

INDICE

INTRODUZIONE	Pag. 3
CAPITOLO 1: Il calcio femminile	Pag. 4
1.1 Evoluzione del calcio femminile	Pag. 4
1.2 Caratteristiche fisiologiche e richieste energetiche	Pag. 5
1.3 Differenze nel modello prestativo tra calcio femminile e maschile	Pag. 8
1.4 La preparazione atletica nel calcio femminile moderno	Pag. 9
CAPITOLO 2: Fattori fisiologici della RSA	Pag. 11
2.1 Metabolismo aerobico e anaerobico nella fatica	Pag. 11
2.1.1 Manifestazioni della fatica in partita	Pag. 14
2.2 Determinanti neuromuscolari	Pag. 16
2.3 Aspetti biomeccanici	Pag. 18
CAPITOLO 3: Determinanti della performance	Pag. 20
3.1 RSA nel calcio femminile	Pag. 20
3.1.1 Evoluzione del concetto di RSA nel calcio moderno	Pag. 21
3.2 Determinanti allenabili della RSA	Pag. 22
3.3 Principi metodologici per l'allenamento della RSA	Pag. 24
3.4 Valutazione della RSA	Pag. 26
CAPITOLO 4: Studio sperimentale	Pag. 29
4.1 Obiettivo dello studio e ipotesi	Pag. 29
4.2 Materiali e metodi	Pag. 30

4.3 Risultati	Pag. 32
4.3.1 Countermovement Jump Test	Pag. 32
4.3.2 Sprint 20m Test	Pag. 32
4.3.3 505 Agility Test	Pag. 34
4.3.4 Repeatead Sprint Ability Test	Pag. 35
4.4 Discussione	Pag. 37
4.5 Limitazioni	Pag. 40
RINGRAZIAMENTI	Pag. 42
BIBLIOGRAFIA	Pag. 43

INTRODUZIONE

Definizione di Repeated Sprint Ability

In letteratura, tale capacità viene definita come l'abilità di eseguire sprint di breve durata (≤ 10 secondi), intervallati da periodi di recupero limitati (≤ 60 secondi), mantenendo elevati livelli prestativi durante la sequenza di ripetizioni. Questa capacità rappresenta una caratteristica ricorrente negli sport intermittenti, in particolare negli sport di squadra come il calcio femminile, dove le atlete sono frequentemente chiamate ad esprimere sforzi di intensità massimale o sub-massimale, intervallati da periodi di recupero di breve durata, che possono consistere in fasi di inattività oppure di attività a bassa o moderata intensità. Le analisi di *time-motion*¹ condotte negli sport di squadra evidenziano come le azioni di sprint costituiscano generalmente tra l'1% e il 10% della distanza totale percorsa e tra l'1% e il 3% del tempo di gioco effettivo e, nonostante la loro limitata incidenza quantitativa, tali azioni risultino spesso decisive ai fini del risultato.

È importante distinguere due principali modalità di sprint: gli sprint intermittenti e gli sprint ripetuti. I primi sono caratterizzati da azioni brevi (≤ 10 secondi) intervallate da tempi di recupero relativamente lunghi (1-5 minuti), tali da consentire un recupero pressoché completo della prestazione tra una ripetizione e l'altra. Diversamente, negli sprint ripetuti le azioni di breve durata sono separate da intervalli di recupero molto più ridotti (≤ 60 secondi). Questa differenza nella gestione dei tempi di recupero comporta effetti distinti sulla prestazione, poiché negli sprint intermittenti il calo prestativo risulta minimo o assente, mentre negli sprint ripetuti si osserva una progressiva e significativa riduzione della performance. Tale distinzione assume particolare rilevanza dal punto di vista fisiologico, in quanto i meccanismi alla base dell'insorgenza della fatica risultano differenti tra le due modalità di esercizio.

La RSA rappresenta una capacità complessa e multifattoriale, determinante nella prestazione di sport intermittenti ad alta intensità come il calcio. Essa implica l'abilità di eseguire sprint ripetuti con recuperi incompleti, sottoponendo l'organismo a un'elevata sollecitazione dei sistemi energetici e del sistema neuromuscolare e rendendosi così un elemento centrale nella determinazione della performance.

CAPITOLO 1: IL CALCIO FEMMINILE

1.1 Evoluzione del calcio femminile

Negli ultimi decenni il calcio femminile ha vissuto una profonda trasformazione, passando da disciplina marginale a fenomeno sportivo di rilevanza internazionale, sia dal punto di vista competitivo sia sotto il profilo scientifico. Sebbene le prime testimonianze della pratica calcistica femminile risalgano alla fine del XIX secolo, il suo sviluppo è stato a lungo ostacolato da fattori culturali e sociali che ne hanno limitato la diffusione e il riconoscimento istituzionale. Solo nella seconda metà del Novecento il movimento ha iniziato un percorso di crescita strutturato, grazie alla progressiva affermazione dello sport femminile e al crescente interesse delle federazioni calcistiche. Tale processo ha portato alla nascita di competizioni nazionali e internazionali sempre più organizzate e a un progressivo consolidamento del movimento. Negli ultimi anni questa evoluzione ha subito un'ulteriore accelerazione grazie al sostegno della FIFA e della UEFA, che hanno promosso importanti investimenti finalizzati allo sviluppo del settore. Tali iniziative hanno favorito l'incremento del numero di tesserate, il miglioramento delle infrastrutture sportive e una crescente diffusione di competizioni di alto livello. Secondo il *FIFA Women's Football: Member Associations Survey Report 2023*, il numero di donne e ragazze che praticano calcio organizzato è aumentato di circa il 25% rispetto al 2019, raggiungendo oltre 16 milioni di tesserate distribuite in più di 180 associazioni sportive affiliate. Lo stesso rapporto evidenzia inoltre un progressivo aumento del numero di federazioni impegnate nello sviluppo di strategie dedicate al calcio femminile, confermando il rapido processo di espansione e consolidamento del movimento a livello internazionale. Anche in Italia il calcio femminile ha conosciuto una significativa evoluzione. L'introduzione del professionismo nella Serie A Femminile, a partire dalla stagione 2022-2023, ha rappresentato una tappa fondamentale per la crescita dell'intero settore, contribuendo al miglioramento dell'organizzazione societaria, della preparazione atletica e dell'assistenza medico-scientifica alle atlete. Questo cambiamento ha reso sempre più evidente la necessità di adottare metodologie di allenamento e sistemi di valutazione fondati su evidenze scientifiche, analogamente a quanto avviene da tempo nel calcio maschile.

Parallelamente allo sviluppo organizzativo del movimento, anche il modello di gioco ha subito una significativa evoluzione. Le partite sono oggi caratterizzate da ritmi più elevati, da una maggiore intensità delle azioni e da un numero crescente di accelerazioni, sprint e cambi di direzione ad alta velocità (Datson et al., 2014). Di conseguenza, la preparazione atletica ha assunto un ruolo sempre più centrale nella programmazione dell'allenamento, orientandosi verso lo sviluppo delle qualità neuromuscolari e metaboliche maggiormente coinvolte nella prestazione. In questa prospettiva, la *FIFA Women's Football Strategy 2024–2027* sottolinea come il continuo incremento della competitività richieda investimenti non solo nello sviluppo tecnico e organizzativo, ma anche nella ricerca scientifica applicata alla performance e nella formazione di figure professionali specializzate.

L'espansione del movimento ha trovato riscontro anche nella letteratura scientifica. Se in passato gran parte delle conoscenze relative alla prestazione calcistica derivava da studi condotti prevalentemente su popolazioni maschili, negli ultimi anni numerose ricerche hanno approfondito le caratteristiche fisiologiche, biomeccaniche e prestative delle calciatrici. Ciò ha evidenziato la necessità di sviluppare modelli di allenamento e protocolli di valutazione specifici per questa popolazione. Una più approfondita comprensione del modello prestativo del calcio femminile costituisce, infatti, un presupposto essenziale per ottimizzare la preparazione atletica e migliorare la prestazione in gara. Alla luce di queste considerazioni, risulta necessario analizzare le caratteristiche del modello prestativo del calcio femminile, al fine di comprendere le richieste della competizione e individuare le capacità fisiche maggiormente determinanti per la performance.

1.2 Caratteristiche fisiologiche e richieste energetiche

Il calcio è classificato come uno sport intermittente ad alta intensità, caratterizzato dalla continua alternanza tra attività svolte a diversa intensità, comprendenti fasi di recupero relativo e momenti di elevato impegno fisico (Krustrup et al., 2005; Datson et al., 2014). Questa natura intermittente della prestazione richiede alle atlete la capacità di modulare costantemente il proprio comportamento motorio in funzione delle esigenze tattiche della

gara, mantenendo elevati livelli di efficienza anche durante le fasi di maggiore stress fisiologico. Dal punto di vista quantitativo, le calciatrici percorrono mediamente tra gli 8 e gli 11 km nel corso di una partita ufficiale, sebbene la distanza totale possa variare in relazione al livello competitivo, al ruolo ricoperto e alle caratteristiche tattiche della squadra (Krustrup et al., 2005; Datson et al., 2014). La maggior parte della distanza è costituita da attività a bassa intensità, mentre una percentuale inferiore è rappresentata da corse ad alta velocità e sprint. Nonostante il loro contributo sia limitato in termini di distanza percorsa, queste azioni rivestono un ruolo determinante nella prestazione, poiché risultano frequentemente associate a episodi decisivi della gara, quali conclusioni a rete, recuperi difensivi, transizioni offensive e situazioni di pressione sull'avversario (Datson et al., 2014).

Le richieste fisiche della competizione non sono uniformi tra i diversi ruoli di gioco. L'analisi del profilo prestativo evidenzia differenze significative nella distribuzione delle attività ad alta intensità in funzione delle responsabilità tattiche delle giocatrici. Le attaccanti e le esterne effettuano generalmente un numero maggiore di sprint e percorrono distanze superiori ad alta velocità, in conseguenza della frequente partecipazione alle transizioni offensive e agli attacchi della profondità. Le centrocampiste sono invece caratterizzate da un elevato volume di attività intermittente, dovendo alternare continuamente fasi di corsa, recupero e pressione sull'avversario. I difensori centrali, pur registrando generalmente un numero inferiore di sprint, sono sottoposti a richieste elevate in termini di accelerazioni, decelerazioni, cambi di direzione e duelli individuali (Datson et al., 2014). Dal punto di vista energetico, il calcio richiede un'integrazione continua dei diversi sistemi metabolici. Sebbene il metabolismo aerobico rappresenti il principale sistema energetico coinvolto durante l'intera durata della gara, grazie alla sua capacità di sostenere l'elevato volume complessivo di attività e di favorire il recupero tra azioni successive, le fasi di maggiore intensità dipendono prevalentemente dal contributo dei sistemi anaerobici (Bangsbo et al., 2006). Durante sprint, accelerazioni e azioni esplosive di breve durata, infatti, l'energia viene fornita principalmente dal sistema della fosfocreatina e dal metabolismo glicolitico anaerobico, che consentono una rapida produzione di ATP. Il ruolo del metabolismo aerobico, tuttavia, non si limita al sostegno delle attività a bassa intensità: una buona capacità aerobica costituisce infatti un requisito fondamentale per sostenere la natura intermittente della prestazione, poiché favorisce una

più rapida risintesi della fosfocreatina e migliora la capacità di smaltire i metaboliti prodotti durante gli sforzi ad alta intensità (Buchheit & Laursen, 2013). Di conseguenza, le calciatrici dotate di una maggiore efficienza aerobica risultano generalmente in grado di mantenere livelli prestativi più elevati nel corso dell'intera gara.

