
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA

**SCUOLA DI SCIENZE MEDICHE E FARMACEUTICHE
DIPARTIMENTO DI MEDICINA SPERIMENTALE (DIMES)**

Corso di laurea in Scienze e Tecniche dello Sport (LM-68)



**Effetti dell'allenamento pliometrico sulla performance nella
speed climbing**

Relatrice: Prof.ssa Vittoria Ferrando

Correlatore: Prof. Marco Panasci

Candidata:

Martina Calleri di Sala

A.A. 2025-2026

INDICE

1. INTRODUZIONE	2
1.1. L'arrampicata sportiva	2
1.2. Aspetto biomeccanico e ruolo del centro di massa	2
1.3. Le specialità dell'arrampicata sportiva	3
1.4. La performance nella specialità speed	4
1.5. Ruolo della forza nella performance dell'arrampicata	5
1.6. Allenamento pliometrico e arrampicata	6
1.7. Obiettivo dello studio	7
2. MATERIALI E METODI	8
2.1. Soggetti	8
2.2. <i>Procedura sperimentale</i>	9
2.3. Valutazione	16
2.3.1. <i>Test di forza</i>	16
2.3.2. <i>Cinematica relativa alla fluidità di risalita nello speed climbing</i>	20
2.3.3. <i>Materiale utilizzato per le valutazioni</i>	21
2.4. Analisi statistica	22
3. RISULTATI	23
3.1. <i>Test di forza</i>	23
3.1.1. <i>Forza di presa (Handgrip Strength)</i>	24
3.1.2. <i>Forza resistente degli arti superiori (Push-Up Test)</i>	24
3.1.3. <i>Forza esplosiva degli arti superiori (Chest Throw Test)</i>	24
3.2. <i>Cinematica relativa alla fluidità di risalita nello speed climbing</i>	25
3.2.1. <i>Altezza del Countermovement Jump (CMJ Height)</i>	25
3.2.2. <i>Velocità nel Countermovement Jump (CMJ Velocity)</i>	26
3.2.3. <i>Tempo di volo nel Countermovement Jump (CMJ Flight Time)</i>	26
3.2.4. <i>Potenza nel Countermovement Jump (CMJ Power)</i>	27
3.2.5. <i>Tempi di contatto</i>	28
3.2.6. <i>Spostamento centro di massa (COM)</i>	31
3.2.7. <i>Spostamento scapola</i>	33
3.2.8. <i>Relazione COM-scapola</i>	35
4. DISCUSSIONE	36
5. CONCLUSIONI	38
Bibliografia	41

1. INTRODUZIONE

1.1. L'arrampicata sportiva

L'arrampicata sportiva è una disciplina motoria complessa che consiste nella progressione verticale o sub-verticale su superfici naturali o artificiali mediante l'utilizzo coordinato di appigli e appoggi. Essa rappresenta un modello prestativo peculiare nel panorama degli sport individuali, in quanto integra in modo sinergico componenti fisiologiche, biomeccaniche, neuromuscolari e psicologiche. Dal punto di vista istituzionale, è regolamentata a livello internazionale dall'International Federation of Sport Climbing (IFSC) e ha ottenuto il riconoscimento olimpico ai Giochi di Tokyo 2020, segnando un importante sviluppo della disciplina in ambito scientifico e metodologico (Titouan Paul Perrin et al. 2026). L'arrampicata viene classificata come sport intermittente ad alta intensità, caratterizzato da contrazioni isometriche prolungate degli arti superiori, alternate a movimenti dinamici e fasi di recupero parziale (Titouan Paul Perrin et al. 2026). Una delle peculiarità principali risiede nell'elevato coinvolgimento dei muscoli flessori delle dita e dell'avambraccio, impegnati nel mantenimento della presa in condizioni spesso prossime all'occlusione vascolare locale. Tale condizione determina un accumulo di metaboliti che rappresenta uno dei principali fattori limitanti della performance (Devise, M. et al 2022)

1.2. Aspetto biomeccanico e ruolo del centro di massa

Dal punto di vista biomeccanico, l'arrampicata si configura come uno sport a catena cinetica prevalentemente chiusa, in cui il controllo del centro di massa rispetto ai punti di contatto con la parete rappresenta un elemento chiave dell'efficienza tecnica (Devise M. et. Al 2022). L'obiettivo dell'atleta è quello di ottimizzare la distribuzione del carico tra arti superiori e inferiori, riducendo il momento torcente sugli arti superiori e migliorando l'economia del gesto.

Le analisi cinematiche hanno evidenziato che gli arrampicatori esperti presentano traiettorie del centro di massa (COM) più fluide, dirette e con una minore variabilità motoria rispetto ai principianti, suggerendo una maggiore competenza percettivo-motoria e una migliore capacità di anticipazione (Sibella et al., 2007). L'efficienza tecnica si traduce in un minor dispendio energetico a parità di compito motorio, configurandosi come fattore determinante della performance.

1.3. Le specialità dell'arrampicata sportiva

L'arrampicata sportiva si articola in tre diverse specialità competitive, ciascuna caratterizzata da requisiti fisiologici, biomeccanici e cognitivi specifici: Lead, Boulder e Speed.

Lead: La specialità Lead consiste nella scalata di una via lunga, tipicamente tra i 12 e i 20 metri, con strumenti di assicurazione. La durata dello sforzo varia mediamente tra 2 e 7 minuti, e la performance è determinata dall'integrazione tra resistenza muscolare locale, forza relativa e efficienza tecnica.

È la prima disciplina dell'arrampicata sportiva e si ispira alle scalate su falesia in ambiente naturale.

Caratteristiche fisiologiche e biomeccaniche:

- Coinvolgimento elevato dei flessori delle dita e dell'avambraccio in contrazioni isometriche prolungate (Devise, M. et al 2022)
- Maggior contributo del metabolismo aerobico rispetto alle altre specialità, utile per ritardare la fatica locale e favorire il recupero tra sequenze ad alta intensità
- La tecnica ottimizzata e la gestione del centro di massa permettono di ridurre il dispendio energetico complessivo, con traiettorie più economiche e minore variabilità motoria

La Lead richiede capacità cognitive avanzate, tra cui anticipazione dei movimenti, pianificazione strategica e gestione dello stress associato all'altezza e al rischio percepito.

Boulder: Il Boulder si distingue per blocchi brevi molto intensi, generalmente non superiori ai 5 metri, senza l'uso della corda. La prestazione consiste nel risolvere problemi motori complessi in pochi movimenti.

Caratteristiche fisiologiche e biomeccaniche:

- Predominio del metabolismo anaerobico alattacido e lattacido, con rapida produzione di forza esplosiva.
- Elevata richiesta di potenza muscolare e coordinazione, soprattutto nella fase di spinta
- Necessità di strategie neuromuscolari ottimizzate per ridurre la fatica dei flessori delle dita, che spesso raggiunge rapidamente la soglia massima (Devise, M. et al 2022). Il Boulder richiede un'elevata capacità decisionale in tempo reale, poiché la soluzione motoria ottimale va individuata rapidamente.

Speed: La Speed consiste nella scalata di una via standardizzata di 15 metri nel minor tempo possibile, spesso inferiore a 7 secondi negli atleti di élite (Pandurevic et al., 2023), rappresentando una prestazione altamente specifica basata su velocità, potenza e coordinazione.

Caratteristiche fisiologiche e biomeccaniche:

- Predominio del metabolismo anaerobico alattacido, con reclutamento massivo di fibre veloci (Simon Fryer et al. 2015)
- Precisione tecnica: poiché ogni movimento errato comporta un aumento immediato del tempo di esecuzione.
- Controllo motorio fine e coordinazione occhio-mano-piede essenziali per garantire stabilità e rapidità

1.4. La performance nella specialità speed

La Speed rappresenta quindi una disciplina in cui la performance dipende quasi esclusivamente dalla forza esplosiva, dalla potenza muscolare e dalla tecnica ottimale, con limitata componente di resistenza.

La letteratura scientifica recente sottolinea l'importanza della qualità della traiettoria nella determinazione della prestazione della disciplina speed. Diversi studi hanno evidenziato come una traiettoria più lineare e con minori oscillazioni laterali sia correlata a tempi di completamento inferiori e maggiore efficienza globale del gesto.

- In uno studio di (Pandurević et al.), sono state analizzate circa 900 registrazioni di competizioni di Speed Climbing tramite sistemi di tracciamento del movimento. I risultati mostrano che gli atleti con movimenti più armonici, coordinati e sincroni tra arti superiori e inferiori presentano performance significativamente migliori. Traiettorie regolari e ridotte oscillazioni laterali minimizzano la dispersione di energia, ottimizzando la velocità verticale.
- Altri studi, come (Reveret et al.2020) (Lionel Reveret 1), attraverso un modello tridimensionale della cinematica del movimento, hanno dimostrato che deviazioni laterali o movimenti non verticali riducono l'efficienza del gesto e aumentano il tempo complessivo della scalata. Il mantenimento di una traiettoria lineare rappresenta dunque un fattore chiave per massimizzare la performance.
- Nello studio, (Pingao Huang 1, 2025) hanno sviluppato un sistema di analisi postura-traiettorie che quantifica deviazioni, flessioni e inflessioni lungo il percorso. Gli atleti con traiettorie più dirette e lineari presentano tempi di completamento inferiori e un miglior rapporto tra energia impiegata e velocità verticale.

1.5. Ruolo della forza nella performance dell'arrampicata

La forza è uno degli elementi fondamentali per chi pratica arrampicata, poiché influisce direttamente sulla capacità di affrontare vie impegnative e di mantenere il controllo in situazioni di alta fatica. I muscoli coinvolti nel movimento di arrampicata, in particolare i flessori, sono essenziali: devono sostenere il peso del corpo e consentire alle articolazioni di lavorare in modo efficiente. Una buona potenza muscolare non solo aumenta la prestazione, ma gioca anche un ruolo cruciale nella prevenzione degli infortuni, poiché muscoli forti e ben allenati hanno una maggiore capacità di supportare le sollecitazioni fisiche.

Scalare una parete alta richiede il coordinamento degli arti superiori e inferiori insieme al busto, nonché un controllo preciso del corpo. Studi precedenti hanno evidenziato l'importanza critica della forza degli arti superiori nel processo di arrampicata, con gli arti superiori che generano principalmente la forza di trazione mentre gli arti inferiori facilitano il salto iniziale. Una forza insufficiente degli arti superiori può impedire la capacità di

salire, anche quando la forza degli arti inferiori è robusta. Di conseguenza, l'esecuzione riuscita di una scalata dipende dalla forza combinata di entrambe le braccia, comunemente indicata come forza di presa sinistra (LPLIO) e forza di presa destra (RPLIO). (Wen-Lung Shih et al. 2024)

1.6. Allenamento pliometrico e arrampicata

La pliometria rappresenta una modalità di allenamento ampiamente utilizzata nel contesto della preparazione atletica, anche in ambito giovanile (Exal Garcia-Carrillo et. Al 2023) (Mehrez Hammami1 et al. 2020) finalizzata allo sviluppo della forza esplosiva e della potenza muscolare attraverso movimenti rapidi che coinvolgono il ciclo allungamento-accorciamento del muscolo (Stretch-Shortening Cycle, SSC). Questo metodo di allenamento si basa sull'alternanza tra una fase eccentrica rapida, durante la quale il muscolo viene allungato sotto tensione, e una successiva fase concentrica, in cui il muscolo si contrae producendo forza.

