valori elevati di potenza nelle ginnaste d'élite, coerenti con le richieste esplosive della disciplina (Moeskops et al., 2019).

Per quanto riguarda la valutazione del metabolismo aerobico, vengono frequentemente utilizzati test incrementali per la stima del consumo massimo di ossigeno (VO<sub>2</sub>max), oltre al monitoraggio della frequenza cardiaca e delle concentrazioni di lattato ematico. Tuttavia, si tratta di protocolli generici, che non riflettono in modo specifico le richieste della disciplina.

In letteratura emerge una carenza significativa di test realmente sport-specifici per la ginnastica artistica. In questo contesto, è stato proposto un test di resistenza specifico per la ginnastica artistica (AGSET) che rappresenta, ad oggi, uno dei primi tentativi

strutturati, di creare uno strumento realmente specifico per questa disciplina, mostrando buoni livelli di validità e affidabilità nella valutazione della performance (Mkaouer et al., 2023).

Parallelamente, nella pratica si ricorre a test non specifici adattati, come il Multistage Shuttle Run Test e lo Yo-Yo Intermittent Recovery Test nella versione Children, ritenuti più adatti a giovani atleti.

Risulta interessante analizzare l'applicabilità e l'affidabilità di tali strumenti nel contesto della ginnastica artistica femminile, nonché comprendere le eventuali relazioni tra test specifici e non specifici. In questa prospettiva si inserisce il presente studio, che si propone di valutare la ripetibilità del test specifico e dello Yo-Yo Intermittent Recovery Test livello 1 (Yo-Yo IR1), oltre ad analizzare le differenze e le possibili correlazioni tra lo YOYO e l'AGSET.

## **2. LA VALUTAZIONE FUNZIONALE**

La valutazione funzionale rappresenta uno strumento fondamentale per l'analisi delle capacità fisiologiche dell'atleta e per la programmazione individualizzata dell'allenamento. Attraverso l'utilizzo di test specifici è possibile monitorare lo stato di efficienza fisica, individuare eventuali carenze e valutare gli adattamenti indotti dall'allenamento. I test di valutazione devono soddisfare criteri di validità, affidabilità, oggettività e riproducibilità, al fine di garantire risultati attendibili e confrontabili nel tempo.

In ambito sportivo, si distinguono test da laboratorio e test da campo: i primi consentono una misurazione diretta e altamente controllata con utilizzo di strumenti specifici per la rilevazione dei parametri fisiologici, mentre i secondi risultano maggiormente applicabili e specifici rispetto alle condizioni di gara.

Nella ginnastica artistica, la natura intermittente e ad alta intensità della prestazione rende necessario l'utilizzo di strumenti in grado di valutare sia le componenti anaerobiche sia la capacità di recupero e il contributo del metabolismo aerobico.

## 2.1 YO - YO INTERMITTENT RECOVERY TEST CHILDREN'S LEVEL 1

Nel presente studio, sono stati impiegati due test di valutazione funzionale con caratteristiche complementari: lo Yo-Yo Intermittent Recovery Test Children's Level 1 (YYIR1C), utilizzato per analizzare la capacità di recupero in esercizi intermittenti ad alta intensità, e l'Artistic Gymnastics Specific Endurance Test (AGSET), impiegato per valutare la resistenza in condizioni maggiormente specifiche per la ginnastica artistica.

Lo Yo-Yo Intermittent Recovery Test Children's Level 1 (è un test da campo non specifico ed è uno degli strumenti maggiormente utilizzati per valutare la capacità di sostenere sforzi intermittenti ad alta intensità, alternati a brevi periodi di recupero attivo, valutando la capacità di recupero del soggetto durante uno sforzo progressivamente crescente.

Esistono due livelli: il primo prevede una velocità iniziale inferiore rispetto al secondo, ma i risultati ottenuti nei due protocolli sono significativamente correlati. Studi presenti in letteratura evidenziano infatti che soggetti con elevate prestazioni nello Yo-Yo Intermittent Recovery Test Level 1 tendono a ottenere risultati analogamente elevati anche nel Level 2 (Krustrup et al., 2003; Bangsbo et al., 2008), confermando l'utilità del test nella valutazione della capacità di sostenere esercizi intermittenti ad alta intensità.

Tuttavia, il protocollo originale può risultare poco adeguato a popolazioni pediatriche, in quanto le distanze e le richieste fisiologiche portano spesso a una durata insufficiente del test. Per questo motivo è stata sviluppata una versione adattata per atleti in età evolutiva, denominata Yo-Yo Intermittent Recovery Level 1 Children (YYIR1C) (Ahler et al., 2012).

Il YYIR1C mantiene la struttura del test originale, prevedendo corse intermittenti a velocità progressivamente crescente fino all'esaurimento, intervallate da periodi di recupero attivo di 10 secondi. Sono state però introdotte alcune modifiche fondamentali per adattarsi alle capacità dei soggetti in età evolutiva: le distanze di corsa sono ridotte a  $2 \times 16$  metri (rispetto ai  $2 \times 20$  m del protocollo standard) e quelle di recupero a  $2 \times 4$  metri (rispetto ai  $2 \times 5$  m). Tali modifiche permettono di prolungare la durata del test e di ottenere una valutazione più affidabile della capacità intermittente nei bambini.

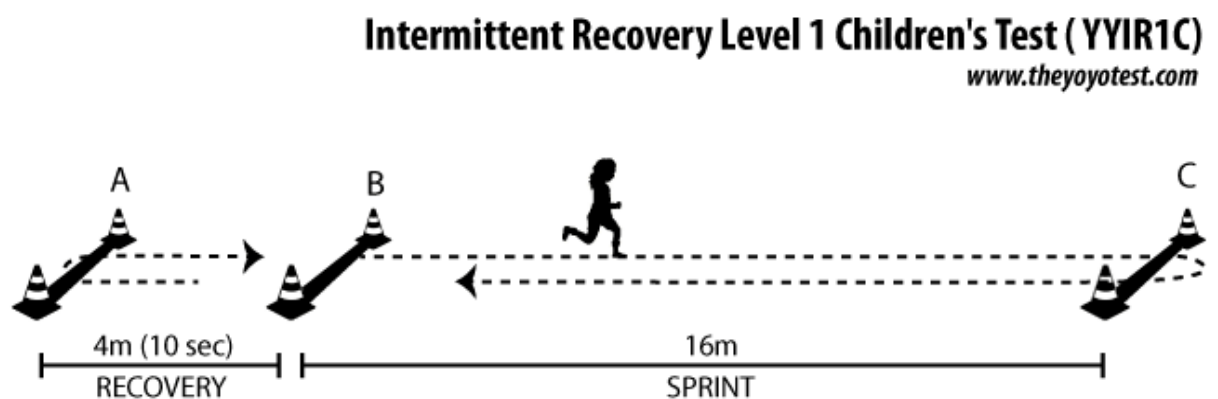
Dal punto di vista operativo, il test viene eseguito su una superficie piana, generalmente indoor, con i partecipanti che corrono avanti e indietro tra due linee al ritmo di segnali acustici preregistrati, che determinano la progressione della velocità. Il test termina quando il soggetto non è in grado di raggiungere la linea nel tempo stabilito per due volte

consecutive; la prestazione viene quindi espressa come distanza totale percorsa. La durata complessiva del test nei giovani atleti varia generalmente tra 3 e 12 minuti, risultando adeguata a una valutazione attendibile della capacità aerobica intermittente (Ahler et al., 2012; Bendiksen et al., 2013).