Tra le componenti che maggiormente influenzano la prestazione nel calcio moderno assumono particolare rilevanza le attività ad alta intensità. Le analisi effettuate mediante sistemi GPS hanno evidenziato un progressivo incremento del numero di accelerazioni, decelerazioni e sprint, indicando un'evoluzione del gioco verso ritmi sempre più elevati (Datson et al., 2014). Sebbene queste azioni rappresentino una quota ridotta della durata complessiva della partita, esse richiedono elevate capacità neuromuscolari, indispensabili per produrre forza in tempi molto brevi, accelerare il corpo e modificare rapidamente la direzione del movimento. Lo sprint costituisce una delle principali espressioni della prestazione fisica nel calcio, poiché molte delle situazioni decisive della gara sono precedute da azioni eseguite ad alta velocità. Tuttavia, nel contesto calcistico, la qualità determinante non consiste esclusivamente nella capacità di eseguire un singolo sprint massimale, bensì nella possibilità di ripetere più sprint mantenendo prestazioni elevate nonostante periodi di recupero incompleti (Girard et al., 2011). Questa caratteristica rappresenta uno degli elementi distintivi degli sport intermittenti e costituisce il presupposto teorico sul quale si fonda il concetto di *Repeated Sprint Ability* (RSA). Un ulteriore aspetto distintivo del calcio femminile moderno è rappresentato dalla crescente importanza delle accelerazioni e delle decelerazioni. A differenza dello sprint lineare, molte azioni di gara prevedono rapide variazioni della velocità, arresti improvvisi e cambi di direzione, richiedendo un elevato controllo neuromuscolare e un'efficace produzione di forza in condizioni dinamiche. Di conseguenza, la prestazione calcistica non può essere valutata esclusivamente attraverso la velocità massima raggiunta, ma deve considerare anche la capacità dell'atleta di sviluppare forza rapidamente in differenti situazioni motorie.

1.3 Differenza nel modello prestativo tra calcio femminile e maschile

Nonostante il calcio femminile e quello maschile condividano la medesima struttura di gioco, le peculiarità fisiologiche e prestative delle atlete e degli atleti determinano modalità differenti con cui vengono soddisfatte le richieste della competizione. Per lungo tempo, gran parte delle conoscenze scientifiche relative alla prestazione calcistica è stata sviluppata attraverso studi condotti prevalentemente su popolazioni maschili, determinando una limitata disponibilità di evidenze specifiche riguardanti le calciatrici. Negli ultimi anni, tuttavia, il crescente interesse della ricerca per il calcio femminile ha evidenziato la necessità di considerare le peculiarità di questa popolazione nella valutazione della prestazione e nella programmazione dell'allenamento (Datson et al., 2014).

Dal punto di vista delle richieste fisiche, uomini e donne presentano un profilo prestativo nel complesso simile, caratterizzato dalla predominanza di attività a bassa intensità intervallate da azioni esplosive. Tuttavia, nel calcio maschile si osservano generalmente valori assoluti superiori in termini di distanza percorsa ad alta velocità, numero di sprint e velocità massime raggiunte, principalmente in conseguenza della maggiore capacità di produzione di forza, della diversa composizione corporea e delle differenti caratteristiche neuromuscolari (Datson et al., 2014). Nel calcio femminile, invece, le velocità assolute risultano mediamente inferiori; ciò nonostante, la natura intermittente della prestazione e il ruolo delle azioni ad alta intensità rimangono elementi cardine del modello di gioco. Dal punto di vista cardiorespiratorio e metabolico, le donne presentano generalmente valori assoluti inferiori di consumo massimo di ossigeno (VO_2max) rispetto agli uomini, sebbene tali differenze tendano a ridursi quando il parametro viene rapportato alla massa corporea o alla massa magra (Datson et al., 2014). Ciononostante, la capacità aerobica riveste un ruolo centrale anche nel calcio femminile: i valori di VO_2max possono variare nel corso della stagione in relazione al periodo di allenamento e alle richieste competitive, evidenziando l'importanza della preparazione aerobica nel mantenimento della condizione fisica delle calciatrici (Miller et al., 2007). Una buona efficienza aerobica non solo consente di sostenere l'elevato volume complessivo di lavoro richiesto durante la gara, ma favorisce anche una più rapida risintesi della fosfocreatina e lo smaltimento dei

metaboliti, accelerando i processi di recupero tra sforzi ad alta intensità e determinando la capacità di sostenere attività intermittenti nel tempo.

Un ulteriore elemento distintivo riguarda la distribuzione delle azioni ad alta intensità nel corso della partita. Sebbene nel calcio femminile il numero di sprint e le velocità massime siano mediamente inferiori rispetto al calcio maschile, le azioni esplosive mantengono un ruolo determinante nell'influenzare gli episodi decisivi della gara. Inoltre, diverse analisi hanno evidenziato come il profilo prestativo delle calciatrici possa variare significativamente in funzione del livello competitivo, del ruolo ricoperto e del contesto tattico, sottolineando l'importanza di adottare criteri di valutazione specifici e individualizzati (Datson et al., 2014). Tali evidenze mettono in luce la necessità di evitare una semplice trasposizione dei modelli di allenamento sviluppati nel calcio maschile. Sebbene i principi generali della preparazione atletica siano in larga parte condivisi, la programmazione deve essere adattata alle specifiche caratteristiche fisiologiche, neuromuscolari e biomeccaniche delle calciatrici. In quest'ottica, lo sviluppo della forza, della potenza muscolare, della velocità e della capacità di sostenere azioni ripetute ad alta intensità rappresenta uno degli aspetti fondamentali per ottimizzare la prestazione nel calcio femminile moderno.

1.4 La preparazione atletica nel calcio femminile moderno

L'evoluzione del calcio femminile ha determinato un progressivo cambiamento anche nell'approccio alla preparazione atletica, che negli ultimi anni è passata da un modello prevalentemente generalizzato a una metodologia sempre più specifica e basata sulle reali richieste della competizione. L'aumento dell'intensità del gioco, della frequenza delle azioni ad alta velocità e della complessità delle richieste fisiche ha reso necessario lo sviluppo di programmi di allenamento in grado di integrare componenti metaboliche, neuromuscolari e tecnico-tattiche (Datson et al., 2014). La preparazione atletica contemporanea si basa sempre più sull'utilizzo di strumenti di monitoraggio e valutazione della prestazione, fondamentali per analizzare il carico esterno e interno delle atlete e consentire una maggiore individualizzazione del processo di allenamento. L'impiego di sistemi GPS e tecnologie di tracking ha permesso di quantificare con maggiore precisione parametri quali distanza percorsa, accelerazioni, decelerazioni e frequenza delle attività

ad alta intensità, fornendo informazioni utili per strutturare interventi mirati e coerenti con le esigenze delle singole giocatrici (Varley & Aughey, 2013).

All'interno della programmazione assume particolare rilevanza lo sviluppo delle componenti neuromuscolari. La forza muscolare, la potenza e la capacità di esprimere elevati livelli di forza in tempi ridotti costituiscono infatti elementi fondamentali per l'esecuzione efficace di sprint, accelerazioni, cambi di direzione e duelli individuali: situazioni frequenti e determinanti nel calcio moderno (Suchomel et al., 2016). Parallelamente, il miglioramento della componente aerobica mantiene un ruolo essenziale non solo nel sostenere l'elevato volume di lavoro richiesto durante la gara, ma anche nel favorire il recupero tra azioni successive ad alta intensità. Un ulteriore aspetto caratterizzante della preparazione atletica nel calcio femminile riguarda la prevenzione degli infortuni. Le differenze anatomiche, neuromuscolari e biomeccaniche rispetto alla popolazione maschile hanno evidenziato la necessità di sviluppare programmi specifici finalizzati al miglioramento del controllo motorio, della stabilità articolare e della forza degli arti inferiori, con particolare attenzione alla riduzione del rischio di lesioni del legamento crociato anteriore (LCA) (Hewett et al., 2006). Alla luce delle crescenti richieste prestative del calcio moderno, particolare attenzione è stata dedicata allo sviluppo della capacità di ripetere azioni ad alta intensità mantenendo livelli elevati di prestazione. La Repeated Sprint Ability (RSA) rappresenta infatti una qualità determinante negli sport intermittenti, poiché coinvolge molteplici componenti fisiologiche e neuromuscolari, tra cui la disponibilità anaerobica, l'efficienza del recupero aerobico, la produzione di forza e la capacità di resistere alla fatica (Girard et al., 2011; Bishop et al., 2011). Lo sviluppo della RSA richiede pertanto un approccio integrato, capace di combinare stimoli metabolici e neuromuscolari specifici in relazione alle richieste della competizione.

CAPITOLO 2: FATTORI FISIOLOGICI DELLA RSA

2.1 Metabolismo aerobico e anaerobico della fatica nella RSA

La Repeated Sprint Ability rappresenta una qualità fondamentale negli sport intermittenti come il calcio e può essere interpretata come una capacità che coinvolge in maniera integrata i sistemi energetici anaerobico e aerobico. Durante gli sprint ad alta intensità, la produzione di energia è sostenuta principalmente dai sistemi anaerobici, mentre il metabolismo ossidativo assume un ruolo particolarmente rilevante durante le fasi di recupero, contribuendo al ripristino delle condizioni necessarie per sostenere gli sforzi successivi (Rampinini et al., 2007; Girard et al., 2011). La RSA richiede pertanto non soltanto l'abilità di esprimere elevati livelli di prestazione durante il singolo sprint, ma anche quella di recuperare rapidamente e ripetere tale prestazione in condizioni di recupero incompleto. La fatica costituisce una caratteristica distintiva dell'esercizio di sprint ripetuti e si manifesta attraverso una progressiva riduzione della velocità di sprint, della potenza espressa e, nei protocolli che lo consentono, del lavoro complessivo prodotto (Girard et al., 2011). Un aspetto rilevante della RSA riguarda la relazione tra prestazione iniziale e successivo decadimento prestativo. È stata evidenziata una relazione inversa tra la prestazione ottenuta nel primo sprint e il decremento della prestazione nelle ripetizioni successive: gli atleti caratterizzati da una maggiore prestazione iniziale possono manifestare, in alcuni protocolli, un maggiore decadimento relativo nelle prove successive (Girard et al., 2011; Mendez-Villanueva et al., 2007). Tale relazione evidenzia la natura multifattoriale della RSA, nella quale la capacità di esprimere elevati livelli di potenza deve essere accompagnata da un'adeguata efficienza di recupero tra gli sforzi.