Dal punto di vista fisiologico, l'efficacia dell'allenamento pliometrico è legata alla capacità del sistema neuromuscolare di sfruttare l'energia elastica immagazzinata nei tendini e nelle strutture elastiche muscolari durante la fase eccentrica del movimento. Se la transizione tra la fase eccentrica e quella concentrica avviene rapidamente, l'energia elastica accumulata viene restituita contribuendo ad aumentare la produzione di forza e potenza.

Oltre ai benefici sulla performance, la pliometria è stata progressivamente integrata anche nei programmi di prevenzione degli infortuni e riabilitazione, grazie alla sua capacità di migliorare il controllo neuromuscolare e la stabilità articolare. In particolare, l'allenamento pliometrico contribuisce a migliorare la capacità del sistema muscolo-tendineo di assorbire e produrre forza in tempi molto brevi, qualità fondamentali in molti gesti sportivi caratterizzati da movimenti esplosivi e cambi di direzione. (Markovic G, Mikulic 2010) (Rafael L. Kons et al. 2023)

Alla luce di queste caratteristiche, la pliometria rappresenta oggi uno degli strumenti più diffusi nella preparazione atletica moderna, utilizzato per ottimizzare la capacità del sistema neuromuscolare di produrre forza rapidamente e migliorare l'efficienza dei movimenti sportivi.

Nel contesto dell'arrampicata sportiva, l'allenamento pliometrico può rappresentare uno strumento utile per migliorare alcune qualità neuromuscolari rilevanti per la performance. In particolare, la capacità di produrre forza rapidamente e di sfruttare efficacemente il ciclo allungamento-accorciamento risulta importante nei movimenti dinamici, nelle transizioni rapide tra prese e nelle azioni esplosive che caratterizzano alcune situazioni di gara e di allenamento (Wen-Lung Shih et al. 2024).

Nonostante i progressi della letteratura, permangono alcune lacune. In particolare, risultano limitati gli studi che analizzano in modo integrato gli effetti dell'allenamento sia sulle capacità neuromuscolari sia sui parametri cinematici della risalita, quali la traiettoria del centro di massa e la deviazione laterale.

Inoltre, molti studi utilizzano sistemi di analisi complessi e difficilmente applicabili in contesti pratici. Risulta quindi necessario sviluppare approcci accessibili, come l'analisi video bidimensionale, per valutare in modo integrato la performance.

1.7. Obiettivo dello studio

Il presente studio si è proposto di valutare gli effetti di un protocollo di allenamento pliometrico della durata di otto settimane sulla forza degli arti superiori e inferiori e sui parametri cinematici della risalita nella specialità speed dell'arrampicata sportiva, confrontandoli con quelli derivanti da un programma di allenamento convenzionale.

2. MATERIALI E METODI

2.1. Soggetti

Il campione dello studio è composto da 12 soggetti, tutti appartenenti alla categoria agonistica Under 17 e con un'esperienza consolidata nella pratica dell'arrampicata sportiva a livello agonistico.

Data la minore età di tutti i componenti del campione, prima dell'inizio delle procedure sperimentali è stato fornito un foglio informativo dettagliato sugli obiettivi e sulle modalità dello studio sia ai ragazzi sia ai loro nuclei familiari. L'inclusione nella ricerca è stata subordinata alla firma del consenso informato scritto da parte dei genitori (o dei tutori legali), unitamente all'assenso verbale dei minori stessi.

Inizialmente il campione era formato da 14 soggetti ma, a seguito di 2 drop-out per infortunio, si è ridotto a 12 partecipanti, i quali sono stati suddivisi in modo randomizzato in due gruppi: un gruppo di controllo nel quale svolgevano un allenamento standard (CONTR=6) e un gruppo sperimentale che svolgeva un allenamento pliometrico (PLIO=6).

Nelle seguenti tabelle sono state riportate le caratteristiche dettagliate di tutti i partecipanti.

GRUPPI	SOGGETTI	PESO (kg)	ETA'	ALTEZZA (cm)
CONTR	4F2M	51,24±8,76	15,85±0,88	162,27±15,96
PLIO	4F2M	55,67±10,15	15,33±0,52	167,42±11,18

Tabella 1: caratteristiche demografiche dei partecipanti di ogni gruppo (media±deviazione standard).

Per garantire l'omogeneità del campione e la sicurezza dei partecipanti durante la somministrazione di carichi pliometrici, sono stati applicati i seguenti criteri:

Criteri di inclusione:

- Appartenenza ufficiale alla categoria agonistica Under 17.
- Pratica continuativa dell'arrampicata sportiva da almeno 3 anni.
- Partecipazione attiva al calendario di gare stagionale di livello regionale.
- Frequenza di allenamento costante, pari a un minimo di 3 sessioni settimanali.

Criteri di esclusione:

- Presenza di infortuni di natura muscolo-scheletrica o articolare occorsi nei 6 mesi precedenti allo studio, che avessero comportato l'interruzione o la riduzione significativa della pratica atletica.
- Presenza di sintomatologia dolorosa acuta o cronica in atto al momento della sessione di test, localizzata in distretti anatomici sollecitati dall'arrampicata
- Patologie sistemiche, cardiache o neurologiche note che potessero controindicare l'esecuzione di sforzi massimali o sub-massimali.
- Mancato ottenimento del consenso scritto da parte dei genitori o dei tutori legali.

2.2 Procedura sperimentale

La procedura sperimentale ha avuto una durata complessiva di otto settimane durante le quali è stato seguito costantemente il calendario delle competizioni ufficiali dei ragazzi (Coppa Italia Boulder, Coppa Italia Speed e gare regionali).

La valutazione dell'efficacia del protocollo ha previsto la somministrazione di test funzionali, i cui risultati e dettagli metodologici verranno approfonditi nel capitolo successivo. Nello specifico, il piano ha integrato:

- **Sessioni di tecnica costanti:** Entrambi i gruppi hanno mantenuto le loro regolari sessioni di tecnica per preservare le abilità specifiche della disciplina.
- **Frequenza settimanale:** Il protocollo sperimentale ha previsto **tre sessioni specifiche a settimana**, integrate alla normale programmazione.

Un pilastro fondamentale della procedura è stato l'applicazione di un **allenamento progressivo** (sovraccarico progressivo). L'intensità e il volume del carico sono stati manipolati strategicamente nell'arco delle otto settimane secondo uno schema ondulatorio, alternando l'intensità dal 70% al 100% per poi prevedere settimane di scarico (60%) volte a favorire la supercompensazione e la massima espressione pre-gara:

- **Settimane 1-2-3:** Progressione del carico dal 70% all'85%, fino al picco del 100%.
- **Settimana 4:** Scarico al 60%.
- **Settimane 5-7:** Secondo blocco di progressione (70% -85%-100%)
- **Settimana 8:** Scarico finale al 60%.

Ogni settimana del gruppo sperimentale è stata standardizzata su **tre sessioni specializzate**, mirate rispettivamente ai distretti inferiori, alla velocità pura e ai distretti superiori/campus board. Di seguito viene descritta la struttura delle sessioni e la corretta esecuzione biomeccanica degli esercizi inseriti nel protocollo.

Sessione 1: Arti Inferiori

Orientata a sviluppare la forza esplosiva-elastica, fondamentale per i lanci e le spinte dinamiche.

- **Box Jump (medi):** Salto pliometrico a partire da terra fin sopra un box di altezza media, atterrando in modo controllato per massimizzare la potenza concentrica.



Immagine 1: box jump

- **Drop Jump (bassi):** Caduta bipodolica da un box basso seguita, immediatamente dopo il contatto con il suolo, da un salto verticale massimale. Ottimo per sfruttare il ciclo allungamento-accorciamento (SSC).



Immagine 2: drop jump

- **Lateral Bounds:** Salti balistici laterali da un piede all'altro, finalizzati alla stabilità e alla forza esplosiva sui piani di movimento trasversali e frontali.



Immagine 3: lateral bounds

- **Tuck Jump (Squat jump reattivo con ginocchia al petto):** Salto verticale consecutivo partendo da un caricamento in squat, portando rapidamente le ginocchia al petto durante la fase di volo e cercando il minor tempo di contatto al suolo possibile tra le ripetizioni.

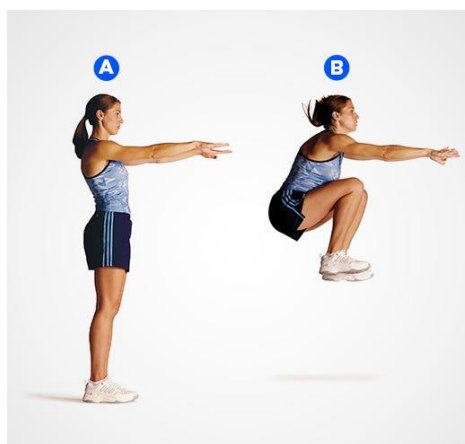


Immagine 4: tuck jump

Sessione 2: Speed

Focalizzata sulla componente neuromuscolare e sulla reattività della partenza e delle sezioni di via.

- **Partenze ed esecuzione movimenti (es. 1-5 o 1-10 movimenti):** Ripetizioni focalizzate sulla coordinazione e sulla massima accelerazione nei primi metri della via di Speed.

- **Salite a percentuale d'intensità variabile (dall'80% al 100%):** Salite complete della via eseguite a intensità controllata o massimale in base alla settimana del blocco progressivo, simulando contesti di gara.

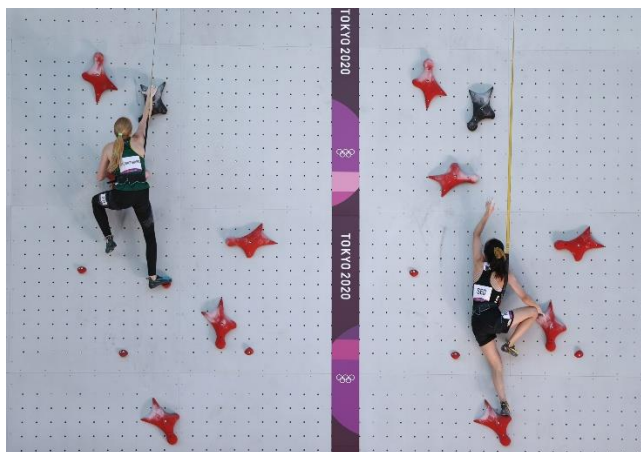


Immagine 5: esempio di una competizione speed

Sessione 3: Arti Superiori e Campus Veloce

Mirata all'esplosività della parte superiore del corpo e della forza delle dita.

- **Push-up balistico (con saltino):** Piegamento sulle braccia in cui la fase concentrica è talmente esplosiva da staccare le mani da terra, allenando la capacità di reclutamento rapido delle fibre del petto e dei tricipiti.
- **Chest Throw (Lancio palla medica da terra):** Lancio esplosivo della palla medica eseguito a due mani partendo dal petto, focalizzato sulla catena cinetica superiore.
- **Close Stance Throw:** Lancio della palla medica eseguito lateralmente e in piedi, per stimolare la forza esplosiva torsionale del core e delle braccia.
- **Campus Speed & Tocchi su listoni:** Esercizi sul Campus Board (rampe veloci) e sequenze di tocchi rapidi alternati (es. 15-20 tocchi) sui listoni nel minor tempo possibile, per convertire la forza delle dita e delle braccia in pura velocità esecutiva.