Ulteriori evidenze in letteratura supportano l'affidabilità e la validità dei test Yo-Yo in popolazioni giovanili. Studi condotti su soggetti tra i 9 e i 16 anni hanno dimostrato un'elevata affidabilità test-retest e una buona capacità del test di riflettere il livello di fitness aerobico e intermittente, oltre a una significativa correlazione con parametri fisiologici quali la frequenza cardiaca massima e il consumo di ossigeno ( $VO_{2max}$ ). Inoltre, versioni adattate del test hanno mostrato una buona validità ecologica, risultando rappresentative delle richieste intermittenti tipiche delle attività sportive giovanili.

Un altro aspetto di interesse riguarda la possibilità di utilizzare versioni submassimali del test, particolarmente utili in contesti applicativi in cui il tempo è limitato o in cui si vuole evitare un eccessivo affaticamento che possa interferire con l'allenamento o la competizione.

Nel complesso, lo YYIR1C rappresenta uno strumento valido, affidabile e applicabile per la valutazione della capacità di esercizio intermittente nei giovani, risultando particolarmente coerente con le richieste della ginnastica artistica, disciplina caratterizzata da sforzi ripetuti ad alta intensità intervallati da brevi recuperi.



**Figura 1.** Descrizione del test Yo-Yo Intermittent Recovery Level 1 Children's Test (YYIR1C).

## 2.2 TEST SPECIFICO: L'ARTISTIC GYMNASTICS SPECIFIC ENDURANCE TEST

Recentemente Mkaouer et al. (2023) hanno sviluppato l'Artistic Gymnastics Specific Endurance Test (AGSET), che ha l'obiettivo di valutare la resistenza in condizioni il più possibile simili a quelle di gara. Come evidenziato in letteratura, prima dell'introduzione di questo protocollo venivano utilizzati esclusivamente test generici, come il Multistage Shuttle Run Test o il Cooper test, non in grado di riprodurre le richieste specifiche della disciplina.

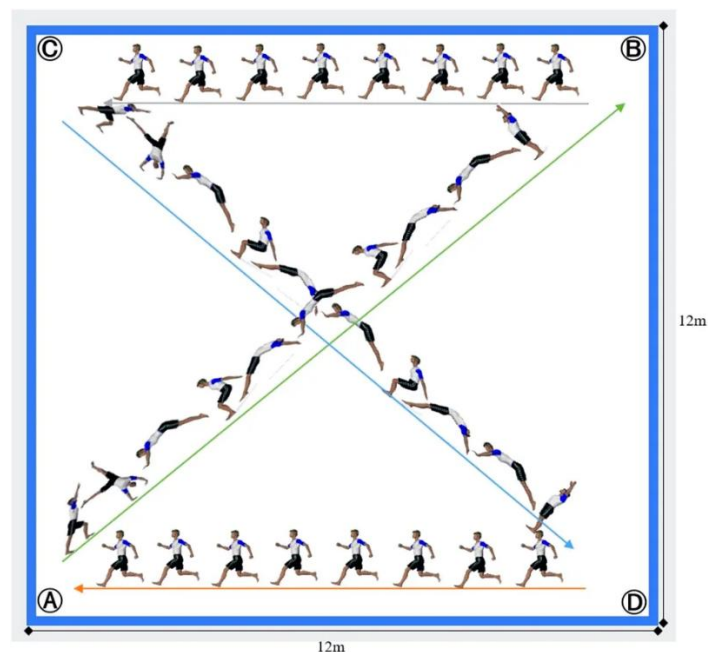
Il protocollo AGSET si inserisce in un filone di ricerca volto allo sviluppo di strumenti di valutazione sempre più specifici per la ginnastica artistica. In particolare, la sua struttura è stata ispirata al "Big Marathon Test" proposto dalla Federazione Internazionale di Ginnastica (FIG) nell'ambito dell'Age Group Development Program (Stan et al., 2001), successivamente oggetto di validazione da parte di Nassib et al. (2020). Questo test rappresentava uno dei primi tentativi di integrare componenti tecniche e richieste metaboliche tipiche della disciplina all'interno di un protocollo strutturato. L'AGSET riprende e sviluppa tali principi, proponendo una versione più standardizzata e scientificamente validata, con l'obiettivo di migliorare l'accuratezza della valutazione della resistenza in contesti specifici della ginnastica artistica.

Come illustrato nella Figura 2, il protocollo AGSET prevede l'alternanza di sequenze acrobatiche e tratti di corsa, con un incremento progressivo della velocità di esecuzione ed è stato progettato per integrare componenti tecniche e metaboliche tipiche della ginnastica artistica. Il test si svolge su pedana regolamentare ( $14 \times 14$  m) e prevede l'esecuzione di sequenze acrobatiche alternate a fasi di corsa. In particolare, ogni stadio include due diagonali con elementi acrobatici (rondata seguita da due flic-flac) e due tratti di corsa laterale di circa 12 metri. Il ritmo di esecuzione è scandito da segnali acustici, con una velocità progressivamente crescente a ogni livello. Dal punto di vista fisiologico, durante il test vengono rilevati diversi parametri, tra cui consumo massimo di ossigeno ( $VO_{2max}$ ), velocità aerobica massima (MAS), frequenza cardiaca massima (HRmax), concentrazione di lattato ematico (BLa), rapporto di scambio respiratorio (RER) e tempo totale di esaurimento (TTM). L'insieme di questi parametri consente una valutazione integrata della risposta fisiologica allo sforzo. Questa multidimensionalità rappresenta uno dei principali punti di forza del protocollo, in quanto consente una valutazione completa delle capacità aerobiche e anaerobiche dell'atleta.

I risultati dello studio di validazione hanno evidenziato un'elevata affidabilità del test, con valori di Intraclass Correlation Coefficient (ICC) superiori a 0,90 per la maggior parte delle variabili e un errore di misura inferiore al 5%. Inoltre, l'AGSET ha mostrato una buona sensibilità nel rilevare piccoli cambiamenti della performance, risultando quindi utile anche nel monitoraggio dell'allenamento.