Per quantificare il decadimento della prestazione durante i test di sprint ripetuti, la letteratura propone diversi indicatori, tra cui il *Fatigue Index* (FI) e il *Percentage Decrement Score* (S_{dec}). Il FI considera la differenza relativa tra la migliore e la peggiore prestazione registrata durante il test, mentre lo S_{dec} confronta la prestazione complessiva effettivamente ottenuta con quella teoricamente ottenibile qualora tutte le ripetizioni fossero state eseguite alla prestazione del miglior sprint. Lo S_{dec} tiene conto dell'intera sequenza di prove e non esclusivamente dei valori estremi, fornendo una misura del decadimento prestativo riferita all'andamento complessivo del test (Glaister, 2005; Girard

et al., 2011). La scelta dell'indicatore deve tuttavia essere effettuata considerando le caratteristiche del protocollo e il tipo di informazione che si intende ottenere, poiché i diversi indici possono fornire dati differenti sull'andamento della prestazione. Dal punto di vista fisiologico, la fatica associata alla RSA è il risultato dell'interazione tra fattori periferici e centrali. Tra i meccanismi periferici assumono particolare rilevanza la progressiva riduzione della disponibilità di fosfocreatina (PCr), l'attivazione della glicolisi anaerobica e le modificazioni dell'ambiente metabolico intramuscolare. Durante gli sprint massimali, la PCr rappresenta una fonte energetica fondamentale per la rapida risintesi dell'ATP, mentre il contributo glicolitico aumenta in relazione alla richiesta energetica dell'esercizio. Gaitanos et al. (1993), analizzando una serie di sprint massimali intermittenti, hanno evidenziato un importante utilizzo della PCr già durante il primo sprint e un significativo contributo della glicolisi anaerobica alla produzione energetica. Nel corso delle ripetizioni successive, la progressiva riduzione della disponibilità di PCr e le alterazioni metaboliche associate all'esercizio contribuiscono al decadimento della prestazione (Gaitanos et al., 1993; Girard et al., 2011).

A questi meccanismi si affianca il contributo del metabolismo ossidativo, che assume un'importanza crescente durante i periodi di recupero tra uno sprint e l'altro. Una maggiore capacità aerobica può favorire il recupero attraverso una più rapida risintesi della PCr e una migliore capacità di sostenere la produzione energetica durante le ripetizioni successive. Il metabolismo aerobico non deve quindi essere considerato soltanto come una fonte energetica per l'attività prolungata, ma anche come una componente fondamentale dei processi di recupero che permettono di mantenere la prestazione durante esercizi intermittenti ad alta intensità (Buchheit & Laursen, 2013; Girard et al., 2011). La fatica durante la RSA presenta inoltre una componente neuromuscolare. La progressiva riduzione della capacità di produrre forza e potenza può essere associata a una diminuzione dell'attivazione neuromuscolare e a modificazioni nella capacità di reclutamento delle unità motorie. Mendez-Villanueva et al. (2007) hanno evidenziato come il decadimento della prestazione durante sprint ripetuti sia accompagnato da modificazioni dell'attività neuromuscolare, sottolineando il contributo sinergico di fattori centrali e periferici alla manifestazione della fatica. La prestazione nella RSA deve pertanto essere considerata come il risultato dell'interazione tra

disponibilità energetica, capacità di recupero e capacità neuromuscolare di mantenere elevati livelli di produzione di forza e potenza.

In questo contesto, la capacità aerobica rappresenta uno dei fattori che possono contribuire al mantenimento della prestazione negli sprint ripetuti. Una maggiore efficienza del sistema ossidativo è associata a una migliore capacità di recuperare tra sforzi consecutivi, favorendo la risintesi della PCr e il ripristino delle condizioni metaboliche necessarie per affrontare gli sprint successivi (Buchheit & Laursen, 2013). La capacità aerobica deve tuttavia essere considerata come uno dei diversi determinanti della RSA e non come un fattore esclusivo, poiché la prestazione dipende anche dalle caratteristiche neuromuscolari, metaboliche e biomeccaniche dell'atleta (Girard et al., 2011). Test di capacità aerobica intermittente, come lo *Yo-Yo Intermittent Recovery Test*, possono risultare associati alla capacità di sostenere attività ad alta intensità negli sport di squadra, fornendo informazioni complementari alla valutazione specifica della RSA. Anche le caratteristiche individuali dell'atleta possono modulare la risposta alla fatica. Età, livello di allenamento, capacità aerobica e caratteristiche neuromuscolari influenzano sia la prestazione iniziale sia la capacità di recuperare tra gli sprint e, di conseguenza, il grado di decadimento osservato nel corso della prova. La risposta alla fatica non deve pertanto essere interpretata esclusivamente sulla base della prestazione assoluta, ma anche considerando le caratteristiche individuali dell'atleta e le modalità attraverso cui il protocollo di RSA viene strutturato (Girard et al., 2011).

Il grado di affaticamento è inoltre fortemente dipendente dalle caratteristiche del compito. Il numero e la durata degli sprint, la durata e la modalità del recupero, nonché le caratteristiche del movimento e della superficie di esercizio possono modificare significativamente la risposta alla fatica (Girard et al., 2011). In particolare, la manipolazione dei tempi di recupero rappresenta una delle principali variabili attraverso cui modulare il livello di affaticamento e la difficoltà del protocollo di sprint ripetuti. Riducendo progressivamente il tempo disponibile per il recupero è infatti possibile aumentare lo stress imposto all'atleta e modificare il contributo relativo dei diversi sistemi energetici (Billaut & Basset, 2007). Nel complesso, la fatica durante la RSA deve essere considerata come un fenomeno multifattoriale, nel quale interagiscono componenti metaboliche, neuromuscolari e centrali. La capacità di sostenere sprint ripetuti dipende quindi dall'equilibrio tra la possibilità di produrre rapidamente energia durante gli sforzi,

la capacità di recuperare tra le ripetizioni e la possibilità di mantenere un'elevata produzione di forza e potenza nonostante l'affaticamento progressivo (Girard et al., 2011).

2.1.1 Manifestazioni della fatica in partita

Le manifestazioni della fatica osservate durante i test di sprint ripetuti assumono particolare rilevanza nel contesto del calcio, caratterizzato dall'alternanza continua tra periodi di attività a bassa intensità e azioni brevi ad alta intensità. Le analisi della prestazione in gara hanno evidenziato una riduzione dell'attività ad alta intensità nelle fasi finali della partita, con una diminuzione delle azioni di sprint e delle corse ad elevata velocità osservata sia nel calcio maschile sia in quello femminile (Mohr et al., 2003; Krstrup et al., 2005). Questo fenomeno suggerisce che l'accumulo della fatica durante la gara possa compromettere la capacità di ripetere azioni ad alta intensità, soprattutto nelle fasi in cui le riserve energetiche e le capacità neuromuscolari risultano progressivamente ridotte. Nonostante la natura intermittente e imprevedibile del gioco, le azioni ad alta intensità possono assumere un'importanza determinante, poiché spesso si verificano in situazioni caratterizzate da un'elevata rilevanza tattica: transizioni offensive e difensive, duelli individuali, recuperi difensivi e azioni finalizzate alla creazione o alla prevenzione di occasioni da rete. La riduzione della capacità di esprimere elevati livelli di intensità nelle fasi finali della gara può pertanto avere conseguenze rilevanti sulla possibilità di rispondere efficacemente alle richieste del gioco. L'andamento della prestazione tra primo e secondo tempo rappresenta un ulteriore elemento di interesse. Le analisi mostrano una riduzione dell'attività ad alta intensità nella seconda parte dell'incontro, associata a una maggiore necessità di recupero tra le azioni intense. Tale comportamento può essere interpretato sia come una manifestazione della fatica accumulata nel corso della partita, sia come una possibile strategia di regolazione dell'attività da parte della giocatrice. In questo contesto, la capacità di mantenere elevate intensità di movimento non dipende esclusivamente dalla possibilità di eseguire un singolo sprint, ma dall'abilità di ripetere tali azioni dopo periodi di recupero incompleto.

Un ulteriore elemento da considerare riguarda la frequenza con cui le vere sequenze di sprint ripetuti si verificano durante la gara. Le analisi condotte mediante sistemi di tracking hanno evidenziato che le sequenze di sprint ripetuti si presentano con una

frequenza relativamente limitata e che la loro identificazione dipende in maniera significativa dai criteri utilizzati per definirle (Buchheit et al., 2010). Questa osservazione ha contribuito a mettere in discussione l'interpretazione tradizionale della RSA come capacità esclusivamente legata alla ripetizione di sprint massimali, favorendo una maggiore attenzione verso le accelerazioni ripetute e le azioni ad alta intensità che caratterizzano realmente il gioco. La metodologia utilizzata per identificare le attività ad alta intensità rappresenta pertanto un elemento fondamentale nell'interpretazione della prestazione. Le analisi basate esclusivamente sull'osservazione video possono essere influenzate dai criteri adottati dall'osservatore e dalla definizione operativa di sprint o di sequenza di sprint. L'impiego di sistemi GPS e di altre tecnologie di *tracking* consente invece di quantificare in maniera oggettiva variabili quali distanza percorsa, velocità, accelerazioni e decelerazioni, fornendo informazioni utili per descrivere le richieste fisiche della gara. Tuttavia, anche l'utilizzo del GPS richiede criteri di classificazione adeguati, poiché la scelta delle soglie di velocità può modificare significativamente la quantità di attività classificata come ad alta intensità. In particolare, l'impiego di soglie individualizzate basate sulle caratteristiche prestative del singolo atleta può consentire una rappresentazione più accurata dell'attività ad alta intensità rispetto all'utilizzo esclusivo di soglie assolute. Considerare la velocità massima individuale permette infatti di rapportare il carico esterno alle effettive capacità dell'atleta, riducendo il rischio che la stessa soglia venga interpretata allo stesso modo per giocatrici caratterizzate da livelli di velocità differenti (Varley & Aughey, 2013). Questo approccio risulta particolarmente importante nel calcio femminile, caratterizzato da un'elevata variabilità interindividuale delle capacità fisiche e delle richieste legate al ruolo.