Immagine 6: Campus board

Per quel che riguarda il gruppo di controllo, invece, i soggetti hanno proseguito il normale programma di allenamento previsto dalla pianificazione stagionale dell'atleta per 8 settimane, senza l'inserimento del protocollo pliometrico sperimentale. Durante l'intero periodo di studio, i partecipanti hanno continuato a svolgere le consuete sedute di arrampicata specifica, comprendenti allenamenti tecnici e condizionali programmati dall'allenatore. L'unica differenza tra i due gruppi consisteva nell'assenza degli esercizi pliometrici per gli arti inferiori e superiori previsti dal protocollo sperimentale. Tale scelta ha consentito di valutare gli effetti specifici dell'intervento pliometrico sulle variabili oggetto di studio, limitando l'influenza di altri fattori allenanti.

SETTIMANA 1 (70%)		
<i>SESSIONE 1</i>	<i>SESSIONE 2</i>	<i>SESSIONE 3</i>
• Box jump medi: 2×15 (15s/90s) • Drop jump bassi: 2×15 (15s/90s) • Lateral bounds: 2×15/15 (15s/90s) • Squat jump reattivo con ginocchia al petto (tuck jump): 2×15 (15s/90s)	• 10 partenze • 1-5 mov × 5 • 2 salite all'80–85%	• Push-up balistico (con saltino): 2×15 (15s/90s) • Chest Throw (lancio palla medica da terra): 2×15 (15s/90s) • Close stanche Throw (lancio palla medica laterale da in piedi): 2×15 (15s/90s) • Campus speed: 3×1 rampa veloce
COPPA ITALIA BOULDER		

SETTIMANA 2 (85%)		
<i>SESSIONE 1</i>	<i>SESSIONE 2</i>	<i>SESSIONE 3</i>
• Box jump medi: 3×15 (15s/90s) • Drop jump bassi: 3×15 (15s/90s) • Lateral bounds: 3×15/15 (15s/90s) • Squat jump reattivo con ginocchia al petto (tuck jump): 3×15 (15s/90s)	• 12 partenze • 1-7 mov × 5 • 2 salite all'90%	• Push-up balistico (con saltino): 3×15 (15s/90s) • Chest Throw (lancio palla medica da terra): 3×15 (15s/90s) • Close stanche Throw (lancio palla medica laterale da in piedi): 3×15 (15s/90s) • Campus speed: 3×1 rampa veloce
COPPA ITALIA BOULDER U17		

SETTIMANA 3 (100%)		
<i>SESSIONE 1</i>	<i>SESSIONE 2</i>	<i>SESSIONE 3</i>
• Box jump medi: 4×12 (15s/90s) • Drop jump bassi: 4x12 (15s/90s) • Lateral bounds: 4x12/12 (15s/90s) • Squat jump reattivo con ginocchia al petto (tuck jump): 4x12(15s/90s)	• 1-10 mov × 5 • 1 salita 90-100% • recupero lungo	• Push-up balistico (con saltino): 4x12 (15s/90s) • Chest Throw (lancio palla medica da terra): 4x12 (15s/90s) • Close stanche Throw (lancio palla medica laterale da in piedi): 4x12 (15s/90s) • Campus speed: 4×1 rampa veloce

SETTIMANA 4 (60%)		
<i>SESSIONE 1</i>	<i>SESSIONE 2</i>	<i>SESSIONE 3</i>
• Box bassi 3x3 (15s/90s) • Drop jump bassi: 3x3 (15s/90s) • Lateral bounds: 2×6/6 (15s/90s)	• 10 partenze • 1-5 mov × 5 • 2 salite all'80–85%	• Plyo push-up 2x4 (15s/90s) • Campus leggerissimo 1 rampa fluida • mobilità scapolo-omeroale (circondazioni delle braccia (con o senza elastico/bastone, wall slides)
COPPA ITALIA SPEED		

SETTIMANA 5 (70%)		
SESSIONE 1	SESSIONE 2	SESSIONE 3
• Box jump medi: 2×15 (15s/90s) • Drop jump bassi: 2×15 (15s/90s) • Lateral bounds: 2×15/15 (15s/90s) • Squat jump reattivo con ginocchia al petto (tuck jump): 2×15 (15s/90s)	• 10 partenze • 1-5 mov × 5 • 2 salite all'80–85%	• Push-up balistico (con saltino): 2×15 (15s/90s) • Chest Throw (lancio palla medica da terra): 2×15 (15s/90s) • Close stanche Throw (lancio palla medica laterale da in piedi): 2×15 (15s/90s) • Campus speed: 3×1 rampa veloce • 15 tocchi veloci su listoni (10 per mano, il più velocemente possibile)
GARA LEAD REGIONALE MILANO, C.I. BOULDER		

SETTIMANA 6 (85%)		
SESSIONE 1	SESSIONE 2	SESSIONE 3
• Box jump medi: 3×15 (15s/90s) • Drop jump bassi: 3×15 (15s/90s) • Lateral bounds: 3×15/15 (15s/90s) • Squat jump reattivo con ginocchia al petto (tuck jump): 3×15 (15s/90s)	• 12 partenze • 1-7 mov × 5 • 2 salite all'90%	• Push-up balistico (con saltino): 3×15 (15s/90s) • Chest Throw (lancio palla medica da terra): 3×15 (15s/90s) • Close stanche Throw (lancio palla medica laterale da in piedi): 3×15 (15s/90s) • Campus speed: 4×1 rampa veloce • 20 tocchi veloci su listoni (10 per mano, il più velocemente possibile; dx e sx alternati)
COPPA ITALIA BOULDER U17		

SETTIMANA 7 (100%)		
SESSIONE 1	SESSIONE 2	SESSIONE 3
• Box jump medi: 4×12 (15s/90s) • Drop jump bassi: 4x12 (15s/90s) • Lateral bounds: 4x12/12 (15s/90s) • Squat jump reattivo con ginocchia al petto (tuck jump): 4x12(15s/90s)	• 1-10 mov × 5 • 1 salita 90-100% • recupero lungo	• Push-up balistico (con saltino): 4x12 (15s/90s) • Chest Throw (lancio palla medica da terra): 4x12 (15s/90s) • Close stanche Throw (lancio palla medica laterale da in piedi): 4x12 (15s/90s) • Campus speed: 4×1 rampa veloce • 20 tocchi veloci su listoni (10 per mano, il più velocemente possibile; dx e sx alternati)

SETTIMANA 8 (60%)		
SESSIONE 1	SESSIONE 2	SESSIONE 3
• Box bassi 3x3 (15s/90s) • Drop jump bassi: 3x3 (15s/90s) • Lateral bounds: 2x6/6 (15s/90s)	• 10 partenze • 1-5 mov × 5 • 2 salite all'80–85%	• Plyo push-up 2x4 (15s/90s) • Campus leggerissimo 1 rampa fluida • mobilità scapolo-omeroale (circondazioni delle braccia (con o senza elastico/bastone, wall slides)

Le tabelle qui riportate rappresentano la programmazione del gruppo sperimentale durante le otto settimane

Prima di ogni sessione di allenamento, sia nel gruppo di controllo, che nel gruppo pliometrico, venivano effettuate sedute di mobilità articolare e stretching statico.

2.3 Valutazione

La valutazione del profilo prestativo dei soggetti ha previsto un disegno sperimentale strutturato in quattro precise finestre temporali di misurazione, due per il gruppo di controllo (prima e dopo le otto settimane di allenamento standard) e due per il gruppo pliometrico (prima e dopo le otto settimane di allenamento pliometrico), finalizzato a confrontare l'efficacia dell'allenamento tradizionale rispetto al protocollo pliometrico.

2.3.1. Test di forza

Countermovement Jump (CMJ)

- **Obiettivo:** Valutazione della forza esplosiva-elastica degli arti inferiori e della capacità di reclutamento neuromuscolare attraverso il ciclo allungamento-accorciamento (SSC - *Stretch-Shortening Cycle*).
- **Analisi Biomeccanica:** Il soggetto parte dalla stazione eretta con le mani sui fianchi (per isolare l'azione delle gambe ed evitare l'effetto slancio delle braccia). Esegue un movimento rapido di discesa (fase eccentrica di piegamento) fino a un angolo di circa 90° al ginocchio, invertendo immediatamente e nel minor tempo

possibile la direzione del movimento in una fase concentrica esplosiva verso l'alto. Durante l'inversione motoria, l'energia elastica accumulata nei componenti elastici in serie (tendine d'Achille, tendine rotuleo) e il riflesso da stiramento miotatico aumentano significativamente la forza concentrica espressa, determinando un incremento dell'altezza di volo rispetto a un salto senza contromovimento (Squat Jump).

- **Analisi Dati:** Il software dedicato analizza il tempo di volo e calcola l'altezza del salto



Immagine 7: CMJ test

Handgrip Strength Test

- **Obiettivo:** Valutazione della forza isometrica massima dei flessori dell'avambraccio (flessore superficiale e profondo delle dita, flessore lungo del pollice).
- **Analisi Biomeccanica:** Il test si svolge in posizione ortostatica, con il gomito completamente esteso lungo il fianco (mantenendo la costanza inter-test). Il soggetto impugna il dinamometro e, senza compiere movimenti di compenso con la spalla o il tronco, esercita la massima contrazione volontaria isometrica (MVC) per una durata di 3-5 secondi, fino al segnale acustico. Il test viene ripetuto tre volte per ogni mano, successivamente verrà fatta la media tra i vari risultati.



Immagine 8: Handgrip Strenght test

Lancio della Palla Medica dal Petto (Chest Throw Test)

- **Obiettivo:** Misurazione della potenza pura e della forza esplosiva della catena cinetica superiore (gran pettorale, deltoide anteriore, tricipite brachiale).
- **Analisi Biomeccanica:** Il soggetto si sistema in una posizione di semi squat. La palla medica viene mantenuta all'altezza dello sterno. L'esercizio prevede un'estensione esplosiva e simultanea delle braccia in avanti, dalla zona clavicolare, con l'obiettivo di lanciarla il più lontano possibile. La spinta deve avvenire senza alcun contromovimento del tronco; l'accelerazione impressa all'oggetto dipende interamente dalla rapidità di reclutamento e dalla frequenza di scarica delle unità motorie dei muscoli estensori.



Immagine 9: Chest throw test

Test dei Push-Up in 30 Secondi

Obiettivo: Valutazione della forza resistente dinamica e della stabilità del core della catena cinetica anteriore (gran pettorale, deltoide anteriore, tricipite brachiale, retto dell'addome).

Metodologia e Criterio di Interruzione: Il soggetto si posiziona in decubito prono con le mani poggiate a terra alla medesima larghezza delle spalle, piedi uniti o a larghezza bacino, e corpo completamente allineato (posizione di *plank*). All'azionare del cronometro, l'atleta deve eseguire il maggior numero possibile di piegamenti sulle braccia nell'arco di 30 secondi. Il cronometro viene immediatamente stoppato prima dello scadere del tempo qualora l'atleta manifesti un cedimento tecnico o l'impossibilità di mantenere la corretta esecuzione.