Per quanto riguarda la validità concorrente, il test ha dimostrato correlazioni quasi perfette con il Multistage Shuttle Run Test per quanto riguarda  $VO_2\text{max}$  e MAS ( $r \approx 0,98$ ), indicando che il protocollo è in grado di fornire una stima accurata della capacità aerobica, pur mantenendo un'elevata specificità sportiva.

Nel complesso, l'AGSET rappresenta uno dei primi test realmente sport-specifici sviluppati per la ginnastica artistica, in grado di integrare le richieste tecniche e fisiologiche della disciplina, offrendo agli allenatori uno strumento valido, affidabile e applicabile per la valutazione della resistenza.



**Figura 2.** Schema di modalità di esecuzione dell'AGSET.

Il confronto tra YYIR1C e AGSET risulta di particolare interesse, in quanto i due protocolli presentano caratteristiche complementari. Il primo rappresenta un test da campo non specifico, ampiamente validato, in grado di valutare la capacità di sostenere sforzi intermittenti e il recupero ad alta intensità; il secondo, invece, è stato progettato per riprodurre in modo più fedele le richieste tecniche e metaboliche della ginnastica artistica.

L'utilizzo congiunto di questi strumenti consente quindi di indagare se una capacità generale di esercizio intermittente sia associata alla performance in un contesto sport-specifico. In particolare, ci si può attendere una relazione tra i parametri fisiologici rilevati nei due test, pur considerando le differenze legate alla specificità tecnica dell'AGSET.

Al tempo stesso, eventuali discrepanze nei risultati potrebbero evidenziare i limiti dei test non specifici nel rappresentare le reali richieste della disciplina, rafforzando l'importanza di strumenti di valutazione maggiormente contestualizzati.

Considerando che il YYIR1C valuta principalmente la capacità di sostenere esercizi intermittenti ad alta intensità in un contesto non specifico, mentre l'AGSET integra componenti fisiologiche e tecnico-coordinative proprie della ginnastica artistica, il confronto tra i due protocolli può contribuire a chiarire se un test sport-specifico sia in grado di descrivere la capacità di endurance delle giovani ginnaste in modo più rappresentativo rispetto a un test tradizionale. In questa prospettiva si inserisce il presente studio.

## 2.3 SCOPO DELLA TESI

Lo scopo del presente studio è valutare la ripetibilità dello Yo-Yo Intermittent Recovery Children Test Level 1 e dell'Artistic Gymnastics Specific Endurance Test in un campione di giovani ginnaste di livello GOLD.

Inoltre, lo studio si propone di analizzare le differenze e le eventuali correlazioni tra i parametri fisiologici rilevati nei due protocolli, tra cui frequenza cardiaca, consumo massimo di ossigeno ( $VO_{2max}$ ) e percezione dello sforzo, nonché le variabili specifiche dell'AGSET, quali tempo totale mantenuto e velocità aerobica massima.

L'obiettivo è verificare l'applicabilità e l'utilità del test sport-specifico nel contesto della ginnastica artistica in età evolutiva, confrontandolo con un test da campo non specifico.

I risultati potrebbero fornire agli allenatori uno strumento operativo per il monitoraggio periodico delle ginnaste in età evolutiva, contribuendo a una pianificazione del carico più individualizzata.

### 3. MATERIALI E METODI

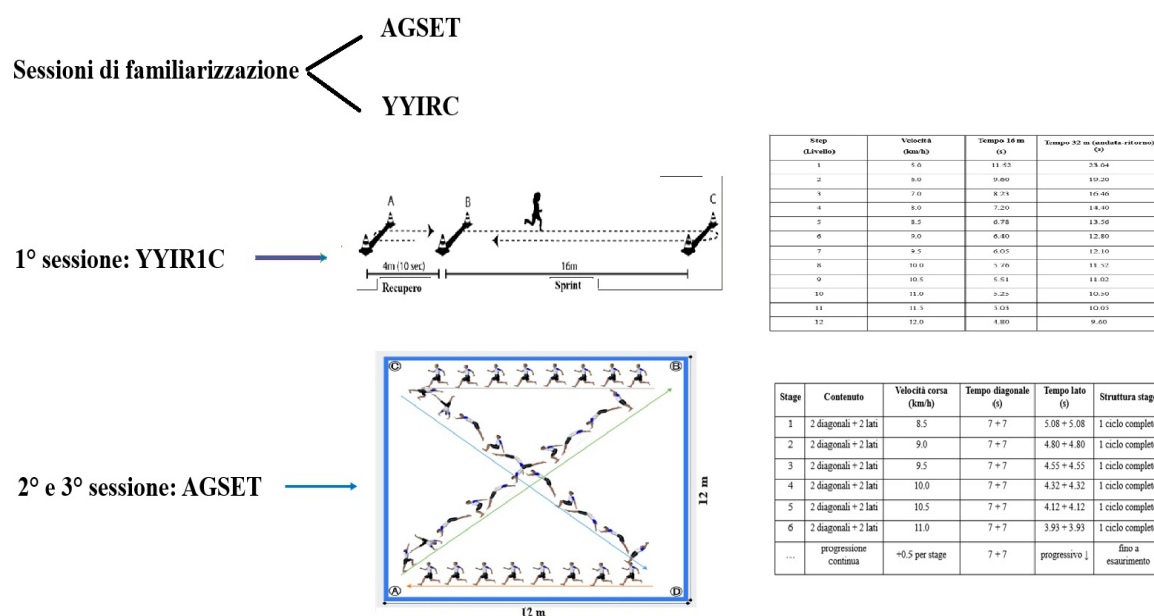
#### 3.1.1 DISEGNO SPERIMENTALE

Il presente studio è stato condotto secondo un disegno sperimentale con misure ripetute (test – retest), finalizzato alla valutazione della ripetibilità e al confronto tra due protocolli di endurance.

Il protocollo sperimentale ha previsto la somministrazione di due test: l'Artistic Gymnastics Specific Endurance Test (AGSET), effettuato in modalità test – retest, e lo Yo-Yo Intermittent Recovery Children Test Level 1 (YYIR1C), effettuato una sola volta. Le prove sono state eseguite in giornate differenti, con un intervallo di una settimana tra una sessione e la successiva, al fine di garantire un adeguato recupero ed evitare interferenze dovute all'affaticamento.

L'ordine di esecuzione è stato randomizzato tra le partecipanti. Tutte le valutazioni sono state effettuate nello stesso ambiente e in orari simili, per ridurre l'influenza di variabili esterne e garantire la riproducibilità delle misurazioni, in linea con quanto riportato in letteratura.