Le attività di sprint rappresentano comunque soltanto una parte limitata della distanza totale percorsa durante una gara. La prestazione calcistica è infatti caratterizzata da un'elevata variabilità delle intensità di movimento, nella quale brevi azioni massimali si alternano a periodi di corsa, camminata e recupero. Di conseguenza, la fatica associata alla RSA non deve essere interpretata come un fenomeno continuo e uniforme, ma come un processo che si manifesta in maniera intermittente in relazione all'alternanza tra azioni ad alta intensità e periodi di recupero. La capacità di sostenere sprint ripetuti assume quindi rilevanza non tanto per il volume assoluto di sprint eseguiti durante la partita, quanto per la possibilità di esprimere elevate intensità nei momenti in cui queste azioni

risultano maggiormente determinanti. Da un punto di vista applicativo, l'analisi delle manifestazioni della fatica durante la gara permette di comprendere meglio le reali richieste imposte alle calciatrici e di orientare la valutazione e la programmazione dell'allenamento. La RSA dovrebbe pertanto essere considerata non come una capacità isolata, ma come una componente della prestazione intermittente che interagisce con la capacità aerobica, la forza, la potenza, la velocità e la capacità di recuperare rapidamente tra azioni consecutive. Questa prospettiva consente di avvicinare maggiormente i protocolli di valutazione e allenamento alle caratteristiche reali della competizione.

2.2 Determinanti neuromuscolari

La prestazione negli sprint e la Repeated Sprint Ability devono essere considerate il risultato dell'interazione tra fattori metabolici, neuromuscolari e biomeccanici. Sebbene i meccanismi energetici rivestano un ruolo determinante nel sostenere gli sprint ripetuti, la capacità di produrre elevate quantità di forza in tempi molto brevi rappresenta uno dei principali fattori che influenzano la performance. Dal punto di vista biomeccanico, la prestazione nello sprint può essere distinta in una fase di accelerazione e in una fase caratterizzata dal raggiungimento della velocità massima. Durante l'accelerazione assume particolare rilevanza la capacità di applicare rapidamente elevate componenti di forza orizzontale, mentre alle velocità più elevate aumenta l'importanza della produzione e della gestione delle forze verticali, unitamente alla capacità del sistema neuromuscolare di esprimere forza in tempi molto brevi. Di conseguenza, la capacità di sviluppare elevati livelli di potenza rappresenta un requisito fondamentale per migliorare la velocità di sprint e contribuire al mantenimento della prestazione durante azioni ripetute (Cormie et al., 2011). Nel calcio moderno, e in particolare nel calcio femminile, la RSA rappresenta una qualità fisica di rilevante importanza, poiché numerose azioni di gioco sono caratterizzate da sforzi ad alta intensità intervallati da periodi di recupero incompleto. Nel corso della stagione agonistica possono verificarsi modificazioni della RSA, della capacità cardiorespiratoria e della prestazione neuromuscolare che non necessariamente si manifestano nella stessa direzione. Tale evidenza sottolinea come la prestazione calcistica dipenda dall'equilibrio tra differenti qualità fisiche e dalla loro integrazione all'interno della programmazione dell'allenamento (Gonçalves et al., 2021).

Tra i principali determinanti neuromuscolari della prestazione riveste un ruolo centrale la potenza degli arti inferiori, comunemente valutata attraverso test di salto verticale e orizzontale. Numerosi studi hanno evidenziato associazioni tra tali capacità e la prestazione nelle diverse fasi dello sprint. In particolare, la performance di sprint risulta associata ai parametri del profilo forza-potenza-velocità e alle prestazioni nei test di salto, evidenziando il contributo della capacità di produrre elevati livelli di forza e potenza degli arti inferiori. Le differenti espressioni della forza esplosiva possono contribuire in maniera specifica alle diverse fasi della corsa: la prestazione nei salti verticali risulta particolarmente associata alla capacità di esprimere elevata potenza e di mantenere una frequenza del passo efficace, mentre le capacità espresse attraverso movimenti orizzontali risultano maggiormente rilevanti nelle fasi iniziali dell'accelerazione (González-Fernández et al., 2022). Nel calcio femminile, la relazione tra caratteristiche neuromuscolari e prestazione assume particolare rilevanza, considerando che le azioni di gara richiedono la capacità di produrre rapidamente forza durante sprint, accelerazioni, decelerazioni e cambi di direzione. In questo contesto, la potenza degli arti inferiori rappresenta una componente importante della prestazione, mentre la capacità di mantenere elevati livelli di produzione di forza durante sforzi ripetuti contribuisce alla capacità di sostenere le azioni ad alta intensità nel corso della gara.

Negli ultimi anni, l'evoluzione del modello prestativo del calcio ha aumentato l'importanza delle attività ad alta intensità e delle azioni di sprint durante la partita. Di conseguenza, le calciatrici devono sviluppare adeguati livelli di forza, potenza e velocità per rispondere alle richieste del gioco moderno. Per questo motivo, l'identificazione dei principali determinanti neuromuscolari e biomeccanici della prestazione rappresenta un passaggio fondamentale per orientare la programmazione dell'allenamento e ottimizzare lo sviluppo della RSA.

2.3 Aspetti biomeccanici

Dal punto di vista biomeccanico, la prestazione nello sprint può essere interpretata come il risultato dell'interazione tra frequenza e lunghezza del passo, due variabili che contribuiscono in maniera determinante alla velocità di corsa. Tali caratteristiche sono a loro volta influenzate dalla capacità dell'atleta di applicare efficacemente la forza al terreno e di coordinare le diverse fasi del gesto. La relazione tra parametri dello sprint e capacità neuromuscolari risulta particolarmente evidente considerando la frequenza e la lunghezza del passo, le quali possono variare in funzione della capacità di produrre e applicare forza durante la corsa. Per comprendere più approfonditamente tali relazioni è necessario distinguere le due principali fasi della corsa: la fase di accelerazione e quella di velocità massima. La fase di accelerazione è caratterizzata da tempi di contatto al suolo relativamente più lunghi e da una maggiore inclinazione del corpo in avanti; in questa fase assume particolare importanza la capacità di applicare elevate componenti di forza in direzione orizzontale per aumentare progressivamente la velocità. Con il graduale incremento della velocità, invece, la componente verticale della forza assume un ruolo crescente, mentre la capacità di sfruttare efficacemente il ciclo allungamento-accorciamento e la stiffness muscolo-tendinea contribuisce a ridurre i tempi di contatto con il terreno e a mantenere un'elevata velocità di corsa.

Questa distinzione biomeccanica consente di interpretare le differenti relazioni osservate tra prestazione di sprint e test di salto. Nelle prime fasi della corsa assumono infatti particolare importanza le componenti orizzontali della forza, mentre con il progressivo aumento della velocità diventano maggiormente rilevanti le componenti verticali e la capacità di sfruttare efficacemente il ciclo allungamento-accorciamento. Le diverse espressioni della potenza degli arti inferiori possono pertanto contribuire in maniera specifica alle differenti fasi dello sprint, come evidenziato anche negli studi condotti su calciatrici (González-Fernández et al., 2022). Dal punto di vista muscolare, tali meccanismi sono il risultato dell'azione coordinata dei principali gruppi muscolari coinvolti nella produzione e nel controllo del movimento. La muscolatura dell'anca, comprendente adduttori e abduttori, riveste un ruolo importante nella stabilizzazione del bacino e nel controllo dell'arto inferiore durante la corsa. Gli adduttori partecipano alla produzione e al controllo dei movimenti dell'anca e possono contribuire alla prestazione

di sprint attraverso la loro funzione nella stabilizzazione e nella produzione di forza dell'arto inferiore. In uno studio condotto su sprinter di livello nazionale, inoltre, variazioni del volume muscolare degli adduttori sono risultate associate a modificazioni della prestazione di sprint, suggerendo un possibile ruolo della muscolatura dell'anca nella capacità di esprimere elevate prestazioni durante la corsa (Tottori et al., 2021).

Gli abduttori dell'anca svolgono inoltre un ruolo importante nel controllo e nella stabilizzazione del bacino durante la locomozione, contribuendo al controllo dell'adduzione dell'anca e dell'allineamento dell'arto inferiore. Una ridotta capacità della muscolatura abduttoria può infatti essere associata ad alterazioni del controllo dell'arto inferiore durante la corsa (Fredericson & Weir, 2006). Nel complesso, queste evidenze suggeriscono l'importanza della muscolatura dell'anca nel controllo del movimento e nella produzione di forza durante la corsa, fornendo un razionale per l'inserimento di esercitazioni specifiche rivolte a tale distretto nella preparazione neuromuscolare delle calciatrici.

CAPITOLO 3: DETERMINANTI DELLA PERFORMANCE

3.1. RSA nel calcio femminile

Il calcio femminile è uno sport intermittente caratterizzato dall'alternanza di azioni svolte a intensità differenti, che spaziano dalla camminata e dalla corsa a bassa intensità fino a sprint, accelerazioni e altre azioni ad elevato impegno neuromuscolare. Sebbene le attività a bassa intensità rappresentino la componente prevalente durante la gara, le azioni ad alta intensità assumono un'importanza determinante ai fini della prestazione, poiché sono frequentemente associate ai momenti decisivi del gioco, come le transizioni, le situazioni offensive e le occasioni da gol. Dal punto di vista quantitativo, le calciatrici percorrono mediamente tra 8,5 e 11 km nel corso di una partita, sebbene tale valore possa variare in funzione del livello competitivo, del ruolo e delle caratteristiche tattiche della squadra. Per rispondere efficacemente a tali richieste, è pertanto necessario possedere un adeguato livello di preparazione fisica, in grado di sostenere sia le componenti metaboliche sia quelle neuromuscolari della prestazione.

Le richieste fisiche variano inoltre in funzione del ruolo di gioco, evidenziando come il modello prestativo non sia uniforme tra le diverse posizioni in campo. Le attaccanti e le giocatrici impiegate sulle corsie esterne sono generalmente maggiormente coinvolte nelle azioni ad alta velocità, mentre le centrocampiste si distinguono per un elevato volume di attività intermittente, dovendo alternare frequentemente corsa, recupero e pressione sull'avversario. I difensori centrali presentano generalmente un numero inferiore di sprint rispetto ai ruoli maggiormente coinvolti nelle transizioni offensive, pur essendo sottoposti a richieste elevate in termini di accelerazioni, decelerazioni e cambi di direzione. Le differenze osservate tra i ruoli devono pertanto essere interpretate in relazione alle specifiche responsabilità tattiche e alle caratteristiche del modello di gioco.