Analisi Biomeccanica e Requisiti Tecnici: Durante la fase eccentrica, il corpo deve muoversi come un'unica unità rigida grazie alla contrazione isometrica sinergica del core e dei flessori dell'anca, fino a sfiorare il terreno con il petto. Nella fase concentrica, la spinta simmetrica degli arti superiori deve riportare il corpo alla massima estensione dei gomiti. I criteri tassativi di interruzione anticipata del test (cedimento della tecnica) includono:

- **Perdita dell'allineamento rachideo:** Comparsa di iperlordosi lombare dovuta al cedimento della muscolatura stabilizzatrice del core (retto dell'addome e trasverso).
- **Incompletezza del ROM (Range of Motion):** Mancato raggiungimento della massima estensione dei gomiti in chiusura o mancato arrivo del petto vicino al suolo.
- **Asimmetria di spinta:** Compensazioni motorie evidenti con una spalla più alta dell'altra o alterazioni del ritmo esecutivo dovute a fatica neuromuscolare localizzata.



Immagini 10-11: Push up test

2.3.2. Cinematica relativa alla fluidità di risalita nello speed climbing

Obiettivo: Ottimizzazione geometrica ed energetica del gesto specifico sulla via Speed, con mappatura della linearità della linea di salita fino alla presa numero 8.

Analisi Biomeccanica: Posizionando la telecamera su un treppiede ortogonale rispetto alla parete di arrampicata, viene registrata l'azione del climber; prima della salita vengono applicati due marker: uno sul baricentro del soggetto, nella parte posteriore dell'imbrago per analizzare lo spostamento orizzontale, e uno in mezzo alle scapole, per analizzare la traiettoria verticale. L'analisi è stata effettuata valutando diversi parametri:

- Il tempo di salita dalla presa 1 alla presa 5; successivamente dalla presa 5 alla presa 8 (in s)
- Tempi di contatto per ogni mano e ogni piede fino alla presa numero 8 (in s)
- La velocità verticale (m/s)
- La traiettoria verticale e lo spostamento laterale

Una volta analizzati questi parametri sul software Kinovea, sono stati esportati su un foglio di calcolo i vari dati relativi a tali parametri e, successivamente, sono stati utilizzati altri criteri fondamentali per lo studio:

- Spostamento verticale (in cm)
- La lunghezza della traiettoria (in cm)
- L'indice di efficienza della traiettoria
- La deviazione laterale X (in cm)
- Il range laterale X (in cm)

Il software calcola fotogramma per fotogramma lo spostamento nello spazio

- *Efficienza Biomeccanica:* Una traiettoria ideale nella Speed deve tendere il più possibile a una retta verticale parallela all'asse Y. Ogni deviazione laterale sull'asse X (oscillazioni a destra o a sinistra) o oscillazione antero-posteriore indica una dispersione di energia cinetica (5), che aumentano la resistenza e costringono il sistema muscolare a un lavoro extra per riallineare il baricentro.



Immagine 12: analisi della salita utilizzando il software kinovea

2.3.3. Materiale utilizzato per le valutazioni

- Per garantire la riproducibilità dei test e la precisione metodologica, sono stati impiegati i seguenti strumenti di grado scientifico e da campo:
- Dinamometro Handgrip MAP 130K1: Dispositivo digitale per la misurazione della forza isometrica massima di presa (forza della mano), espresso in chilogrammi (kg) o Newton (N).

- Palla Medica Standardizzata: Sfera dal peso di 4kg, priva di rimbalzo elastico significativo per i test di lancio balistico della parte superiore.
- Treppiede Rigido con Supporto Livellato: Utilizzato per garantire la totale immobilità e la costanza dell'asse ottico della telecamera durante le riprese video in parete, evitando parallasse ed errori di tracciamento.
- Fotocamera / Smartphone: Settato per catturare accuratamente i passaggi veloci della Speed.
- Software MyJump 2 per CMJ: Applicazione validata scientificamente per il calcolo dell'altezza del salto verticale (cm), del tempo di volo e della potenza espressa a partire dall'analisi cinematica dei fotogrammi o del tempo di contatto.
- Software Kinovea: Programma open-source di video-analisi per il tracciamento bidimensionale (2D) dei punti di repere anatomici (es. centro di massa), delle traiettorie baricentriche e dei vettori di velocità/accelerazione.
- Cronometro Digitale Centesimale: Per la gestione precisa della finestra temporale dei 30 secondi.

2.4 Analisi statistica

Le analisi statistiche sono state eseguite mediante il software Jamovi (versione 2.7.31). La normalità dei dati è stata verificata attraverso l'ispezione grafica dei residui e dei grafici Q-Q.

Per le variabili relative ai test di forza (Handgrip Strength, Push-Up Test, Medicine Ball Throw e Countermovement Jump) è stata applicata un'analisi della varianza mista (mixed ANOVA), considerando il tempo (PRE e POST) come fattore entro i soggetti e il gruppo (CONTR e PLIO) come fattore tra i soggetti.

Le variabili cinematiche relative alla fluidità della risalita e ai parametri biomeccanici della speed climbing sono state analizzate mediante Linear Mixed Models (LMM), includendo TIME e GROUP come effetti fissi e l'identificativo del partecipante (ID) come effetto casuale, al fine di considerare la dipendenza delle misure ripetute all'interno dello stesso soggetto.

In presenza di effetti principali o interazioni significative sono stati effettuati confronti post-hoc con correzione di Bonferroni ed analisi degli effetti semplici. I risultati sono riportati come media $\pm$ deviazione standard (DS) e il livello di significatività statistica è stato fissato a $p < 0.05$.

3. RISULTATI

3.1. Test di forza

I valori dei parametri riguardanti la valutazione delle capacità funzionali e di forza esplosiva sono riportate in tabella (Tabella 10).

		PLIO group	CONTR group
Handgrip Strength (kg)	<i>Pre</i>	36.9 $\pm$ 4.87	34.1 $\pm$ 4.87
	<i>Post</i>	37.0 $\pm$ 5.38	37.1 $\pm$ 5.38
Push-Up Test (n)	<i>Pre</i>	23.0 $\pm$ 11.6	20.2 $\pm$ 10.0
	<i>Post</i>	24.5 $\pm$ 10.4	21.7 $\pm$ 10.6
Chest Throw Test (m)	<i>Pre</i>	4.24 $\pm$ 0.98	3.98 $\pm$ 0.79
	<i>Post</i>	4.48 $\pm$ 0.88*	4.28 $\pm$ 0.90*
CMJ Height (cm)	<i>Pre</i>	35.54 $\pm$ 9.77	35.01 $\pm$ 10.78
	<i>Post</i>	39.81 $\pm$ 8.95*	35.88 $\pm$ 9.75*
CMJ Velocity (m·s⁻¹)	<i>Pre</i>	1.31 $\pm$ 0.17	1.30 $\pm$ 0.20
	<i>Post</i>	1.39 $\pm$ 0.15*#	1.32 $\pm$ 0.17
CMJ Flight Time (ms)	<i>Pre</i>	534 $\pm$ 70.5	529 $\pm$ 79.5
	<i>Post</i>	567 $\pm$ 62.1*#	537 $\pm$ 70.5
CMJ Power (W)	<i>Pre</i>	3013 $\pm$ 1224	2990 $\pm$ 1317
	<i>Post</i>	3467 $\pm$ 1394*#	3042 $\pm$ 1218

CONTR: gruppo di controllo; PLIO: gruppo pliometria. * $p < 0.05$ vs. PRE; # $p < 0.05$

3.1.1. Forza di presa (*Handgrip Strength*)

L'ANOVA mista a misure ripetute non ha evidenziato un effetto principale significativo del TIME sulla forza di presa media ($F(1,10)=2.84$, $p=0.123$, $\eta^2p=0.221$), indicando che la forza di presa non è cambiata significativamente dal PRE al POST. Analogamente, non è stato osservato alcun effetto principale significativo del GROUP ($F(1,10)=0.037$, $p=0.851$, $\eta^2p=0.004$), né dell'interazione GROUP $\times$ TIME non è risultata significativa ($F(1,10)=2.35$, $p=0.156$, $\eta^2p=0.190$). In particolare, la forza di presa media è aumentata da 34.1 ± 4.87 kg a 37.1 ± 5.38 kg nel gruppo CONTR, mentre il gruppo PLIO non ha mostrato variazioni rilevanti (36.9 ± 4.87 kg vs. 37.0 ± 5.38 kg).

3.1.2. Forza resistente degli arti superiori (*Push-Up Test*)

L'ANOVA mista a misure ripetute non ha evidenziato un effetto principale significativo del TIME sulla prestazione al Push-Up Test ($F(1,10)=1.56$, $p=0.240$, $\eta^2p=0.135$), del GROUP ($F(1,10)=0.221$, $p=0.649$, $\eta^2p=0.022$), né dell'interazione GROUP $\times$ TIME ($F(1,10)<0.001$, $p=1.000$, $\eta^2p<0.001$). Il numero di ripetizioni di push-up è aumentato da 20.2 ± 10.0 a 21.7 ± 10.6 nel gruppo CONTR e da 23.0 ± 11.6 a 24.5 ± 10.4 nel gruppo PLIO, indicando un lieve aumento del numero di ripetizioni senza raggiungere la significatività statistica dal PRE al POST.

3.1.3. Forza esplosiva degli arti superiori (*Chest Throw Test*)

L'ANOVA mista a misure ripetute ha evidenziato un effetto principale significativo del TIME sulla distanza di lancio della palla medica ($F(1,10)=11.99$, $p=0.006$, $\eta^2p=0.545$), indicando un miglioramento significativo della prestazione dal PRE al POST. Non è stato osservato alcun effetto principale significativo né del GROUP ($F(1,10)=0.200$, $p=0.664$, $\eta^2p=0.020$) e né dell'interazione GROUP $\times$ TIME ($F(1,10)=0.134$, $p=0.722$, $\eta^2p=0.013$).

La distanza di lancio è aumentata in entrambi i gruppi, suggerendo un miglioramento generale della prestazione indipendentemente dal tipo di intervento: il gruppo CONTR è passato da 3.98 ± 0.79 m a 4.28 ± 0.90 m, mentre il gruppo PLIO da 4.24 ± 0.98 m a 4.48 ± 0.88 m, suggerendo che il miglioramento è stato simile nei due gruppi.

3.2. Cinematica relativa alla fluidità di risalita nello speed climbing

3.2.1. Altezza del Countermovement Jump (CMJ Height)

L'analisi dell'altezza del CMJ ha evidenziato un effetto principale significativo del TIME ($F(1,10) = 18.49$, $p = 0.002$, $\eta^2p = 0.649$) e una significativa interazione TIME $\times$ GROUP ($F(1,10) = 8.11$, $p = 0.01$, $\eta^2p = 0.448$), mentre non è emerso alcun effetto principale del GROUP ($F(1,10) = 0.157$, $p = 0.700$, $\eta^2p = 0.015$). Le analisi post-hoc hanno mostrato un incremento significativo dell'altezza di salto nel gruppo PLIO, che è passato da 35.5 ± 4.20 cm a 39.8 ± 3.82 cm ($p < 0.001$), mentre il gruppo CONTROL non ha evidenziato variazioni significative, passando da 35.0 ± 4.20 cm a 35.9 ± 3.82 cm ($p = 0.954$). Non sono state osservate differenze significative tra i gruppi al POST ($p = 0.483$) (Figura 12).