Prima dell'inizio delle prove, le atlete sono state sottoposte a una fase di familiarizzazione con i protocolli di test, al fine di minimizzare l'effetto di apprendimento e migliorare l'affidabilità dei risultati.



**Figura 3.** Disegno sperimentale: Lo studio ha avuto una durata di 5 settimane con lo svolgimento di 1 sessione a settimana

### 3.1.2 SOGGETTI

Il campione dello studio è costituito da 11 giovani ginnaste di livello GOLD appartenenti alla stessa società, di età compresa tra i 10 e i 13 anni ( $11,7 \pm 0,9$  anni).

Le atlete presentano un peso corporeo medio di  $35,7 \pm 7,4$  kg e un'altezza media di  $140,1 \pm 10,3$  cm.

Tutte le partecipanti erano regolarmente impegnate in attività agonistica e svolgevano un volume di allenamento settimanale compreso tra le 18 e le 20 ore.

Sono state incluse nello studio ginnaste prive di infortuni o condizioni cliniche tali da limitare la prestazione durante i test.

Prima della partecipazione allo studio, le atlete e i rispettivi genitori o tutori legali sono stati informati sulle procedure sperimentali e hanno fornito il consenso informato.

Non è stata effettuata una valutazione diretta del livello di maturazione biologica delle atlete, ad esempio tramite la stima dell'età al picco di velocità di crescita staturale (Peak Height Velocity, PHV). Tale scelta è stata determinata principalmente da vincoli organizzativi e logistici dalla volontà di mantenere un protocollo di valutazione semplice e facilmente applicabile nel contesto della palestra.

Tuttavia, è importante sottolineare come, in una popolazione in età evolutiva, differenze nel grado di maturazione biologica possano influenzare in modo significativo le risposte fisiologiche e le prestazioni nei test di valutazione funzionale. Pertanto, la mancata considerazione di questo aspetto rappresenta un possibile limite dello studio, da tenere in considerazione nell'interpretazione dei risultati.

Studi futuri dovrebbero includere una stratificazione del campione in base al livello di maturazione biologica, al fine di ottenere una valutazione più accurata e individualizzata. Prima dell'esecuzione di ciascun protocollo sperimentale, tutte le partecipanti hanno svolto un riscaldamento standardizzato, identico per entrambe le sessioni di test, al fine di garantire condizioni di valutazione omogenee.

### 3.1.3 YO-YO INTERMITTENT RECOVERY CHILDREN TEST LEVEL 1

Lo Yo-Yo Intermittent Recovery Children Test Level 1 (YYIR1C) è un test da campo utilizzato per valutare la capacità di sostenere sforzi intermittenti ad alta intensità nei giovani atleti.

Il protocollo prevede corse ripetute avanti e indietro tra due linee distanti 16 metri, intervallate da periodi di recupero attivo di 10 secondi su una distanza di 4 metri. La velocità di corsa aumenta progressivamente ed è regolata da segnali acustici preregistrati. Il test termina quando l'atleta non è in grado di raggiungere la linea nel tempo previsto per due volte consecutive.

La prestazione viene espressa in termini di distanza totale percorsa (m).

Durante l'esecuzione del test sono stati rilevati i seguenti parametri fisiologici:

- frequenza cardiaca (FC), monitorata in continuo e registrata come valore medio e massimo
- percezione dello sforzo (RPE), rilevata al termine del test mediante scala di Borg
- $\text{VO}_2\text{max}$  stimato indirettamente sulla base della prestazione ottenuta (distanza percorsa) tramite questa formula:  $(D \times 0.0084 + 36.4)$

I dati sono stati registrati mediante l'utilizzo di cardiofrequenzimetri.

### 3.1.4 ARTISTIC GYMNASTICS SPECIFIC ENDURANCE TEST

L'Artistic Gymnastics Specific Endurance Test (AGSET) è un protocollo sviluppato per valutare la resistenza in condizioni specifiche della ginnastica artistica.

Il test viene eseguito su pedana regolamentare e prevede l'alternanza di sequenze acrobatiche e tratti di corsa, simulando la natura intermittente della disciplina. In particolare, ogni livello include due diagonali con una serie acrobatica composta da una rondata e due flic - flac e tratti di corsa laterale.

L'intensità del test aumenta progressivamente ed è regolata da segnali acustici che scandiscono il ritmo di esecuzione.

Il test termina quando l'atleta non è più in grado di mantenere il ritmo imposto o non esegue correttamente gli elementi tecnici richiesti.

Durante e al termine del test sono stati rilevati i seguenti parametri:

- frequenza cardiaca (FC), registrata con l'utilizzo del cardiofrequenzimetro, come valore medio e massimo

- consumo massimo di ossigeno ( $\text{VO}_2\text{max}$ ), calcolato indirettamente
- percezione dello sforzo (RPE), rilevata al termine del test mediante scala di Borg

Sono state inoltre analizzate variabili specifiche del test, tra cui:

- tempo totale mantenuto (TTM)
- velocità aerobica massima (MAS)

Questi parametri consentono una valutazione integrata della capacità di resistenza in condizioni specifiche della ginnastica artistica.

La Tabella 1 riporta la struttura completa del protocollo AGSET, nella quale sono descritti i diversi livelli del test, la velocità di esecuzione e i tempi parziali e cumulativi.

Il protocollo è organizzato in stadi progressivi caratterizzati da un incremento graduale della velocità, con alternanza di sequenze acrobatiche lungo la diagonale e tratti di corsa laterale. Tale organizzazione consente di riprodurre le richieste intermittenti tipiche della ginnastica artistica, aumentando progressivamente l'intensità dello sforzo fino all'esaurimento.

L'incremento della velocità tra gli stadi determina un aumento progressivo del carico metabolico, consentendo la valutazione della capacità di resistenza specifica e l'identificazione della velocità aerobica massima (MAS).