Nel complesso, tali evidenze mostrano come la capacità di sostenere azioni ad alta intensità debba essere analizzata in relazione alle specifiche richieste del ruolo e alle caratteristiche della competizione. Di conseguenza, la Repeated Sprint Ability (RSA) non dovrebbe essere considerata una qualità uniforme per tutte le giocatrici, ma una capacità influenzata dall'interazione tra caratteristiche individuali, ruolo, richieste tattiche e livello di gioco.

3.1.1 Evoluzione del concetto di RSA nel calcio moderno

Negli ultimi anni, l'analisi della prestazione in gara ha assunto un ruolo sempre più centrale nelle scienze dello sport, poiché consente di comprendere con maggiore precisione le richieste fisiologiche, biomeccaniche e motorie del calcio e di tradurle in strategie di valutazione e programmi di allenamento maggiormente specifici. In questo contesto, la capacità di eseguire sprint ripetuti con tempi di recupero ridotti è stata tradizionalmente considerata una componente rilevante della prestazione negli sport di squadra. Studi più recenti hanno tuttavia evidenziato che le sequenze di sprint ripetuti propriamente definite come RSA si verificano durante la gara con una frequenza relativamente limitata rispetto a quanto inizialmente ipotizzato. Alla luce di queste evidenze, è stata proposta una reinterpretazione del concetto tradizionale di RSA attraverso l'introduzione del termine *Repeated Acceleration Ability*, maggiormente orientato a descrivere la capacità di eseguire accelerazioni ripetute durante la competizione. Tale prospettiva deriva dall'osservazione che numerose azioni ad alta intensità non raggiungono necessariamente velocità tipiche dello sprint, ma sono caratterizzate da rapide variazioni della velocità e da accelerazioni ripetute. Queste azioni rappresentano una componente fondamentale della prestazione calcistica e possono comportare un rilevante impegno neuromuscolare e metabolico.

Il concetto di *Repeated Acceleration Ability* non deve tuttavia essere considerato come una sostituzione definitiva della RSA, quanto piuttosto come una prospettiva complementare utile a descrivere con maggiore accuratezza le richieste del calcio. La RSA rimane infatti una capacità ampiamente utilizzata nella valutazione della *performance* e consente di analizzare la capacità dell'atleta di mantenere elevati livelli di velocità durante una sequenza standardizzata di sprint. Al contrario, l'analisi delle accelerazioni ripetute permette di avvicinarsi maggiormente alle caratteristiche dinamiche della gara. In quest'ottica, l'impiego di criteri di analisi individualizzati, definiti sulla base della velocità massima del singolo atleta, può consentire una stima più accurata delle attività ad alta intensità rispetto all'utilizzo esclusivo di soglie assolute. Tale approccio risulta particolarmente utile nel calcio femminile, caratterizzato da un'elevata variabilità interindividuale delle capacità fisiche e delle richieste associate ai diversi ruoli.

L'analisi delle richieste di gara permette pertanto di identificare con maggiore precisione i principali determinanti della prestazione e di sviluppare programmi di allenamento specifici, orientati al miglioramento della capacità di sprint, delle accelerazioni ripetute e della tolleranza agli sforzi intermittenti ad alta intensità. Tali informazioni rappresentano uno strumento di grande utilità per allenatori e preparatori atletici, consentendo di progettare interventi maggiormente coerenti con le situazioni di gioco più impegnative dal punto di vista fisico.

3.2 Determinanti allenabili della RSA

Lo sviluppo della *Repeated Sprint Ability* (RSA) richiede il miglioramento di diverse qualità fisiche che contribuiscono in maniera sinergica alla prestazione negli sprint ripetuti. Tra queste, la capacità di produzione della forza, la potenza muscolare e l'efficienza del ciclo stiramento-accorciamento rappresentano alcuni dei principali determinanti allenabili, in grado di influenzare sia la prestazione nel singolo sprint sia la capacità di mantenere elevati livelli prestativi nel corso di sforzi ripetuti. La capacità di produrre elevati livelli di forza in tempi ridotti rappresenta un elemento fondamentale per l'accelerazione e per il raggiungimento di elevate velocità di corsa. Nelle prime fasi dello sprint assume particolare rilevanza la capacità di applicare rapidamente forza in direzione orizzontale, mentre con l'aumento della velocità diventano progressivamente più importanti le componenti verticali della forza e la capacità di utilizzare efficacemente il ciclo stiramento-accorciamento. Per questo motivo, lo sviluppo della forza e della potenza costituisce una componente essenziale della preparazione atletica negli sport caratterizzati da azioni esplosive ripetute, come il calcio (Cormie et al., 2011).

L'allenamento della forza determina adattamenti neuromuscolari che possono comprendere un miglioramento del reclutamento delle unità motorie, della coordinazione intermuscolare e della capacità di produrre forza volontariamente. Tali adattamenti risultano particolarmente rilevanti nelle azioni di accelerazione, nelle quali l'atleta deve essere in grado di generare rapidamente elevati livelli di forza per modificare la propria velocità di movimento. Inoltre, un aumento della forza relativa, ovvero della forza prodotta in rapporto alla massa corporea, può rappresentare un vantaggio significativo negli sport intermittenti, nei quali frequenti accelerazioni, decelerazioni e cambi di

direzione richiedono un'elevata capacità di applicare forza in tempi brevi (Suchomel et al., 2016). Oltre alla forza pura, un ruolo determinante è svolto dalla potenza muscolare, intesa come capacità di esprimere elevati livelli di forza ad alta velocità. Questa qualità risulta fondamentale nelle azioni esplosive del calcio, caratterizzate da tempi di applicazione della forza molto ridotti, come sprint, salti e cambi di direzione. L'allenamento orientato allo sviluppo della potenza può favorire adattamenti neuromuscolari e meccanici in grado di migliorare la rapidità di produzione della forza e l'efficacia dei movimenti ad alta intensità (Cormie et al., 2011).

Un ulteriore determinante della prestazione è rappresentato dal ciclo stiramento-accorciamento (*Stretch-Shortening Cycle*, SSC), un meccanismo attraverso il quale il sistema muscolo-tendineo è in grado di accumulare energia elastica durante una rapida fase eccentrica e restituirla durante la successiva contrazione concentrica. Un utilizzo efficiente dello SSC contribuisce alla capacità di sviluppare rapidamente forza e di ridurre i tempi di contatto con il terreno, risultando particolarmente importante nelle azioni esplosive del calcio (Komi, 2003). Tra le metodologie maggiormente utilizzate per migliorare lo SSC e le capacità esplosive rientra l'allenamento pliometrico, basato su esercitazioni caratterizzate da una rapida successione tra fase eccentrica e concentrica. Questo tipo di stimolo può favorire adattamenti neuromuscolari e migliorare la capacità del sistema muscolo-tendineo di utilizzare efficacemente l'energia elastica, contribuendo alla produzione di forza in tempi brevi (Markovic & Mikulic, 2010). Le evidenze disponibili nelle calciatrici confermano l'efficacia dell'allenamento pliometrico su diverse componenti della prestazione. Una revisione sistematica con meta-analisi ha evidenziato effetti positivi di tale metodologia sulla capacità di salto, sullo sprint lineare e sulla velocità nei cambi di direzione, oltre che su altre componenti della *performance* fisica nelle calciatrici (Ramírez-Campillo et al., 2020).

Tuttavia, considerando la natura multifattoriale della RSA, l'utilizzo di un singolo metodo di allenamento potrebbe non essere sufficiente per sviluppare completamente questa capacità. La prestazione negli sprint ripetuti dipende infatti dall'interazione tra componenti neuromuscolari, metaboliche e aerobiche; per questo motivo, la letteratura suggerisce l'utilità di programmi combinati nei quali esercizi di forza, sprint, pliometria e lavoro aerobico siano integrati in funzione degli obiettivi e delle caratteristiche dell'atleta (Buchheit & Laursen, 2013). L'integrazione tra allenamento della forza e

lavori esplosivi può rappresentare una strategia efficace per migliorare la capacità di produrre forza rapidamente e trasferire tali adattamenti alle azioni specifiche dello sport. Nel calcio femminile, inoltre, tale integrazione assume particolare rilevanza considerando che le azioni determinanti della gara non sono rappresentate esclusivamente da sprint lineari massimali, ma frequentemente da accelerazioni, decelerazioni e cambi di direzione eseguiti in condizioni di affaticamento.

3.3 Principi metodologici per l'allenamento della RSA

La Repeated Sprint Ability rappresenta una capacità complessa, determinata dall'interazione tra componenti neuromuscolari, metaboliche e aerobiche. Per tale motivo, il miglioramento della RSA non dovrebbe essere attribuito esclusivamente all'utilizzo di una singola metodologia di allenamento, ma prevedere un approccio integrato in grado di agire sui diversi fattori che influenzano il mantenimento di elevati livelli prestativi durante sprint ripetuti (Girard et al., 2011; Bishop et al., 2011; Buchheit & Laursen, 2013). Un primo principio fondamentale nella programmazione dell'allenamento della RSA è rappresentato dalla specificità dello stimolo allenante. Gli adattamenti indotti dall'allenamento dipendono infatti dalle caratteristiche dell'esercizio proposto e dal grado di corrispondenza con le richieste della prestazione. Di conseguenza, per sviluppare la capacità di ripetere sprint ad alta intensità è necessario inserire, all'interno del piano di lavoro, esercitazioni che prevedano sprint ad elevata intensità intervallati da recuperi incompleti, in modo da riprodurre almeno in parte le caratteristiche fisiologiche degli sport intermittenti (Young, 2006; Bishop et al., 2011).

Il repeated sprint training costituisce quindi uno strumento specifico per lo sviluppo della RSA, poiché sottopone l'atleta a una successione di sprint intervallati da recuperi limitati. Secondo Bishop et al. (2011), la programmazione di questo tipo di allenamento deve tenere conto della complessità della RSA e della necessità di intervenire anche sulle qualità che ne condizionano la performance. Per questo motivo, l'allenamento specifico attraverso sprint ripetuti dovrebbe essere inserito all'interno di un quadro metodologico più ampio, piuttosto che rappresentare l'unico stimolo utilizzato. In questa prospettiva, il miglioramento della RSA richiede un approccio multifattoriale nel quale gli sprint ripetuti vengano integrati con esercitazioni finalizzate allo sviluppo della forza, della potenza e

dell'efficienza del ciclo stiramento-accorciamento. L'integrazione dell'allenamento della forza risulta particolarmente importante negli sport di squadra, nei quali le atlete devono ripetere frequentemente accelerazioni, decelerazioni e cambi di direzione. L'aumento della forza relativa e della capacità di svilupparla rapidamente può contribuire al miglioramento della prestazione nelle azioni esplosive (Cormie et al., 2011; Suchomel et al., 2016). Anche l'allenamento pliometrico può essere inserito all'interno di una programmazione orientata allo sviluppo delle qualità neuromuscolari coinvolte nella RSA. Le evidenze disponibili nelle calciatrici mostrano infatti miglioramenti nella prestazione di salto, nello sprint lineare e nel cambio di direzione in seguito a programmi pliometrici (Ramírez-Campillo et al., 2020).