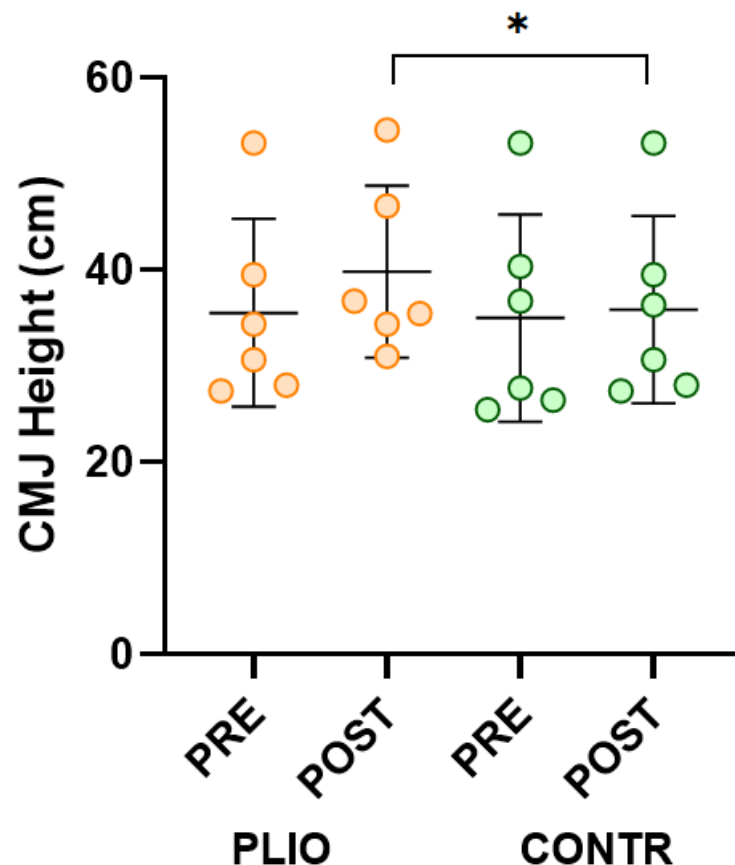


Figura 12.: grafico altezza nel CMJ

3.2.2. Velocità nel Countermovement Jump (CMJ Velocity)

L'ANOVA mista a misure ripetute ha evidenziato un effetto principale significativo del TIME sulla velocità di salto ($F(1,10)=18.58$, $p=0.002$, $\eta^2p=0.650$), indicando un incremento significativo dal PRE al POST. Non è stato osservato alcun effetto principale significativo del GROUP ($F(1,10)=0.201$, $p=0.663$, $\eta^2p=0.020$). Inoltre, è stata rilevata un'interazione significativa $GROUP \times TIME$ ($F(1,10)=7.34$, $p=0.022$, $\eta^2p=0.423$), indicando che le variazioni nel tempo sono state differenti tra i gruppi.

Le analisi post-hoc hanno evidenziato un aumento significativo della velocità di salto nel gruppo PLIO ($1.31 \pm 0.17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vs. $1.39 \pm 0.15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $p<0.001$), mentre nel gruppo CONTR non sono state osservate variazioni significative ($1.30 \pm 0.20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vs. $1.32 \pm 0.17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $p=0.284$) (Figura 13).

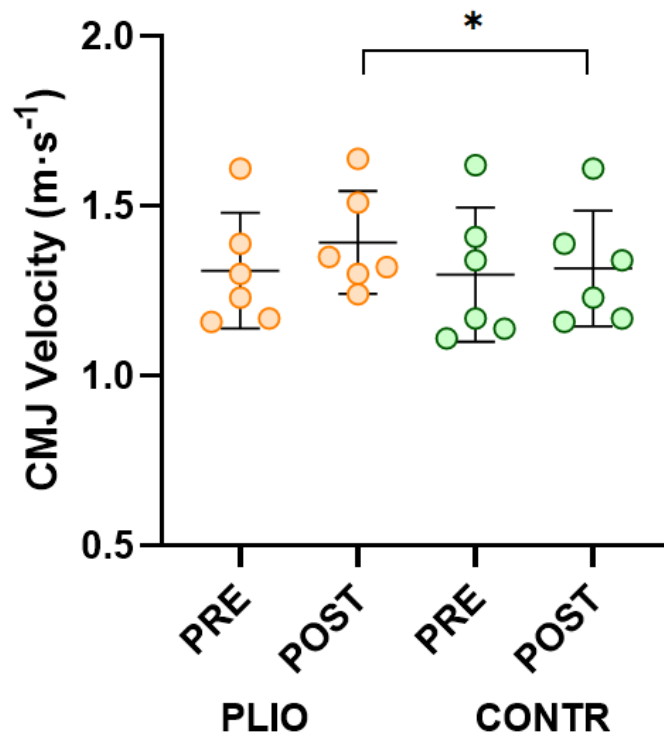


Figura 13: grafico velocità nel CMJ

3.2.3. Tempo di volo nel Countermovement Jump (CMJ Flight Time)

L'ANOVA mista a misure ripetute ha evidenziato un effetto principale significativo del TIME sul tempo di volo ($F(1,10)=18.00$, $p=0.002$, $\eta^2p=0.643$), indicando un incremento significativo dal PRE al POST. Non è stato osservato alcun effetto principale significativo

del GROUP ($F(1,10)=0.188$, $p=0.674$, $\eta^2p=0.018$). Inoltre, è stata rilevata un'interazione significativa $\text{GROUP} \times \text{TIME}$ ($F(1,10)=6.77$, $p=0.026$, $\eta^2p=0.404$), indicando che le variazioni nel tempo sono state differenti tra i gruppi.

Le analisi post-hoc hanno evidenziato un aumento significativo del tempo di volo nel gruppo PLIO (534 ± 70.5 ms vs. 567 ± 62.1 ms; $p<0.001$), mentre nel gruppo CONTR non sono state osservate variazioni significative (529 ± 79.5 ms vs. 537 ± 70.5 ms; $p=0.273$) (Figura 14).

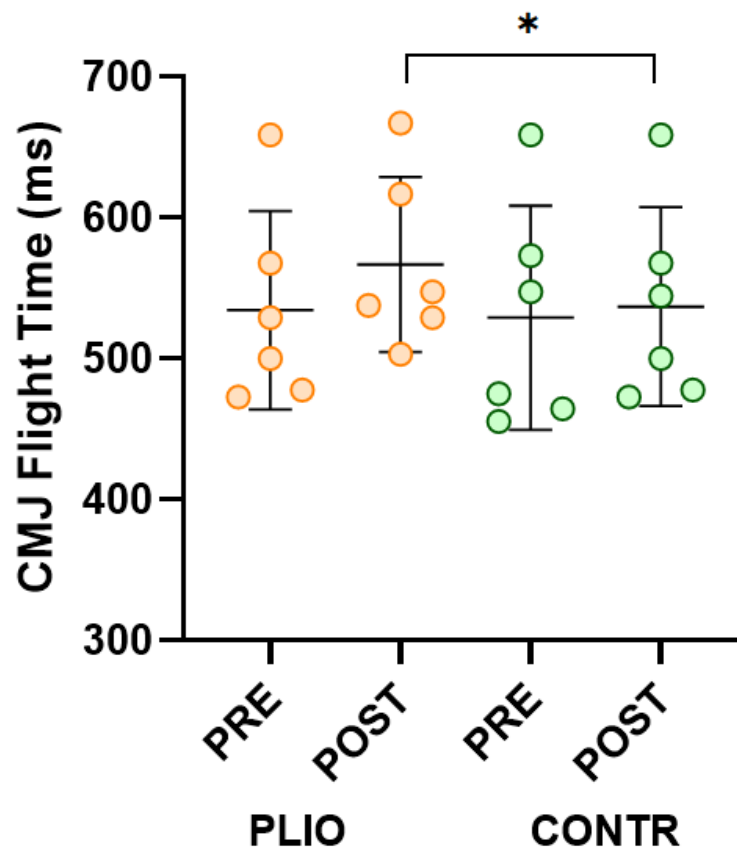


Figura 14: grafico tempo di volo nel CMJ

3.2.4. Potenza nel Countermovement Jump (CMJ Power)

L'ANOVA mista a misure ripetute ha evidenziato un effetto principale significativo del TIME sulla potenza di salto ($F(1,10)=11.25$, $p=0.007$, $\eta^2p=0.529$), indicando un incremento significativo della potenza sviluppata dal PRE al POST. Non è stato osservato alcun effetto principale significativo del GROUP ($F(1,10)=0.092$, $p=0.768$, $\eta^2p=0.009$).

Inoltre, è stata rilevata un'interazione significativa $\text{GROUP} \times \text{TIME}$ ($F(1,10)=7.08$, $p=0.024$, $\eta^2p=0.415$), indicando che le variazioni nel tempo sono state differenti tra i gruppi.

In particolare, il gruppo PLIO ha mostrato un incremento della potenza di salto da 3014 ± 1224 W a 3467 ± 1394 W, mentre nel gruppo CONTR è stato osservato soltanto un incremento modesto (2990 ± 1317 W vs. 3042 ± 1218 W), suggerendo che il miglioramento sia stato prevalentemente attribuibile all'allenamento pliometrico (Figura 15).

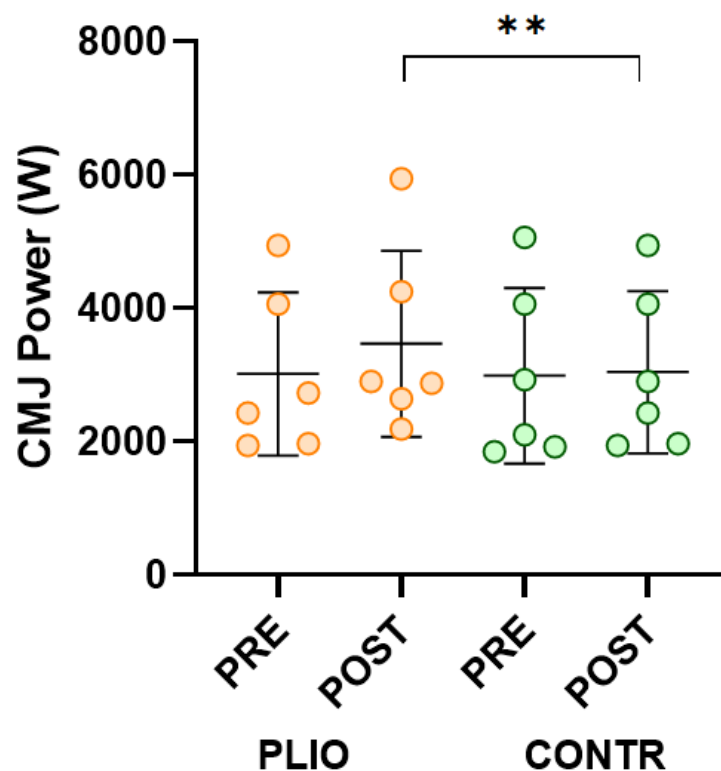


Figura 15: grafico potenza nel CMJ

3.2.5. Tempi di contatto

Tempo medio di contatto delle mani

L'analisi mediante Linear Mixed Model relativa al tempo medio di contatto delle mani (HAND CONTACT MEAN) non ha evidenziato un effetto significativo del TIME ($F(1,10) = 1.261$, $p = 0.288$, $\eta^2p = 0.11$), né del GROUP ($F(1,10) = 0.479$, $p = 0.505$, $\eta^2p = 0.05$). Anche l'interazione $\text{GROUP} \times \text{TIME}$ non è risultata significativa ($F(1,10) = 3.218$, $p =$

0.103, $\eta^2p = 0.24$). I confronti post-hoc sui simple effects non hanno mostrato variazioni significative tra PRE e POST nel gruppo CONTR ($p = 0.645$) né nel gruppo PLIO ($p = 0.066$), sebbene quest'ultimo abbia evidenziato una tendenza alla riduzione del tempo medio di contatto della mano dopo l'intervento.