| Speed (km·h <sup>-1</sup> ) | Stage | Floor    | Time  | Total time  |
|-----------------------------|-------|----------|-------|-------------|
| 8.5                         | 1     | Diagonal | 7.000 | 00:00:07:00 |
|                             |       | Side     | 5.082 | 00:00:12:08 |
|                             |       | Diagonal | 7.000 | 00:00:19:08 |
|                             |       | Side     | 5.082 | 00:00:24:16 |
| 9                           | 2     | Diagonal | 7.000 | 00:00:31:16 |
|                             |       | Side     | 4.800 | 00:00:35:96 |
|                             |       | Diagonal | 7.000 | 00:00:42:96 |
|                             |       | Side     | 4.800 | 00:00:47:76 |
| 9.5                         | 3     | Diagonal | 7.000 | 00:00:54:76 |
|                             |       | Side     | 4.547 | 00:00:59:31 |
|                             |       | Diagonal | 7.000 | 00:01:06:31 |
|                             |       | Side     | 4.547 | 00:01:10:86 |
| 10                          | 4     | Diagonal | 7.000 | 00:01:17:86 |
|                             |       | Side     | 4.320 | 00:01:22:18 |
|                             |       | Diagonal | 7.000 | 00:01:29:18 |
|                             |       | Side     | 4.320 | 00:01:33:50 |
| 10.5                        | 5     | Diagonal | 7.000 | 00:01:40:50 |
|                             |       | Side     | 4.114 | 00:01:44:61 |
|                             |       | Diagonal | 7.000 | 00:01:51:61 |
|                             |       | Side     | 4.114 | 00:01:55:73 |
| 11                          | 6     | Diagonal | 7.000 | 00:02:02:73 |
|                             |       | Side     | 3.927 | 00:02:06:65 |
|                             |       | Diagonal | 7.000 | 00:02:13:65 |
|                             |       | Side     | 3.927 | 00:02:17:58 |
| 11.5                        | 7     | Diagonal | 7.000 | 00:02:24:58 |
|                             |       | Side     | 3.757 | 00:02:28:34 |
|                             |       | Diagonal | 7.000 | 00:02:35:34 |
|                             |       | Side     | 3.757 | 00:02:39:10 |
| 12                          | 8     | Diagonal | 7.000 | 00:02:46:10 |
|                             |       | Side     | 3.600 | 00:02:49:70 |
|                             |       | Diagonal | 7.000 | 00:02:56:70 |
|                             |       | Side     | 3.600 | 00:03:00:30 |
| 12.5                        | 9     | Diagonal | 7.000 | 00:03:07:30 |
|                             |       | Side     | 3.456 | 00:03:10:75 |
|                             |       | Diagonal | 7.000 | 00:03:17:75 |
|                             |       | Side     | 3.456 | 00:03:21:21 |
| 13                          | 10    | Diagonal | 7.000 | 00:03:28:21 |
|                             |       | Side     | 3.323 | 00:03:31:53 |
|                             |       | Diagonal | 7.000 | 00:03:38:53 |
|                             |       | Side     | 3.323 | 00:03:41:85 |
| 13.5                        | 11    | Diagonal | 7.000 | 00:03:48:85 |
|                             |       | Side     | 3.200 | 00:03:52:05 |
|                             |       | Diagonal | 7.000 | 00:03:59:05 |
|                             |       | Side     | 3.200 | 00:04:02:25 |
| 14                          | 12    | Diagonal | 7.000 | 00:04:09:25 |
|                             |       | Side     | 3.086 | 00:04:12:34 |
|                             |       | Diagonal | 7.000 | 00:04:19:34 |
|                             |       | Side     | 3.086 | 00:04:22:42 |
| 14.5                        | 13    | Diagonal | 7.000 | 00:04:29:42 |
|                             |       | Side     | 2.979 | 00:04:32:40 |
|                             |       | Diagonal | 7.000 | 00:04:39:40 |
|                             |       | Side     | 2.979 | 00:04:42:38 |
| 15                          | 14    | Diagonal | 7.000 | 00:04:49:38 |
|                             |       | Side     | 2.880 | 00:04:52:26 |
|                             |       | Diagonal | 7.000 | 00:04:59:26 |
|                             |       | Side     | 2.880 | 00:05:02:14 |

**Tabella 1.** Struttura del protocollo dell'Artistic Gymnastics Specific Endurance Test (AGSET)

## 3.2 ANALISI DEI DATI

I dati sono stati preliminarmente sottoposti ad analisi descrittiva e riportati come media  $\pm$  deviazione standard (DS). L'affidabilità test-retest delle variabili rilevate durante il protocollo AGSET è stata valutata mediante il coefficiente di correlazione intraclasse (ICC), con intervallo di confidenza al 95% (IC95%), e tramite l'alfa di Cronbach ( $\alpha$ ).

I valori di ICC sono stati interpretati secondo criteri comunemente adottati in letteratura: valori inferiori a 0,50 indicano una scarsa affidabilità, valori compresi tra 0,50 e 0,75 un'affidabilità moderata, valori tra 0,75 e 0,90 una buona affidabilità e valori superiori a 0,90 un'affidabilità eccellente.

Per verificare l'eventuale presenza di differenze sistematiche tra la prima (T1) e la seconda (T2) sessione di valutazione è stato utilizzato il test t per campioni appaiati. Le relazioni tra le variabili fisiologiche e prestative sono state analizzate mediante il coefficiente di correlazione di Spearman ( $\rho$ ). L'intensità delle correlazioni è stata interpretata secondo le seguenti soglie: trascurabile ( $< 0,30$ ), moderata (0,30–0,49), forte (0,50–0,69), molto forte (0,70–0,89) ed estremamente forte ( $\geq 0,90$ ).

Il livello di significatività statistica è stato fissato a  $p < 0,05$ . L'analisi statistica dei dati è stata effettuata mediante il software IBM SPSS Statistics.

## 4. RISULTATI

I risultati sono presentati seguendo l'ordine delle analisi statistiche descritte nel capitolo precedente.

### 4.1.1 AFFIDABILITÀ DELLE MISURAZIONI

L'analisi dell'affidabilità test-retest, condotta su un campione di 11 soggetti ( $N = 11$ ), ha evidenziato livelli di affidabilità compresi tra moderati ed eccellenti per le variabili considerate.

La frequenza cardiaca media (FC media) ha mostrato un'eccellente affidabilità, con un Alfa di Cronbach pari a 0,993 e un coefficiente di correlazione intraclasse (ICC) di 0,986 (IC95%: 0,949–0,996;  $p < 0,001$ ). Analogamente, la frequenza cardiaca massima (FCmax) ha evidenziato valori molto elevati di affidabilità ( $\alpha = 0,986$ ; ICC = 0,971; IC95%: 0,898–0,992;  $p < 0,001$ ).

Anche la velocità di picco raggiunta durante il protocollo AGSET (Vpeak) ha mostrato una buona stabilità tra le due sessioni di test, con un Alfa di Cronbach pari a 0,925 e un ICC di 0,860 (IC95%: 0,564–0,960;  $p < 0,001$ ).

Le variabili Step e Rating of Perceived Exertion (RPE) hanno presentato livelli di affidabilità moderati ma comunque accettabili. In particolare, Step ha registrato  $\alpha = 0,746$  e ICC = 0,595 (IC95%: 0,027–0,872;  $p = 0,021$ ), mentre RPE ha evidenziato  $\alpha = 0,743$  e ICC = 0,591 (IC95%: 0,023–0,871;  $p = 0,021$ ).