Nel calcio femminile, tuttavia, gli effetti dell'allenamento devono essere interpretati con attenzione. Shalfawi et al. (2012), ad esempio, hanno confrontato un programma comprendente esercitazioni di agilità e sprint ripetuti con un intervento focalizzato sulla forza in calciatrici d'élite. Entrambi i protocolli hanno prodotto alcuni adattamenti nelle capacità fisiche analizzate, ma gli effetti sulla RSA sono risultati limitati, evidenziando come il miglioramento di questa qualità non sia necessariamente una conseguenza automatica dell'incremento di una singola capacità fisica. Un ulteriore elemento determinante è rappresentato dalla capacità aerobica, che assume un ruolo importante soprattutto durante le fasi di recupero tra sprint consecutivi. Un'elevata efficienza del metabolismo ossidativo contribuisce infatti alla risintesi della fosfocreatina e al recupero tra sforzi ad alta intensità, favorendo il mantenimento della prestazione nelle ripetizioni successive (Buchheit & Laursen, 2013). Per questo motivo, l'inserimento di esercitazioni intermittenti ad alta intensità può rappresentare uno strumento utile per sviluppare la capacità di recupero tra azioni esplosive, purché il loro utilizzo sia coerente con gli obiettivi della seduta e con il carico complessivo della programmazione.

La manipolazione delle variabili allenanti rappresenta inoltre un aspetto fondamentale nella programmazione della RSA. Parametri quali distanza dello sprint, numero delle ripetizioni, durata del recupero e intensità dello stimolo determinano infatti il tipo e l'entità dello stress imposto all'atleta. Recuperi più lunghi consentono generalmente di mantenere una maggiore qualità dello sprint e di privilegiare la componente neuromuscolare, mentre recuperi più brevi aumentano lo stress metabolico e le richieste a carico dei processi di recupero (Glaister, 2005; Billaut & Basset, 2009). La scelta del

rapporto lavoro-recupero deve pertanto essere effettuata in funzione dell'obiettivo specifico della seduta e del livello di preparazione delle atlete.

Nel calcio femminile, inoltre, la programmazione dovrebbe considerare le caratteristiche specifiche della competizione. Le azioni determinanti della gara non sono rappresentate esclusivamente da sprint lineari massimali, ma frequentemente da accelerazioni brevi, decelerazioni, cambi di direzione e movimenti esplosivi eseguiti in condizioni di affaticamento. Di conseguenza, una programmazione efficace dovrebbe combinare esercitazioni generali, finalizzate allo sviluppo delle qualità fisiche di base, con stimoli specifici capaci di riprodurre, per quanto possibile, le richieste della competizione.

3.4 Valutazione della RSA

La valutazione della Repeated Sprint Ability (RSA) avviene generalmente attraverso test specifici progettati per riprodurre alcune delle caratteristiche intermittenti tipiche degli sport di squadra, nei quali sprint ad elevata intensità vengono alternati a periodi di recupero incompleto. Questi protocolli consentono di analizzare non soltanto la capacità di esprimere un'elevata velocità durante una singola azione esplosiva, ma soprattutto quella di mantenere la prestazione nel corso di ripetizioni successive, fornendo informazioni sul decadimento prestativo associato alla fatica (Girard et al., 2011).

I protocolli RSA prevedono generalmente sprint massimali di breve durata, solitamente inferiori ai 10 secondi, intervallati da recuperi incompleti di durata inferiore ai 60 secondi. La struttura del test può tuttavia variare in funzione degli obiettivi della valutazione, del livello delle atlete e delle caratteristiche dello sport analizzato. La durata degli sprint, la distanza, il numero di ripetizioni e la durata del recupero influenzano infatti la risposta fisiologica dell'atleta e il contributo relativo dei diversi sistemi energetici (Glaister, 2005). Durante questi protocolli vengono generalmente analizzati diversi parametri prestativi. Il tempo del miglior sprint rappresenta un indicatore della capacità massima dell'atleta di esprimere velocità, mentre il tempo totale e il tempo medio delle ripetizioni forniscono informazioni sulla capacità di mantenere la prestazione nel corso della prova. Poiché la RSA è caratterizzata soprattutto dalla capacità di limitare il decadimento prestativo, risulta inoltre fondamentale considerare gli indici di affaticamento.

Tra i principali parametri utilizzati per quantificare il decadimento prestativo si annoverano il Fatigue Index (FI) e il Percentage Decrement Score (S_{dec}). Il FI si basa sul confronto tra la migliore e la peggiore prestazione ottenuta durante il test, fornendo una misura della perdita di performance tra le prove estreme. Lo S_{dec} confronta invece la prestazione complessiva effettivamente ottenuta con una prestazione teorica ideale nella quale tutte le ripetizioni vengono eseguite al livello del miglior sprint. Quest'ultimo approccio considera quindi l'intera sequenza di sprint e non soltanto i valori estremi, motivo per cui è considerato maggiormente rappresentativo del decremento prestativo complessivo (Glaister, 2005; Girard et al., 2011).

Nonostante i test RSA rappresentino lo strumento principale per la valutazione della capacità di ripetere sprint, la loro interpretazione richiede un'analisi integrata delle diverse componenti che influenzano la prestazione. La RSA, infatti, non dipende esclusivamente dalla capacità anaerobica, ma è influenzata anche dalla capacità aerobica, dalla produzione di forza e dall'efficienza neuromuscolare. Per questo motivo, la valutazione può essere completata attraverso test complementari in grado di analizzare i singoli determinanti della prestazione. Tra i principali strumenti utilizzati rientrano i test di salto verticale, come il Countermovement Jump (CMJ) e lo Squat Jump (SJ). Il CMJ consente di valutare la capacità esplosiva degli arti inferiori e il contributo del ciclo stiramento-accorciamento, mentre lo SJ permette di analizzare maggiormente la capacità di produrre forza in assenza di una fase eccentrica preparatoria (Markovic & Mikulic, 2010). Anche i test di salto orizzontale possono fornire informazioni complementari sulle capacità neuromuscolari associate allo sprint, in particolare per quanto riguarda la produzione di forza in direzione orizzontale.

La relazione tra queste capacità e la prestazione di sprint è stata studiata anche specificamente nel calcio femminile. González-Fernández et al. (2022) hanno analizzato in calciatrici di livello nazionale spagnolo il CMJ eseguito a diversi carichi, gli hop test, lo sprint lineare sui 30 metri e la RSA. Gli autori hanno evidenziato associazioni significative tra la prestazione di sprint e diverse misure di potenza degli arti inferiori, mentre la frequenza del passo è risultata associata in particolare alla prestazione nel salto verticale e alla velocità massima. Questi risultati supportano l'utilità dei test neuromuscolari come strumenti complementari alla valutazione diretta della RSA. Allo

stesso modo, i test di sprint lineare consentono di valutare la capacità di accelerazione e la velocità di corsa, fornendo informazioni complementari rispetto ai test RSA. La combinazione di queste valutazioni permette quindi di ottenere un profilo più completo delle qualità fisiche coinvolte nella prestazione negli sprint ripetuti, distinguendo la capacità di esprimere elevata prestazione in un singolo sprint dalla capacità di mantenere tale prestazione nel corso di ripetizioni successive.

Un ulteriore elemento rilevante nella valutazione della prestazione negli sport intermittenti è rappresentato dall'utilizzo delle tecnologie di monitoraggio, come i sistemi GPS e l'analisi video. Questi strumenti permettono di quantificare il numero e la distribuzione di sprint, accelerazioni e decelerazioni effettuati durante allenamenti e competizioni. Tuttavia, l'interpretazione dei dati deve tenere conto delle caratteristiche individuali delle atlete, poiché l'utilizzo di soglie standardizzate può determinare una sovrastima o una sottostima delle reali richieste fisiche della prestazione (Buchheit et al., 2010; Varley & Aughey, 2013). Nel complesso, la valutazione della RSA dovrebbe quindi essere considerata all'interno di un sistema integrato di analisi, nel quale il test RSA rappresenta la misura specifica della capacità di mantenere la prestazione durante sprint ripetuti, mentre i test di salto, sprint e altre valutazioni neuromuscolari consentono di approfondire i principali determinanti della performance. Tale approccio permette di individuare con maggiore precisione i punti di forza e le principali limitazioni dell'atleta e di orientare conseguentemente la programmazione dell'allenamento.

CAPITOLO 4: STUDIO SPERIMENTALE

4.1 Obiettivo dello studio e ipotesi di ricerca

La scelta di approfondire questo argomento nasce dalla rilevanza che la Repeated Sprint Ability ricopre nella prestazione calcistica e dalla necessità di individuare strategie di allenamento efficaci per il suo sviluppo, in particolare nel contesto del calcio femminile dilettantistico, in cui il tempo a disposizione per la preparazione fisica e le risorse disponibili risultano spesso inferiori rispetto all'ambito professionistico. Considerando che la RSA è influenzata dall'interazione di diverse capacità fisiche, tra cui la forza esplosiva, la velocità lineare, la capacità di cambio di direzione e altre qualità neuromuscolari, risulta fondamentale valutare l'efficacia di interventi di allenamento specifici finalizzati al loro miglioramento.

L'obiettivo del presente studio è stato pertanto quello di valutare gli effetti di un programma di allenamento neuromuscolare della durata di otto settimane sulla Repeated Sprint Ability in un gruppo di calciatrici dilettanti. In particolare, la ricerca ha analizzato le modificazioni indotte dal programma sulle componenti fisiche correlate alla RSA attraverso la valutazione della forza esplosiva degli arti inferiori, della velocità lineare, della capacità di cambio di direzione e della prestazione negli sprint ripetuti. L'ipotesi di ricerca prevedeva che il programma di allenamento proposto fosse in grado di migliorare significativamente la performance delle atlete, determinando un incremento delle componenti neuromuscolari e una conseguente riduzione dei tempi di esecuzione nel test RSA, con particolare riferimento al tempo totale, al tempo medio degli sprint e all'indice di fatica.

Per verificare tale ipotesi, è stato sviluppato un protocollo sperimentale comprendente una batteria di test per la valutazione delle capacità fisiche considerate e un programma di allenamento specifico basato su esercizi di forza esplosiva, pliometria, sprint lineari e cambi di direzione, le cui modalità di svolgimento e valutazione saranno descritte nella successiva sezione relativa a materiali e metodi.