Tempo medio di contatto dei piedi

L'analisi Linear Mixed Mode relativa al tempo medio di contatto dei piedi (FOOT CONTACT MEAN) ha evidenziato un effetto significativo di TIME ($F(1,10) = 13.873$, $p = 0.004$, $\eta^2p = 0.58$) e dell'interazione GROUP $\times$ TIME ($F(1,10) = 9.048$, $p = 0.013$, $\eta^2p = 0.48$), mentre non è emerso alcun effetto significativo di GROUP ($F(1,10) = 0.586$, $p = 0.462$, $\eta^2p = 0.06$). I confronti post-hoc con correzione di Bonferroni hanno mostrato una riduzione significativa del tempo medio di contatto del piede dal PRE al POST ($p = 0.004$). L'analisi dei simple effects ha evidenziato che tale miglioramento è stato determinato esclusivamente dal gruppo PLIO, che ha mostrato una significativa riduzione del tempo di contatto del piede (PRE: 1.33 ± 0.17 s; POST: 1.08 ± 0.17 s; $p < 0.001$), mentre il gruppo CONTR non ha presentato variazioni significative (PRE: 1.39 ± 0.17 s; POST: 1.36 ± 0.17 s; $p = 0.623$) (Figura 16).

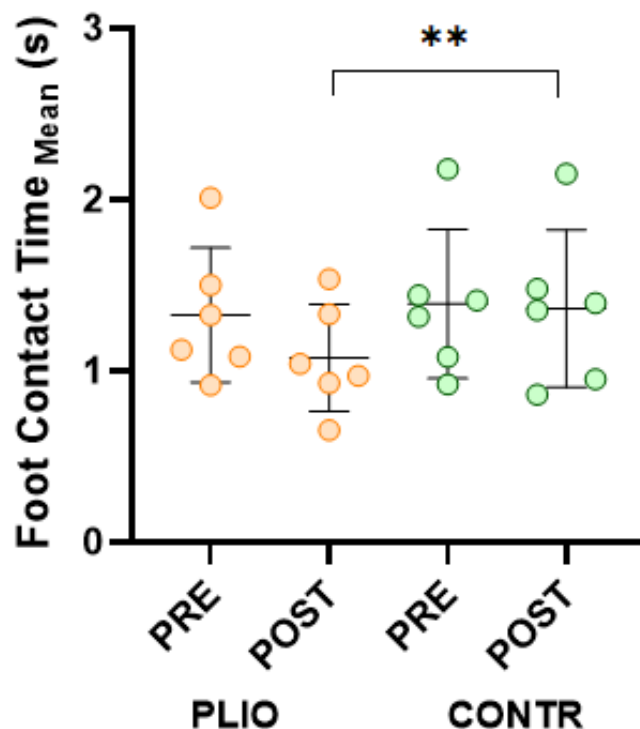


Figura 16: grafico tempo medio di contatto dei piedi

Tempo totale di contatto delle mani

L'analisi mediante Linear Mixed Model non ha evidenziato effetti significativi del TIME ($F(1,10) = 1.261$, $p = 0.288$, $\eta^2p = 0.11$) né del GROUP ($F(1,10) = 0.479$, $p = 0.505$, $\eta^2p = 0.05$). Inoltre, non è emersa un'interazione significativa $\text{GROUP} \times \text{TIME}$ ($F(1,10) = 3.218$, $p = 0.103$, $\eta^2p = 0.24$). I confronti post-hoc non hanno mostrato variazioni significative tra PRE e POST ($p = 0.288$).

L'analisi dei simple effects ha confermato l'assenza di cambiamenti significativi sia nel gruppo CONTR ($p = 0.645$) sia nel gruppo PLIO ($p = 0.066$), sebbene quest'ultimo abbia evidenziato una tendenza alla riduzione del tempo totale di contatto della mano (PRE: 10.59 ± 1.29 s; POST: 9.03 ± 1.29 s).

Tempo totale di contatto dei piedi

L'analisi mediante Linear Mixed Model ha evidenziato un effetto significativo del TIME ($F(1,10) = 13.873$, $p = 0.004$, $\eta^2p = 0.58$), mentre non è emerso alcun effetto del GROUP ($F(1,10) = 0.586$, $p = 0.462$, $\eta^2p = 0.06$). È stata invece osservata un'interazione significativa $\text{GROUP} \times \text{TIME}$ ($F(1,10) = 9.048$, $p = 0.013$, $\eta^2p = 0.48$). I confronti post-hoc hanno mostrato una riduzione significativa del tempo totale di contatto del piede dal PRE al POST ($p = 0.004$).

L'analisi dei simple effects ha evidenziato un miglioramento significativo esclusivamente nel gruppo PLIO (PRE: 7.96 ± 0.99 s; POST: 6.46 ± 0.99 s; $p < 0.001$), mentre il gruppo CONTR non ha mostrato variazioni significative (PRE: 8.35 ± 0.99 s; POST: 8.19 ± 0.99 s; $p = 0.623$) (Figura 17).

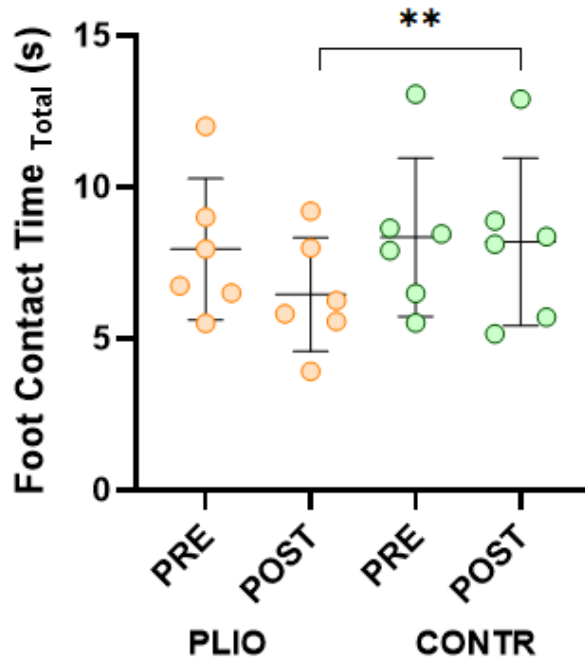


Figura 17: grafico tempo totale di contatto dei piedi

3.2.6. Spostamento centro di massa (COM)

Spostamento verticale del centro di massa

L'analisi mediante Linear Mixed Model ha evidenziato un effetto significativo del GROUP ($F(1,10) = 19.04$, $p = 0.001$, $\eta^2p = 0.66$), mentre non sono emersi effetti significativi del TIME ($F(1,10) = 1.39$, $p = 0.265$, $\eta^2p = 0.12$) né dell'interazione TIME $\times$ GROUP ($F(1,10) = 1.56$, $p = 0.240$, $\eta^2p = 0.13$).

I confronti post-hoc non hanno mostrato variazioni significative tra PRE e POST né nel gruppo CONTR ($p = 0.116$) né nel gruppo PLIO ($p = 0.962$). Complessivamente, il gruppo PLIO ha presentato valori di spostamento verticale del centro di massa significativamente più elevati rispetto al gruppo controllo durante l'intero periodo sperimentale.

Traiettoria del centro di massa

L'analisi mediante Linear Mixed Model non ha evidenziato effetti significativi del TIME ($F(1,10) = 0.409$, $p = 0.537$, $\eta^2p = 0.04$), del GROUP ($F(1,10) = 1.457$, $p = 0.255$, $\eta^2p = 0.13$) né dell'interazione TIME $\times$ GROUP ($F(1,10) = 0.509$, $p = 0.492$, $\eta^2p = 0.05$). I

confronti post-hoc non hanno mostrato differenze significative tra PRE e POST né nel gruppo controllo ($p = 0.361$) né nel gruppo PLIO ($p = 0.960$). In particolare, il gruppo CONTR è passato da 736 ± 22.4 cm a 753 ± 22.4 cm, mentre il gruppo PLIO è rimasto sostanzialmente stabile (710 ± 22.4 cm vs 709 ± 22.4 cm). L'intervento pliometrico non ha determinato modifiche significative nella traiettoria del centro di massa rispetto al gruppo CONTR.

Efficienza del movimento del centro di massa

L'analisi mediante Linear Mixed Model non ha evidenziato effetti significativi del TIME ($F(1,10) = 0.175$, $p = 0.684$, $\eta^2p = 0.02$) né dell'interazione TIME $\times$ GROUP ($F(1,10) = 0.112$, $p = 0.745$, $\eta^2p = 0.01$). Al contrario, è emerso un effetto principale significativo del GROUP ($F(1,10) = 5.100$, $p = 0.047$, $\eta^2p = 0.34$), indicando valori medi di efficienza del movimento superiori nel gruppo PLIO rispetto al gruppo CONTR, indipendentemente dal tempo di valutazione. Le analisi post-hoc non hanno mostrato variazioni significative dal PRE al POST né nel gruppo controllo ($p = 0.954$) né nel gruppo PLIO ($p = 0.606$). In particolare, il gruppo CONTR ha mantenuto valori sostanzialmente invariati (PRE: 0.590 ± 0.022 ; POST: 0.592 ± 0.022), così come il gruppo PLIO (PRE: 0.652 ± 0.022 ; POST: 0.661 ± 0.022). I partecipanti del gruppo PLIO hanno mostrato un'efficienza del movimento del centro di massa mediamente superiore rispetto al gruppo CONTR, ma l'intervento non ha prodotto miglioramenti significativi nel tempo.

Deviazione laterale del centro di massa (asse X)

L'analisi mediante Linear Mixed Model non ha evidenziato effetti significativi del TIME ($F(1,10) = 1.02$, $p = 0.335$, $\eta^2p = 0.09$), del GROUP ($F(1,10) = 1.37$, $p = 0.270$, $\eta^2p = 0.12$) né dell'interazione TIME $\times$ GROUP ($F(1,10) = 1.77$, $p = 0.213$, $\eta^2p = 0.15$).