Nel complesso, i risultati indicano che il protocollo AGSET possiede una buona riproducibilità, soprattutto per quanto riguarda le risposte cardiovascolari e la velocità di picco raggiunta durante il test. I valori completi degli indici di affidabilità sono riportati nella Tabella 2.

| Variabile | Alfa di Cronbach ( $\alpha$ ) | ICC   | IC95% Inferiore | IC95% Superiore | p       |
|-----------|-------------------------------|-------|-----------------|-----------------|---------|
| Vpeak     | 0,925                         | 0,860 | 0,564           | 0,960           | < 0,001 |
| Step      | 0,746                         | 0,595 | 0,027           | 0,872           | 0,021   |
| RPE       | 0,743                         | 0,591 | 0,023           | 0,871           | 0,021   |
| FCmedia   | 0,993                         | 0,986 | 0,949           | 0,996           | < 0,001 |
| FCmax     | 0,986                         | 0,971 | 0,898           | 0,992           | < 0,001 |

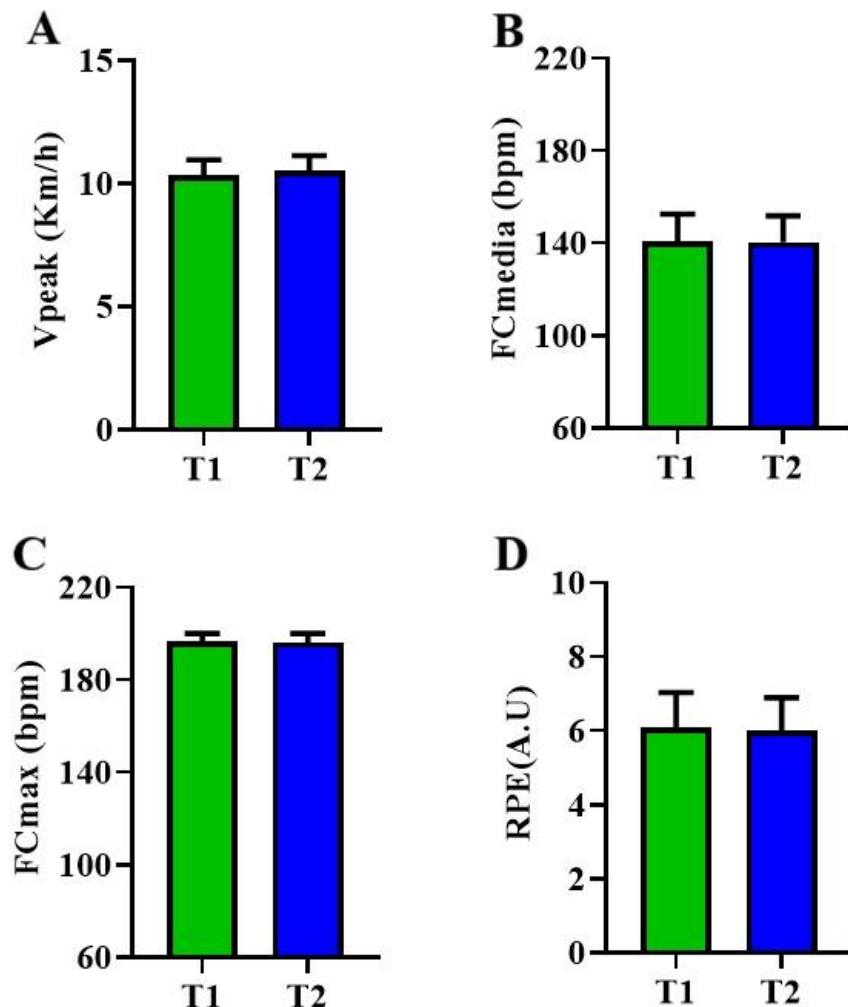
**Tabella 2.** Affidabilità test–retest delle variabili rilevate durante il protocollo AGSET (N = 11).

ICC = Intraclass Correlation Coefficient (modello misto a due vie, consistenza, misure singole); IC95% = intervallo di confidenza al 95%; FCmean = frequenza cardiaca media; FCmax = frequenza cardiaca massima; Vpeak = velocità di picco; RPE = Rating of Perceived Exertion.

#### 4.1.2 CONFRONTO TRA T1 E T2

L'analisi mediante test t per campioni appaiati non ha evidenziato differenze statisticamente significative tra la prima (T1) e la seconda (T2) rilevazione per nessuna delle variabili considerate ( $p > 0,05$ ). In particolare, la velocità di picco (Vpeak), il numero di step completati, la frequenza cardiaca media (FCmedia), la frequenza cardiaca massima (FCmax) e la percezione dello sforzo (RPE) hanno mostrato valori comparabili tra le due sessioni di valutazione. Tali risultati indicano una sostanziale stabilità delle prestazioni e delle risposte fisiologiche dei partecipanti tra le due somministrazioni del protocollo AGSET.

L'assenza di differenze significative tra T1 e T2 supporta ulteriormente la riproducibilità del test e conferma la consistenza delle misurazioni ottenute nelle diverse sessioni di valutazione (Figura 3).



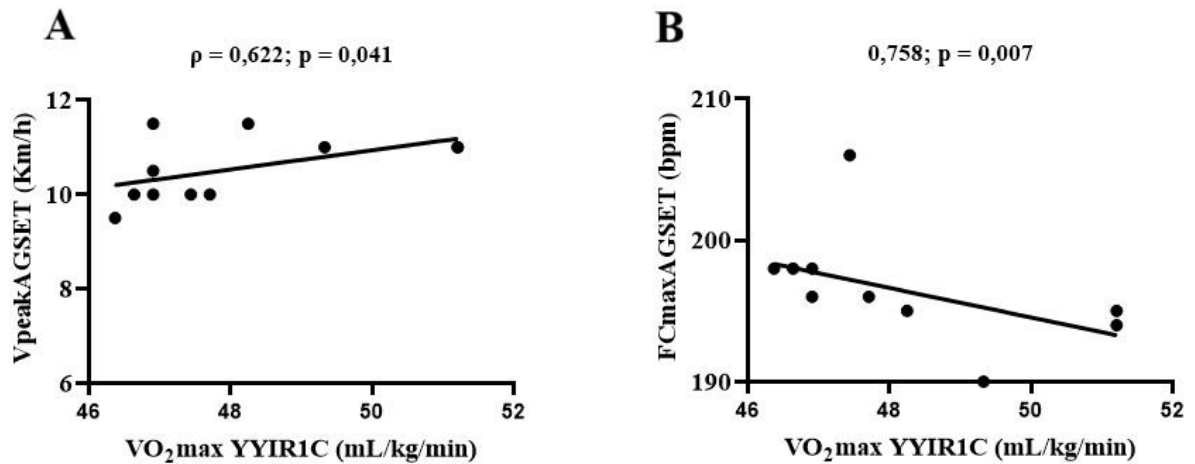
**Figura 4.** Confronto tra la prima (T1) e la seconda (T2) esecuzione dell'AGSET per le variabili analizzate: A) velocità di picco (Vpeak); B) frequenza cardiaca media (FCmedia); C) frequenza cardiaca massima (FCmax); D) percezione dello sforzo (RPE).