4.2 Materiali e metodi

Lo studio ha coinvolto 17 calciatrici appartenenti alla Prima Squadra femminile della società Ovadese Women, partecipante al campionato di Promozione piemontese. Le partecipanti presentavano un'età media di $22,18 \pm 8,49$ anni. La maggior parte del campione ($n = 15$) aveva un'età compresa tra 17 e 21 anni, mentre due atlete avevano rispettivamente 44 e 45 anni. Tre calciatrici sono state escluse dall'indagine in quanto impossibilitate a completare l'intero protocollo sperimentale a causa di infortuni.

È stato condotto uno studio sperimentale con disegno pre-test e post-test a gruppo singolo, finalizzato a valutare gli effetti di un programma di allenamento neuromuscolare sulla Repeated Sprint Ability e sulle qualità fisiche ad essa correlate. Il protocollo ha avuto una durata complessiva di otto settimane, svoltesi nel periodo compreso tra l'inizio di marzo e la fine di aprile. Le valutazioni iniziali (pre-test) sono state effettuate al termine del mese di febbraio, mentre le valutazioni finali (post-test) sono state eseguite all'inizio del mese di maggio, al termine del periodo di allenamento ideato. Durante l'intervento, le atlete hanno svolto due sedute di allenamento specifico a settimana, integrate nella normale programmazione della squadra.

Per valutare gli effetti del programma è stata utilizzata una batteria di test finalizzata all'analisi delle principali capacità fisiche coinvolte nella Repeated Sprint Ability. Il primo test riguardava il Countermovement Jump utilizzato per valutare la forza esplosiva degli arti inferiori attraverso la misurazione dell'altezza del salto verticale. Il test è stato eseguito mantenendo le mani sui fianchi per limitare il contributo degli arti superiori e da posizione eretta, le atlete effettuavano un rapido contromovimento seguito da un salto verticale massimale. Ogni partecipante ha eseguito tre prove intervallate da adeguato recupero e, ai fini dell'analisi statistica, è stato considerato il miglior risultato e l'altezza del salto è stata rilevata mediante l'applicazione MyJump2. Il secondo test valutava la velocità lineare mediante uno sprint massimale sui 20 metri, registrando sia il tempo totale sia il tempo parziale sui primi 10 metri. Tale scelta ha consentito di analizzare la fase di accelerazione iniziale e la prestazione complessiva nello sprint lineare, senza richiedere l'esecuzione di una prova aggiunta. Ogni atleta ha effettuato tre prove, intervallate da un adeguato recupero per evitare l'influenza della fatica sulle

prestazioni successive, la rilevazione dei tempi è stata effettuata mediante cronometro manuale e, ai fini dell'analisi statistica, è stato considerato il miglior tempo registrato.

Il terzo test riguardava la capacità di cambio di direzione valutata mediante il 505 Agility Test, eseguito sia sul lato destro sia sul lato sinistro. Il protocollo prevedeva uno sprint sui 15 metri, il superamento dei 10 metri corrispondente all'inizio di registrazione del tempo, un'inversione di marcia 180° e il ritorno per 5 metri con fine della registrazione del tempo. Anche in questo caso ogni partecipante ha eseguito tre prove per ciascun lato, intervallate da adeguato recupero, la rilevazione dei tempi è stata effettuata mediante cronometro manuale ed è stato considerato il miglior tempo ottenuto. L'ultimo test si riferiva alla Repeated Sprint Ability mediante un protocollo costituito da sei sprint di 30 metri intervallati da 20 secondi di recupero. La rilevazione dei tempi è stata effettuata mediante cronometro manuale, le variabili considerate ai fini dell'analisi sono state il tempo totale di esecuzione, il tempo medio degli sprint e l'indice di fatica, quest'ultimo calcolato mediante la seguente formula:

$$\text{Fatigue Index (\%)} = [(Worst\ Time - Best\ Time) / Best\ Time] \times 100$$

Il programma di allenamento ha avuto una durata di otto settimane e prevedeva due sedute specifiche settimanali, integrate all'interno della normale programmazione della squadra. La prima seduta era orientata prevalentemente allo sviluppo della forza esplosiva degli arti inferiori e della velocità lineare e comprendeva tre serie da otto ripetizioni di Squat Jump, tre serie da otto di balzi laterali per arto inferiore e sei sprint massimali sui 20 metri. La seconda seduta era invece finalizzata allo sviluppo della prestazione nel cambio di direzione e della velocità. Essa prevedeva tre serie da sei ripetizioni del 5-10-5 Drill, seguite da sei sprint massimali sui 20 metri. La scelta di differenziare le due sedute è stata effettuata con l'obiettivo di stimolare le principali componenti neuromuscolari coinvolte nella Repeated Sprint Ability, quali forza esplosiva, accelerazione, velocità lineare e capacità di cambio di direzione.

L'analisi statistica è stata effettuata mediante Microsoft Excel. Per ciascuna variabile sono stati calcolati la media e la deviazione standard. Le differenze tra le valutazioni pre-test e post-test sono state analizzate mediante il t-test per campioni appaiati e il livello di significatività statistica è stato fissato a $p < 0,05$.

4.3 Risultati

4.3.1 Countermovement Jump

Variabile	Pre-test	Post-test	Δ	$\Delta\%$	p-value
CMJ (cm)	$22,47 \pm 3,33$	$24,39 \pm 3,90$	$1,92 \pm 1,38$	8,54	0,00003

Tabella 1: Risultati del Countermovement Jump

I risultati del Countermovement Jump (Tabella 1) ha mostrato un incremento della forza esplosiva degli arti inferiori al termine del programma di allenamento. L'altezza media del salto è aumentata da $22,47 \pm 3,33$ cm nel pre-test a $24,39 \pm 3,90$ cm nel post-test, con un incremento di $1,92 \pm 1,38$ cm, equivalente ad un miglioramento del gruppo dell'8,54% rispetto ai valori iniziali. Considerando le singole prestazioni, 14 delle 17 atlete hanno incrementato l'altezza di salto, mentre le restanti 3 hanno mantenuto invariato il risultato ottenuto nel pre-test. La variazione percentuale individuale è risultata pari all' $8,46 \pm 6,10\%$, confermando una risposta complessivamente positiva al protocollo di allenamento. Il confronto statistico tra le due rilevazioni ha confermato la presenza di una differenza statisticamente significativa ($p = 0,00003$).

4.3.2 Sprint 10 m e 20 m

Variabile	Pre-test	Post-test	Δ	$\Delta\%$	p-value
Sprint 10m (s)	$2,45 \pm 0,15$	$2,34 \pm 0,17$	$-0,11 \pm 0,08$	-4,65	0,000026

Tabella 2: Tempi dello sprint 10 m

Per quanto riguarda lo sprint lineare sui 10 metri (Tabella 2), è stata osservata una riduzione dei tempi di percorrenza, indicativa di un miglioramento della capacità di accelerazione. Il tempo medio di percorrenza è diminuito da $2,45 \pm 0,15$ s nel pre-test a $2,34 \pm 0,17$ s nel post-test, con una riduzione media di $0,11 \pm 0,08$ s pari al 4,49%

rispetto ai valori iniziali. Dal punto di vista delle prestazioni individuali, la variazione percentuale media è stata del $4,65 \pm 3,38\%$. Complessivamente, 13 partecipanti al test hanno migliorato la propria prestazione, 2 hanno registrato un lieve peggioramento nel tempo di percorrenza e altre 2 hanno prodotto variazioni minime. Il t-test per campioni appaiati, ha confermato la presenza di una differenza statisticamente significativa tra le due valutazioni ($p = 0,000026$).

Variabile	Pre-test	Post-test	Δ	$\Delta\%$	p-value
Sprint 20m (s)	$4,32 \pm 0,34$	$4,10 \pm 0,42$	$-0,22 \pm 0,31$	-5,09	0,012

Tabella 3: Tempi dello sprint 20 m

Anche la prova dello sprint lineare sui 20 metri (Tabella 3) ha determinato un miglioramento della velocità lineare. Il tempo medio è diminuito da $4,32 \pm 0,34$ s nel pre-test a $4,10 \pm 0,42$ s nel post-test, con una riduzione media di $0,22 \pm 0,31$ s, corrispondente al 5,09%. L'analisi della variazione percentuale individuale ha evidenziato una riduzione media del tempo di percorrenza del $4,93 \pm 7,29\%$. Nel dettaglio, 11 delle 17 atlete hanno migliorato la prestazione, altre 5 hanno registrato un lieve incremento del tempo di esecuzione e una sola atleta ha mantenuto invariato il risultato ottenuto nel pre-test. Anche in questo caso il confronto statistico ha evidenziato una differenza statisticamente significativa tra le due rilevazioni ($p = 0,012$).

4.3.3 505 Agility Test

Variabile	Pre-test	Post-test	Δ	$\Delta \%$	p-value
505 Agility Test DX (s)	$2,65 \pm 0,35$	$2,75 \pm 0,35$	$0,10 \pm 0,08$	3,77	0,0002

Tabella 4: Tempi del 505 Agility Test lato destro

Il 505 Agility Test ha fornito risultati differenti tra il lato destro e il lato sinistro.

Nel cambio di direzione sul lato destro (Tabella 4) è stato osservato un incremento del tempo medio di esecuzione, passato da $2,65 \pm 0,35$ s nel pre-test a $2,75 \pm 0,36$ nel post-test, corrispondente ad un incremento medio di $0,10 \pm 0,08$ s ed aumento del 3,77%.

L'analisi individuale ha mostrato un incremento medio del $3,80 \pm 3,10\%$, con 15 atlete che hanno peggiorato la prestazione e solo 2 hanno registrato una riduzione del tempo di esecuzione. L'analisi statistica ha evidenziato una differenza significativa tra pre e post intervento ($p = 0,0002$).

Variabile	Pre-test	Post-test	Δ	$\Delta \%$	p-value
505 Agility Test SX (s)	$2,72 \pm 0,36$	$2,77 \pm 0,34$	$0,05 \pm 0,13$	1,84	0,182

Tabella 5: Tempi del 505 Agility Test lato sinistro

Nel 505 Agility Test sul lato sinistro (Tabella 5) è stato riscontrato un incremento più contenuto del tempo medio, passato da $2,72 \pm 0,34$ s nel pre-test a $2,77 \pm 0,34$ nel post-test, con un incremento medio di $0,05 \pm 0,13$ s ed un aumento dell'1,84%. La variazione percentuale individuale è risultata pari a $1,87 \pm 4,76\%$. In particolare, 11 su 17 hanno registrato un aumento del tempo di esecuzione del cambio di direzione, mentre 6 hanno migliorato la prestazione. A differenza del lato destro, il confronto statistico non ha determinato differenze significative tra le due valutazioni ($p = 0,182$).