Le analisi post-hoc non hanno mostrato variazioni significative dal PRE al POST né nel gruppo CONTR ($p = 0.129$) né nel gruppo PLIO ($p = 0.826$). In particolare, il gruppo CONTR ha evidenziato una riduzione non significativa della deviazione laterale del centro di massa (PRE: 57.4 ± 4.56 cm; POST: 48.5 ± 4.56 cm), mentre il gruppo PLIO ha mantenuto valori sostanzialmente stabili (PRE: 46.2 ± 4.56 cm; POST: 47.4 ± 4.56 cm). Infine, i risultati indicano che il programma di allenamento non ha determinato modifiche

significative nella deviazione laterale del centro di massa durante l'esecuzione del gesto motorio.

Escursione laterale del centro di massa (asse X)

L'analisi mediante Linear Mixed Model, per quando riguarda il range orizzontale del COM, non ha evidenziato effetti significativi del TIME ($F(1,20) = 0.94$, $p = 0.344$, $\eta^2p = 0.045$), del GROUP ($F(1,20) = 0.11$, $p = 0.750$, $\eta^2p = 0.005$) né dell'interazione TIME $\times$ GROUP ($F(1,20) = 0.33$, $p = 0.570$, $\eta^2p = 0.016$).

Le analisi degli effetti semplici non hanno mostrato variazioni significative tra PRE e POST né nel gruppo controllo ($p = 0.287$) né nel gruppo pliometrico ($p = 0.785$). In particolare, il gruppo controllo ha mostrato una riduzione non significativa dell'escursione laterale del centro di massa, passando da 205 ± 7.16 cm a 194 ± 7.16 cm, mentre il gruppo pliometrico ha mantenuto valori sostanzialmente stabili (199 ± 7.16 cm vs 196 ± 7.16 cm). I risultati indicano che il programma di allenamento non ha determinato modifiche significative nell'escursione laterale del centro di massa durante l'esecuzione del gesto di arrampicata.

3.2.7. Spostamento scapola

Spostamento verticale della scapola

L'analisi mediante Linear Mixed Model non ha evidenziato un effetto significativo del TIME ($F(1,10)=0.210$, $p=0.657$, $\eta^2p=0.021$), né dell'interazione TIME $\times$ GROUP ($F(1,10)=1.398$, $p=0.264$, $\eta^2p=0.123$). Al contrario, è emerso un significativo effetto del GROUP ($F(1,10)=28.668$, $p<0.001$, $\eta^2p=0.741$). Le analisi degli effetti semplici hanno mostrato che la posizione verticale della scapola non è cambiata significativamente dal PRE al POST né nel gruppo controllo ($p=0.620$) né nel gruppo pliometrico ($p=0.273$). I valori medi stimati hanno mostrato valori medi significativamente maggiori nel gruppo PLIO (449 ± 5.54 cm al PRE e 454 ± 5.54 cm al POST) rispetto al gruppo CONTR (414 ± 5.54 cm al PRE e 412 ± 5.54 cm al POST).

Nel complesso, i risultati indicano che i due gruppi differivano stabilmente nella posizione verticale della scapola durante l'arrampicata, ma l'intervento non ha determinato modifiche significative nel tempo.

Traiettoria della scapola

L'analisi mediante Linear Mixed Model non ha evidenziato effetti significativi del TIME ($F(1,10) = 0.362$, $p = 0.561$, $\eta^2p = 0.035$), del GROUP ($F(1,10) = 1.894$, $p = 0.199$, $\eta^2p = 0.159$) né dell'interazione TIME $\times$ GROUP ($F(1,10) = 0.010$, $p = 0.923$, $\eta^2p = 0.001$).

Le analisi degli effetti semplici non hanno mostrato variazioni significative tra PRE e POST né nel gruppo controllo ($p = 0.631$) né nel gruppo pliometrico ($p = 0.730$). In particolare, la traiettoria della scapola è aumentata in modo non significativo nel gruppo controllo, passando da 689 ± 29.5 cm a 705 ± 29.5 cm, mentre nel gruppo pliometrico è rimasta sostanzialmente stabile (643 ± 29.5 cm vs 654 ± 29.5 cm). I risultati indicano che il programma di allenamento non ha determinato modifiche significative nella traiettoria della scapola durante l'esecuzione del gesto di arrampicata.

Efficienza del movimento scapolare

L'analisi mediante Linear Mixed Model non ha evidenziato un effetto significativo del TIME ($F(1,10)=0.077$, $p=0.788$, $\eta^2p=0.008$), né dell'interazione TIME $\times$ GROUP ($F(1,10)=0.103$, $p=0.755$, $\eta^2p=0.010$). È invece emerso un significativo effetto del GROUP ($F(1,10)=7.202$, $p=0.023$, $\eta^2p=0.419$). Le analisi degli effetti semplici hanno mostrato che l'efficienza del movimento scapolare non è variata significativamente dal PRE al POST né nel gruppo controllo ($p=0.682$) né nel gruppo pliometrico ($p=0.976$). I valori medi stimati hanno evidenziato valori medi significativamente maggiori nel gruppo pliometrico rispetto al gruppo controllo. In particolare, il gruppo controllo ha registrato valori pari a 0.606 ± 0.029 al PRE e 0.595 ± 0.029 al POST, mentre il gruppo pliometrico ha mostrato valori sostanzialmente invariati, passando da 0.699 ± 0.029 al PRE a 0.699 ± 0.029 al POST.

Pertanto, i risultati indicano che il gruppo pliometrico presentava un'efficienza del movimento scapolare superiore rispetto al gruppo controllo, ma l'intervento non ha determinato cambiamenti significativi nel tempo in nessuno dei due gruppi.

Deviazione laterale della scapola (asse X)

L'analisi mediante Linear Mixed Model non ha evidenziato effetti significativi del TIME ($F(1,10)=0.742$, $p=0.409$, $\eta^2p=0.069$), del GROUP ($F(1,10)=1.196$, $p=0.300$, $\eta^2p=0.107$) né dell'interazione TIME $\times$ GROUP ($F(1,10)=1.819$, $p=0.207$, $\eta^2p=0.154$).

Le analisi degli effetti semplici hanno confermato l'assenza di variazioni significative dal PRE al POST sia nel gruppo CONTR ($p=0.149$) sia nel gruppo PLIO ($p=0.737$). I valori medi stimati mostrano una lieve riduzione della deviazione laterale nel gruppo CONTR, che passa da 51.5 ± 4.59 cm al PRE a 42.8 ± 4.59 cm al POST, mentre il gruppo PLIO mantiene valori sostanzialmente stabili (40.5 ± 4.59 cm al PRE e 42.4 ± 4.59 cm al POST). Tuttavia, tali differenze non raggiungono la significatività statistica.

Nel complesso, i risultati suggeriscono che il programma di allenamento non abbia influenzato significativamente la deviazione laterale del movimento scapolare nei due gruppi considerati.

Escursione laterale della scapola (asse X)

L'analisi mediante Linear Mixed Model non ha evidenziato effetti significativi del TIME ($F(1,20)=1.22$, $p=0.282$, $\eta^2p=0.057$), del GROUP ($F(1,20)=1.71$, $p=0.205$, $\eta^2p=0.079$) né dell'interazione TIME $\times$ GROUP ($F(1,20)=1.41$, $p=0.249$, $\eta^2p=0.066$). Le analisi degli effetti semplici hanno confermato l'assenza di differenze significative tra PRE e POST sia nel gruppo CONTR ($p=0.121$) sia nel gruppo PLIO ($p=0.953$). I valori medi stimati mostrano una lieve riduzione del range laterale della scapola nel gruppo CONTR, che passa da 183 ± 7.98 cm al PRE a 164 ± 7.98 cm al POST, mentre il gruppo PLIO mantiene valori pressoché invariati (163 ± 7.98 cm al PRE e 164 ± 7.98 cm al POST). Tuttavia, tali variazioni non risultano statisticamente significative. Nel complesso, il programma di allenamento non ha determinato modifiche significative del range di movimento laterale della scapola nei due gruppi esaminati.

3.2.8. Relazione COM-scapola

Differenza tra traiettoria COM e della scapola

L'analisi mediante Linear Mixed Model non ha evidenziato effetti significativi del TIME ($F(1,10)=0.200$, $p=0.664$, $\eta^2p=0.020$), del GROUP ($F(1,10)=0.466$, $p=0.510$, $\eta^2p=0.045$) né dell'interazione TIME $\times$ GROUP ($F(1,10)=0.312$, $p=0.589$, $\eta^2p=0.030$).

Le analisi degli effetti semplici hanno confermato l'assenza di variazioni significative tra PRE e POST sia nel gruppo CONTR ($p=0.939$) sia nel gruppo PLIO ($p=0.493$). I valori medi stimati hanno evidenziato valori medi complessivamente stabili nel tempo, passando

da 56.8 ± 11.5 cm al PRE a 51.4 ± 11.5 cm al POST. Analogamente, non sono emerse differenze significative tra il gruppo controllo (47.4 ± 13.9 cm) e il gruppo pliometrico (60.8 ± 13.9 cm). Nel dettaglio, il gruppo controllo ha mantenuto valori pressoché invariati (46.7 ± 16.3 cm al PRE vs 48.1 ± 16.3 cm al POST), mentre il gruppo pliometrico ha mostrato una lieve riduzione (66.8 ± 16.3 cm al PRE vs 54.7 ± 16.3 cm al POST), senza raggiungere la significatività statistica.

Pertanto, l'intervento pliometrico non ha prodotto modifiche significative nella differenza tra la traiettoria del centro di massa e quella della scapola durante la salita.

4. DISCUSSIONE

Il presente studio ha valutato gli effetti di un protocollo di allenamento pliometrico della durata di otto settimane sulla forza esplosiva degli arti superiori e inferiori e sui parametri cinematici della risalita nella specialità speed dell'arrampicata sportiva, confrontandoli con quelli derivanti da un programma di allenamento convenzionale. I risultati hanno evidenziato come l'allenamento pliometrico abbia determinato miglioramenti specifici in alcune componenti della performance, pur non producendo modificazioni significative in tutti i parametri analizzati. In particolare, sono emersi adattamenti favorevoli nella forza esplosiva degli arti inferiori e in alcuni aspetti temporali della risalita, mentre le variabili cinematiche spaziali sono rimaste sostanzialmente invariate.

Per quanto riguarda la forza esplosiva degli arti inferiori, l'altezza del Countermovement Jump (CMJ) ha evidenziato una significativa interazione $TIME \times GROUP$, con un incremento significativo nel gruppo sottoposto all'allenamento pliometrico e l'assenza di variazioni nel gruppo di controllo. Tale risultato conferma l'efficacia dell'allenamento pliometrico nel migliorare la capacità di sfruttare il ciclo stiramento-accorciamento (SSC) e la produzione rapida di forza, in accordo con quanto riportato in letteratura (Markovic & Mikulic, 2010; Slimani et al., 2016). Gli adattamenti osservati possono essere attribuiti a un miglioramento del reclutamento delle unità motorie ad alta soglia, della coordinazione intermuscolare e della capacità di accumulare e restituire energia elastica nei tessuti muscolo-tendinei.