## 4.2 ANALISI DELLE CORRELAZIONI

L'analisi statistica ha evidenziato diverse relazioni tra le variabili fisiologiche e prestative considerate. Il  $\text{VO}_2\text{max}$  ha mostrato una correlazione significativa e positiva con la velocità di picco ottenuta nel test AGSET (Vpeak AGSET) ( $\rho = 0,622$ ;  $p = 0,041$ ), suggerendo che gli atleti con una maggiore capacità aerobica tendevano generalmente a raggiungere velocità di picco più elevate durante il protocollo AGSET.

Per quanto riguarda la frequenza cardiaca massima registrata durante l'AGSET (FCmax AGSET), è stata osservata una relazione inversa con il  $\text{VO}_2\text{max}$ , infatti, l'analisi statistica

ha evidenziato una correlazione negativa forte e statisticamente significativa ( $\rho = -0,758$ ;  $p = 0,007$ ), suggerendo che gli atleti con maggiore capacità aerobica tendevano a raggiungere valori inferiori di frequenza cardiaca massima durante il protocollo (Figura 4).



**Figura 5.** Correlazioni tra: A) Velocità di picco nell' AGSET test e il massimo consumo di ossigeno dello YYIR1C; B) Frequenza cardiaca massima nell' AGSET test e il massimo consumo di ossigeno dello YYIR1C.

## 5. DISCUSSIONE

Il presente studio è stato condotto con l'obiettivo di valutare preliminarmente l'affidabilità test-retest dell'AGSET in un gruppo di giovani ginnaste e di indagarne la possibile applicabilità come strumento di valutazione della capacità aerobica in questa popolazione. I risultati ottenuti evidenziano una buona riproducibilità del protocollo e forniscono indicazioni preliminari sul suo potenziale utilizzo nella valutazione funzionale delle giovani atlete. A differenza dello studio originale di Mkaouer et al. (2023), condotto su ginnasti adulti d'élite, il presente lavoro ha applicato il protocollo a ginnaste in età evolutiva (10–13 anni), contribuendo ad ampliare le conoscenze disponibili in una fascia di età ancora poco indagata. L'assenza di differenze statisticamente significative tra la prima e la seconda somministrazione del test per tutte le variabili considerate conferma la stabilità delle misurazioni nel tempo e suggerisce che le partecipanti siano state in grado di comprendere ed eseguire correttamente il protocollo già dalla prima sessione, senza evidenti effetti di apprendimento. Tale aspetto è ulteriormente supportato dai risultati dell'analisi di affidabilità, che hanno evidenziato valori eccellenti per i parametri cardiaci

(ICC = 0,986 per FCmean e ICC = 0,971 per FCmax), una buona affidabilità per la velocità di picco (ICC = 0,860) e valori moderati ma accettabili per Step e RPE. Sebbene tali valori risultino leggermente inferiori rispetto a quelli riportati da Mkaouer et al. (2023) nel campione di ginnasti adulti, essi appaiono coerenti con la maggiore variabilità biologica tipica dell'età evolutiva e con quanto osservato in altri test da campo somministrati a popolazioni giovanili. L'analisi correlazionale ha inoltre evidenziato una forte associazione tra VO<sub>2</sub>max e VpeakYYIR1C, confermando il ruolo della capacità aerobica nella prestazione durante il test intermittente. Al contrario, la relazione tra VO<sub>2</sub>max e VpeakAGSET è risultata significativa solo nell'analisi non parametrica, suggerendo che la prestazione nel test sport-specifico non dipenda esclusivamente dalla capacità aerobica ma sia influenzata anche da fattori coordinativi, tecnici e neuromuscolari caratteristici della ginnastica artistica. Questa interpretazione è supportata dalla letteratura relativa ad altri sport, nella quale i test ad elevata specificità tecnica mostrano generalmente correlazioni inferiori con gli indicatori aerobici tradizionali rispetto ai test di corsa lineare. Particolarmente interessante è risultata la correlazione negativa osservata tra FCmax AGSET e VO<sub>2</sub>max, che indica come le atlete dotate di una migliore capacità aerobica tendano a raggiungere frequenze cardiache massime inferiori durante il protocollo, probabilmente in virtù di una maggiore efficienza cardiovascolare. Complessivamente, tali risultati suggeriscono che AGSET e YYIR1C valutino dimensioni parzialmente sovrapponibili ma non identiche della prestazione fisica, conferendo all'AGSET un potenziale valore aggiunto rispetto ai test tradizionali grazie alla sua maggiore specificità ecologica. Dal punto di vista applicativo, l'AGSET potrebbe rappresentare uno strumento utile per il monitoraggio della condizione fisica delle giovani ginnaste durante la stagione sportiva, consentendo agli allenatori di valutare contemporaneamente aspetti aerobici, cardiovascolari e tecnico-coordinativi in un contesto più vicino alle richieste della disciplina. Inoltre, il protocollo potrebbe supportare la programmazione individualizzata dell'allenamento, permettendo di monitorare gli adattamenti indotti dal training e di identificare eventuali carenze prestantive specifiche. In prospettiva, l'integrazione dell'AGSET con test tradizionali come lo YYIR1C potrebbe fornire una valutazione più completa delle capacità funzionali delle giovani ginnaste, migliorando il processo di monitoraggio e ottimizzazione della performance.

## 5.1 LIMITI

Lo studio presenta alcune limitazioni che devono essere considerate nell'interpretazione dei risultati. La principale riguarda la ridotta dimensione del campione ( $n = 11$ ), che limita la potenza statistica delle analisi e la generalizzabilità dei risultati. Inoltre, l'AGSET non è stato originariamente sviluppato né validato per la fascia d'età considerata, rendendo necessario interpretare i risultati come preliminari. Un ulteriore limite è rappresentato dall'assenza di una valutazione del grado di maturazione biologica delle atlete, fattore che può influenzare significativamente le risposte fisiologiche e prestative in età evolutiva. La stima indiretta del  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , utilizzata per ragioni di praticità applicativa, introduce inoltre un margine di errore superiore rispetto alla misurazione diretta mediante analisi dei gas respiratori. Durante la somministrazione del protocollo è emerso inoltre che l'AGSET risulta particolarmente impegnativo per ginnaste di questa fascia d'età, che tendono a raggiungere l'esaurimento in tempi relativamente brevi. Questo suggerisce la necessità di sviluppare una versione adattata del protocollo per l'età evolutiva, con velocità iniziali inferiori e incrementi più gradualmente tra gli stadi, analogamente a quanto realizzato per lo Yo-Yo Intermittent Recovery Test Children. Futuri studi dovrebbero pertanto validare una versione modificata dell'AGSET su campioni più ampi e stratificati per età, livello tecnico e maturazione biologica, approfondendone affidabilità e validità attraverso il confronto con misure fisiologiche di riferimento, inclusa la misurazione diretta del  $\text{VO}_{2\text{max}}$ .