Nel contesto della speed climbing, tali adattamenti assumono una particolare rilevanza pratica. La spinta degli arti inferiori rappresenta infatti una componente fondamentale della

progressione verticale, specialmente nelle fasi iniziali della risalita e nei movimenti più dinamici. L'incremento dell'altezza di salto osservato nel gruppo pliometrico suggerisce quindi un miglioramento della capacità di generare rapidamente forza propulsiva, potenzialmente trasferibile alla performance specifica sulla parete. Tuttavia, la produzione di forza verticale tipica del CMJ costituisce soltanto una delle numerose componenti richieste nella speed climbing, disciplina nella quale la coordinazione intersegmentaria, l'efficienza tecnica e la precisione esecutiva rivestono un ruolo determinante.

Analogamente, anche la forza esplosiva degli arti superiori non ha mostrato incrementi significativamente superiori nel gruppo pliometrico. Sebbene la letteratura suggerisca che esercizi pliometrici specifici possano migliorare la rapidità di produzione della forza e la coordinazione neuromuscolare degli arti superiori (Saez de Villarreal et al., 2015), nel presente studio tali adattamenti potrebbero essere stati attenuati dalla breve durata dell'intervento e dalla ridotta numerosità campionaria. Inoltre, gli arrampicatori coinvolti possedevano già un elevato livello di allenamento, condizione che generalmente limita l'entità dei miglioramenti ottenibili attraverso programmi di durata relativamente contenuta.

Per quanto riguarda i parametri cinematici della risalita, nessuna delle variabili spaziali analizzate ha evidenziato differenze significative tra i gruppi o nel tempo. In particolare, l'efficienza scapolare, la deviazione laterale delle scapole, il range di movimento sul piano orizzontale e la differenza tra gli spostamenti del centro di massa e delle scapole sono rimasti sostanzialmente invariati dopo l'intervento. Tali risultati suggeriscono che gli adattamenti tecnici nella speed climbing possano richiedere periodi di allenamento più prolungati e maggiormente specifici rispetto a quelli necessari per modificare parametri esclusivamente neuromuscolari.

La letteratura sull'analisi cinematica dell'arrampicata evidenzia infatti come gli atleti esperti presentino traiettorie del centro di massa più fluide, dirette ed efficienti rispetto ai principianti, riducendo i movimenti superflui e ottimizzando il trasferimento delle forze lungo la parete (Sibella et al., 2007). Tali caratteristiche derivano probabilmente da anni di pratica e da un'elevata specializzazione tecnica, rendendo più difficile osservare modificazioni significative attraverso interventi di durata limitata. Analogamente, la prestazione nella speed climbing dipende fortemente dalla capacità di automatizzare sequenze motorie estremamente rapide e precise, con tempi di percorrenza inferiori ai sette secondi negli atleti di livello internazionale (Pandurević et al., 2023).

Un ulteriore elemento da considerare riguarda la specificità del protocollo pliometrico utilizzato. Sebbene gli esercizi proposti fossero finalizzati al miglioramento della forza esplosiva, essi potrebbero non aver riprodotto completamente le richieste biomeccaniche della speed climbing, caratterizzate da rapidi trasferimenti di carico tra arti superiori e inferiori, movimenti multidirezionali e precise strategie di posizionamento corporeo. Secondo il principio della specificità dell'allenamento, gli adattamenti neuromuscolari risultano massimizzati quando gli esercizi riproducono fedelmente i gesti tecnici della disciplina praticata (Behm & Sale, 1993). Pertanto, protocolli pliometrici maggiormente integrati con movimenti specifici della risalita potrebbero produrre effetti più evidenti sulla performance e sui parametri cinematici.

Nel complesso, i risultati suggeriscono che l'allenamento pliometrico rappresenti una strategia utile per migliorare alcune componenti della forza esplosiva degli arti inferiori e della performance funzionale nella speed climbing, pur senza modificare in maniera sostanziale i pattern cinematici consolidati degli atleti esperti. Studi futuri, caratterizzati da campioni più numerosi, periodi di intervento più lunghi e protocolli maggiormente specifici per la disciplina, potranno chiarire ulteriormente il ruolo della pliometria nell'ottimizzazione della prestazione nello speed climbing.

5. CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi ha analizzato gli effetti di un programma di allenamento pliometrico della durata di otto settimane sulla forza esplosiva degli arti superiori e inferiori e sui parametri cinematici della risalita in giovani atleti di arrampicata speed. I risultati hanno evidenziato che l'allenamento pliometrico ha prodotto adattamenti positivi in alcune componenti della performance neuromuscolare, in particolare nella forza esplosiva degli arti inferiori. Il gruppo sperimentale ha infatti mostrato un significativo incremento dell'altezza del Countermovement Jump (CMJ), suggerendo un miglioramento della capacità di sfruttare il ciclo allungamento-accorciamento (SSC) e di produrre rapidamente forza durante i movimenti esplosivi.

Al contrario, la forza degli arti superiori e gran parte dei parametri cinematici spaziali della risalita, quali il movimento delle scapole e le traiettorie del centro di massa, non hanno evidenziato modificazioni significative in seguito all'intervento. Ciò suggerisce che tali aspetti, fortemente influenzati dalla tecnica e dall'esperienza specifica dell'atleta, possano

richiedere programmi di allenamento più prolungati e maggiormente orientati ai gesti propri della disciplina. Nel complesso, i risultati confermano l'importanza della specificità dell'allenamento nella speed climbing. Sebbene la pliometria rappresenti uno strumento efficace per migliorare la forza esplosiva degli arti inferiori, il trasferimento di tali adattamenti alla prestazione tecnica e ai pattern cinematici della risalita appare limitato quando gli esercizi non riproducono completamente le richieste biomeccaniche della disciplina. Dal punto di vista applicativo, l'integrazione di esercizi pliometrici all'interno della preparazione atletica degli speed climber potrebbe costituire una strategia utile per incrementare le capacità neuromuscolari degli arti inferiori senza alterare i pattern motori consolidati. Tuttavia, per massimizzare il trasferimento alla performance specifica, sarebbe opportuno sviluppare protocolli maggiormente integrati con i movimenti e le richieste tecniche della risalita.

Infine, la principale limitazione del presente studio è rappresentata dalla ridotta numerosità campionaria, aspetto comune nelle ricerche condotte su atleti specializzati di alto livello. Ulteriori studi, caratterizzati da campioni più ampi, periodi di intervento più lunghi e protocolli maggiormente specifici per la speed climbing, saranno necessari per chiarire il ruolo dell'allenamento pliometrico nell'ottimizzazione della prestazione e dell'efficienza motoria in questa disciplina.

Applicazioni Pratiche e limiti

I risultati del presente studio suggeriscono che l'integrazione di esercizi pliometrici all'interno della preparazione atletica degli speed climber possa rappresentare una strategia efficace per migliorare la forza esplosiva degli arti inferiori e alcuni aspetti temporali della performance, come la riduzione dei tempi di contatto dei piedi e del tempo complessivo di salita. Tali adattamenti sembrano essere riconducibili a un miglioramento della capacità di sfruttare il ciclo allungamento-accorciamento (SSC), a un incremento della stiffness muscolo-tendinea e della Rate of Force Development (RFD), elementi fondamentali per la produzione rapida di forza nella progressione verticale.

Dal punto di vista applicativo, l'inserimento di protocolli pliometrici di breve durata potrebbe quindi costituire un valido complemento all'allenamento tecnico tradizionale, consentendo di sviluppare le capacità neuromuscolari senza alterare i pattern motori già automatizzati negli atleti esperti. Tuttavia, per massimizzare il trasferimento alla

prestazione specifica, sarebbe opportuno progettare esercitazioni che riproducano maggiormente le richieste biomeccaniche della speed climbing, integrando movimenti multidirezionali, rapide transizioni tra arti superiori e inferiori e gesti tecnici caratteristici della risalita sulla parete standardizzata.

Bibliografia

- Titouan Paul Perrin 1, H. (2026). Low-Load Bnces Brachial Blood Flow During Exercisebut not Reactive Hyperemia in Experiencedlood Flow Restriction Training Enha Climbers.
- Devise, M. (s.d.). Effects of Different Hangboard Training Intensities on Finger Grip Strength, Stamina, and Endurance. 2022.
- Simon Fryer 1, L. S. (2015). Forearm oxygenation and blood flow kinetics during a sustained contraction in multiple ability groups of rock climbers.
- Dominik Pandurević *ORCID, P. D. (2025). Performance Insights in Speed Climbing: Quantitative and Qualitative Analysis of Key Movement Metrics.
- Lionel Reveret 1, S. C. (s.d.). 3D Visualization of Body Motion in Speed Climbing. 2020.
- Pingao Huang 1, 3. H. (2025). Speed Climbing Analysis System Based on Spatial Positioning and Posture Recognition: Design and Effectiveness Assessment.
- Wen-Lung Shih 1, M.-L. Y.-H.-E. (2024). Dynamic Analysis of Upper- and Lower-Extremity Performance During Take-Offs and Landings in High-Wall Climbing: Effects of a Plyometric and Strength Training Intervention.
- Effects of Upper-Body Plyometric Training on Physical Fitness in Healthy Youth and Young Adult Participants: A Systematic Review with Meta-Analysis (2023); Exal Garcia-Carrillo1, Rodrigo Ramirez-Campillo2, Rohit K. Thapa3, José Afonso4, Urs Granacher5* and Mikel Izquierdo1
- Effects of Upper and Lower Limb Plyometric Training Program on Components of Physical Performance in Young Female Handball Players (2020); Mehrez Hammami1,2*, Nawel Gaamouril,2, Katsuhiko Suzuki3, Roy J. Shephard4 and Mohamed Souhaïel Chelly
- Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. (2010). *Goran Markovic 1, Pavle Mikulic.*
- Effects of Plyometric Training on Physical Performance: An Umbrella Review(2023); Rafael L. Kons1* , Lucas B. R. Orssatto2 , Jonathan Ache-Dias3 Gabriel S. Trajano2 , Juliano Dal Pupo
- Hand–arm strength and endurance as predictors of climbing performance (2011); Jiří Baláš, Ondřej Pecha, Andrew J. Martin, Darryl Cochrane
- The physiology of rock climbing (2006) Luisa V Giles ¹, Edward C Rhodes, Jack E Taunton
- Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements P G Weyand ¹, D B Sternlight, M J Bellizzi, S Wright (2000)

- Sibella F, Frosio I, Schena F, Borghese NA. 3D analysis of the body center of mass in rock climbing. *Human Movement Science*. 2007;26(6):841–852.
- Pandurević T, Hadžić V, Cigrovski V. Kinematic characteristics of elite speed climbing performance. *Journal of Human Kinetics*. 2023;87:181–193.
- Behm DG, Sale DG. Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *J Appl Physiol*. 1993.
- Markovic G, Mikulic P. Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Med*. 2010.
- Saez de Villarreal E, et al. Effects of plyometric training on physical performance. *J Strength Cond Res*. 2015.
- Sibella F, et al. 3D analysis of the body center of mass in rock climbing. *Hum Mov Sci*. 2007.
- Slimani M, et al. Effects of plyometric training on physical fitness in athletes. *J Hum Kinet*. 2016.
- Pandurević T, et al. Kinematic characteristics of elite speed climbing performance. *J Hum Kinet*. 2023.

SITOGRAFIA

<https://www.federclimb.it/l-arrampicata-sportiva/discipline.html>

<https://www.garmin.com/it-IT/blog/fitness/pliometria/>

<https://blog.performancelab16.com/countermovement-jump-test/>

<https://www.fitness-tests.app/tests/30-second-push-up-test>