## 6. CONCLUSIONI

Il presente studio ha rappresentato un primo tentativo di applicazione dell'Artistic Gymnastics Specific Endurance Test (AGSET) in un gruppo di giovani ginnaste in età evolutiva, con l'obiettivo di valutarne l'affidabilità e di esplorarne il potenziale utilizzo come strumento per la valutazione della capacità aerobica e della prestazione specifica nella ginnastica artistica.

I risultati ottenuti evidenziano che il protocollo presenta una buona riproducibilità e stabilità delle misurazioni, suggerendo che possa essere utilizzato in modo affidabile per il monitoraggio delle giovani atlete. Inoltre, le associazioni osservate tra le variabili rilevate mediante AGSET e quelle ottenute attraverso un test consolidato di valutazione

della capacità aerobica supportano l'ipotesi che il protocollo sia in grado di fornire informazioni utili sullo stato funzionale delle ginnaste.

Un aspetto particolarmente interessante emerso dallo studio riguarda la capacità dell'AGSET di valutare non soltanto componenti legate alla resistenza aerobica, ma anche aspetti tecnici, coordinativi e neuromuscolari strettamente connessi alle richieste della disciplina. Questa caratteristica conferisce al protocollo un'elevata specificità ecologica e ne rafforza il potenziale interesse applicativo nell'ambito della ginnastica artistica.

Dal punto di vista pratico, l'AGSET potrebbe rappresentare uno strumento utile per allenatori e preparatori atletici, consentendo di monitorare nel tempo gli adattamenti all'allenamento, supportare la programmazione individualizzata dei carichi di lavoro e ottenere una valutazione più vicina alle reali esigenze della disciplina rispetto ai tradizionali test da campo.

Nonostante questi risultati incoraggianti, le evidenze devono essere interpretate con cautela a causa della natura preliminare dello studio e delle limitazioni metodologiche presenti. Saranno pertanto necessari ulteriori studi su campioni più ampi e differenziati per età, livello tecnico e stato maturativo, al fine di confermare l'affidabilità e la validità del protocollo e di sviluppare eventuali adattamenti specifici per l'età evolutiva.

In conclusione, il presente lavoro fornisce le prime evidenze a supporto dell'utilizzo dell'AGSET nelle giovani ginnaste e rappresenta un punto di partenza per futuri studi finalizzati alla validazione di strumenti di valutazione sempre più specifici e applicabili nel contesto della ginnastica artistica giovanile.

## ***Bibliografia***

Ahler, T., Bendiksen, M., Krustup, P., & Wedderkopp, N. (2012). Aerobic fitness testing in 6- to 9-year-old children: Reliability and validity of a modified Yo-Yo IR1 test. *Pediatric Exercise Science*, 24(4), 600–610.

Bendiksen, M., Ahler, T., Clausen, H., Wedderkopp, N., & Krustup, P. (2013). The use of Yo-Yo intermittent recovery level 1 and Andersen testing for fitness and maximal heart rate assessments of 6- to 10-year-old school children. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(6), 1583–1590. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318270fd0b>

Balyi, I. (2003). *Long-term athlete development: Trainability in childhood and adolescence*. National Coaching Institute British Columbia & Advanced Training and Performance Ltd.

Bangsbo, J., Iaia, F. M., & Krustup, P. (2008). The Yo-Yo intermittent recovery test: A useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Medicine*, 38(1), 37–51. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838010-00004>

Castagna, C., Krustup, P., D'Ottavio, S., Pollastro, C., Bernardini, A., & Araújo Póvoas, S. C. (2019). Ecological validity and reliability of an age-adapted endurance field test in young male soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(12), 3400–3405. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002255>

Deprez, D., Fransen, J., Lenoir, M., Philippaerts, R. M., & Vaeyens, R. (2015). The Yo-Yo intermittent recovery test level 1 is reliable in young high-level soccer players. *Biology of Sport*, 32(1), 65–70. <https://doi.org/10.5604/20831862.1127284>

Krustup, P., Mohr, M., Amstrup, T., Rysgaard, T., Johansen, J., Steensberg, A., Pedersen, P. K., & Bangsbo, J. (2003). Yo-Yo intermittent recovery test: Physiological response, reliability, and validity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(4), 697–705. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000058441.94520.32>

Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2012). The youth physical development model: A new approach to long-term athletic development. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(5), 61–72. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31825760ea>

- Marina, M., & Rodríguez, F. A. (2014). Physiological demands of young women's competitive gymnastic routines. *Biology of Sport*, 31(3), 217–222. <https://doi.org/10.5604/20831862.1111849>
- Mkaouer, B., Amara, S., Bouguezzi, R., Ben Abderrahmen, A., & Chaabene, H. (2023). Validity of a new sport-specific endurance test in artistic gymnastics. *Frontiers in Sports and Active Living*, 5, 1159807. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1159807>
- Moeskops, S., Oliver, J. L., Read, P. J., Cronin, J. B., Myer, G. D., & Lloyd, R. S. (2019). The physiological demands of youth artistic gymnastics: Applications to strength and conditioning. *Strength and Conditioning Journal*, 41(1), 1–13. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000404>
- Nassib, S., Chtourou, H., Chaabene, H., Hachana, Y., & Franchini, E. (2020). Physiological responses and validity of a gymnastics-specific endurance test. *Biology of Sport*, 37(2), 149–156. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2020.93039>
- Seemann-Sinn, A., Rüdrieh, P., Gorges, T., Naundorf, F., & Wolfarth, B. (2023). Physiological and energetic demands during still-rings routines of elite artistic gymnasts. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 18(7), 704–710. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2022-0380>
- Stan, A., Fie, J., Fetzer, J., Fink, H., Bohner, W., Solar, N., et al. (2001). Age group technical program. In A. Stan (Ed.), *FIG age group development program* (pp. 59–93). International Gymnastics Federation.
- Viru, A., Loko, J., Harro, M., Volver, A., Laaneots, L., & Viru, M. (1999). Critical periods in the development of performance capacity during childhood and adolescence. *European Journal of Physical Education*, 4(1), 75–119. <https://doi.org/10.1080/1740898990040106>
- Weineck, J. (1980). *L'allenamento ottimale*. Calzetti e Mariucci.