4.3.4 Repeated Sprint Ability Test

Variabile	Pre-test	Post-test	Δ	$\Delta \%$	p-value
Tempo totale (s)	$36,24 \pm 2,72$	$38,22 \pm 3,47$	$1,97 \pm 2,34$	5,45	0,003

Tabella 6: Tempo totale RSA

Il Repeated Sprint Ability Test rappresenta il principale indicatore preso in esame nel presente studio. I risultati sono stati analizzati considerando il tempo totale, il tempo medio e l'indice di fatica. Il tempo totale (Tabella 6) necessario per completare i sei sprint è aumentato da $36,24 \pm 2,72$ s nel pre-test a $38,22 \pm 3,47$ s nel post-test, con un incremento medio di $1,97 \pm 2,34$ s, pari al 5,43%. La variazione percentuale individuale è risultata del $5,48 \pm 6,25\%$; in particolare, 13 atlete hanno registrato un aumento del tempo totale, mentre 4 atlete hanno concluso la prova con un tempo inferiore rispetto al pre-test. Il confronto statistico ha mostrato una differenza statisticamente significativa tra le due valutazioni ($p = 0,003$).

Variabile	Pre-test	Post-test	Δ	$\Delta \%$	p-value
Tempo medio (s)	$6,04 \pm 0,45$	$6,37 \pm 0,58$	$0,33 \pm 0,39$	5,45	0,003

Tabella 7: Tempo medio RSA

Un andamento analogo è emerso per il tempo medio degli sprint (Tabella 7), aumentato da $6,04 \pm 0,45$ s nel pre-test a $6,37 \pm 0,58$ s nel post-test, con un incremento medio di $0,33 \pm 0,39$ s, corrispondente a un aumento del 5,46%. L'analisi della variazione percentuale individuale è risultata pari al $5,49 \pm 6,23\%$. Anche in questo caso, 13 delle 17 partecipanti hanno registrato un aumento del tempo medio, mentre 4 hanno ottenuto un miglioramento. L'analisi statistica ha confermato la significatività della differenza osservata ($p = 0,003$).

Variabile	Pre-test	Post-test	Δ	Δ %	p-value
Fatigue Index (%)	12,74 $\pm$ 4,98	10,35 $\pm$ 3,77	-2,39 $\pm$ 3,20	-18,75	0,0073

Tabella 8: Percentuali dell'indice di fatica

Diversamente da quanto emerso per il tempo totale e il tempo medio, l'indice di fatica (Tabella 8) ha mostrato una riduzione dei valori al termine del programma di allenamento. Il valore medio è diminuito da 12,74 $\pm$ 4,98% nel pre-test a 10,35 $\pm$ 3,77% nel post-test, con una riduzione media di 2,39 $\pm$ 3,20 punti percentuali, corrispondente a una diminuzione del 18,76%. La variazione percentuale individuale ha evidenziato una riduzione media dell'indice di fatica del 15,63 $\pm$ 20,64%. Complessivamente, 14 atlete hanno registrato una diminuzione dell'indice di fatica, mentre 3 atlete hanno registrato un incremento rispetto ai valori del pre-test. Il confronto statistico ha registrato una differenza statisticamente significativa tra le valutazioni dei due interventi ($p = 0,0073$).

4.4 Discussione

I risultati del presente studio hanno confermato solo parzialmente l'ipotesi di ricerca iniziale. Sebbene il programma di allenamento proposto abbia determinato miglioramenti significativi nella forza esplosiva degli arti inferiori e nella velocità lineare, non sono stati osservati adattamenti analoghi nella capacità di cambio di direzione né nella Repeated Sprint Ability (RSA). Nel complesso, tali evidenze suggeriscono che il protocollo sia stato efficace nello sviluppo delle capacità neuromuscolari di base, ma meno incisivo nel trasferimento (transfer) degli adattamenti verso prestazioni motorie caratterizzate da una maggiore complessità biomeccanica e metabolica. Il significativo incremento dell'altezza di salto nel Countermovement Jump (CMJ) evidenzia un chiaro miglioramento della forza esplosiva degli arti inferiori. Considerando la durata relativamente breve dell'intervento e l'utilizzo di esercizi esclusivamente a corpo libero, è ragionevole attribuire questo adattamento prevalentemente a modificazioni di natura neurale, quali un più efficace reclutamento delle unità motorie, una migliore coordinazione intermuscolare e una maggiore efficienza del ciclo stiramento-accorciamento (Stretch-Shortening Cycle, SSC).

Questi risultati sono in linea con quanto riportato da Markovic (2007), che ha evidenziato l'efficacia dell'allenamento pliometrico nel migliorare la prestazione nel salto verticale attraverso l'ottimizzazione della funzione neuromuscolare.

Analogamente, de Villarreal et al. (2009) hanno riscontrato effetti positivi della pliometria sia sulla prestazione di salto sia sulla velocità di sprint, supportando l'efficacia di questa metodologia nello sviluppo delle capacità esplosive. Difatti, nel presente studio il miglioramento della forza esplosiva è stato accompagnato da una significativa riduzione dei tempi nei test di sprint sui 20 metri, indicando un incremento della capacità di accelerazione e della velocità lineare. Tale risultato appare del tutto coerente con il protocollo adottato, che prevedeva esercitazioni pliometriche e sprint lineari in entrambe le sedute settimanali. Il rapporto stretto tra le capacità neuromuscolari degli arti inferiori e la prestazione di sprint è stato evidenziato anche da Wisløff et al. (2004), i quali hanno riscontrato una forte associazione tra forza degli arti inferiori e velocità nei calciatori.

Diversamente da quanto osservato nei test di salto e sprint rettilineo, il 505 Agility Test ha registrato un incremento dei tempi di percorrenza sia sul lato destro sia sul lato sinistro. Tuttavia, mentre per il lato destro tale peggioramento è risultato statisticamente significativo, sul lato sinistro non è stata raggiunta la significatività statistica. Questa discrepanza può essere attribuita alla maggiore variabilità individuale delle risposte registrata sul lato sinistro: alcune atlete hanno infatti migliorato la propria prestazione, mentre altre hanno subito un peggioramento più marcato, aumentando la variabilità intra-gruppo e riducendo il potere statistico del test. Tuttavia, non essendo stata valutata la dominanza dell'arto inferiore, non è possibile formulare ulteriori interpretazioni su questo specifico punto. Il peggioramento complessivo suggerisce inoltre che il volume di lavoro dedicato ai cambi di direzione non sia stato sufficiente a produrre adattamenti positivi. Il cambio di direzione rappresenta infatti una qualità motoria complessa che, oltre alla forza e alla velocità, richiede elevate capacità di decelerazione, controllo neuromuscolare eccentricità, equilibrio e tecnica coordinativa. In questo senso, i risultati ottenuti concordano con quanto riportato da Young, McDowell e Scarlett (2001), i quali hanno dimostrato che l'incremento della prestazione nello sprint lineare non determina necessariamente un trasferimento equivalente nei compiti di cambio di direzione, evidenziando la forte specificità degli adattamenti allenanti. Sheppard e Young (2006) hanno ulteriormente sottolineato la natura multifattoriale dell'agilità, richiamando l'interazione inscindibile tra forza, potenza, tecnica d'inversione di marcia e controllo motorio.

La medesima considerazione sulla specificità può essere estesa alla Repeated Sprint Ability. Contrariamente all'ipotesi iniziale, il protocollo non ha determinato un miglioramento della prestazione complessiva nel test RSA: sia il tempo totale sia il tempo medio sono infatti aumentati in maniera statisticamente significativa, indicando un decadimento della performance globale durante gli sprint ripetuti. Questo risultato appare particolarmente interessante se confrontato con i miglioramenti osservati nello sprint singolo. Sebbene le atlete abbiano incrementato la capacità di accelerazione sui 20 metri isolati, tale adattamento non si è trasferito quando la prestazione è stata ripetuta per sei volte con recuperi incompleti. Ciò conferma come la RSA rappresenti una qualità fisiologica distinta rispetto alla mera velocità di sprint. Come evidenziato da Girard, Mendez-Villanueva e Bishop (2011a), la RSA dipende dall'interazione

complessa tra fattori neuromuscolari, metabolici e aerobici; di conseguenza, un miglioramento della velocità lineare non è condizione sufficiente a garantire un incremento della capacità di ripetere sprint ad alta intensità. Una spiegazione risiede nelle caratteristiche del protocollo proposto: pur favorendo l'incremento della forza esplosiva e della velocità, esso non comprendeva esercitazioni specifiche di sprint ripetuti (repeated sprint training) né lavori metabolici ad alta intensità finalizzati ad accelerare i processi di recupero intra-sprint. Come sottolineato da Girard et al. (2011b), lo sviluppo della RSA richiede infatti stimoli altamente specifici, in grado di sollecitare contemporaneamente la componente neuromuscolare e quella metabolica.

A questo proposito, Billaut e Basset (2007) e Buchheit et al. (2009) hanno dimostrato che il mantenimento della prestazione durante sprint ripetuti dipende dall'efficienza della risintesi della fosfocreatina (PCr), dal contributo del metabolismo aerobico durante le pause di recupero e dalla capacità del sistema nervoso di sostenere il reclutamento di unità motorie nel tempo. È quindi plausibile che tali fattori fisiologici non siano stati sufficientemente stimolati dal protocollo utilizzato.

Un dato singolare riguarda tuttavia il Fatigue Index (FI), che ha registrato una riduzione statisticamente significativa rispetto al pre-test. Sebbene le atlete abbiano eseguito gli sprint con tempi assoluti mediamente più elevati, la perdita percentuale di prestazione tra il primo e l'ultimo sprint è risultata inferiore: la velocità assoluta è diminuita, ma la prestazione è stata mantenuta in maniera più costante lungo la prova. Sebbene tale risultato possa apparire controintuitivo, esso non è necessariamente contraddittorio. Come evidenziato da Glaister et al. (2008), il Fatigue Index misura il decadimento relativo della prestazione nel corso del test e fornisce un'informazione concettualmente distinta rispetto ai tempi assoluti. Alla luce di ciò, è plausibile ipotizzare che il protocollo abbia comunque stimolato parziali adattamenti nei meccanismi di tolleranza alla fatica o nella gestione dello sforzo, consentendo una maggiore stabilità della prestazione. Tale interpretazione si inserisce nel solco di quanto riportato da Mendez-Villanueva et al. (2007), i quali hanno evidenziato la complessa relazione esistente tra la prestazione nello sprint iniziale e il successivo tasso di decadimento prestazionale.

Nel complesso, lo studio evidenzia come un programma di allenamento neuromuscolare a corpo libero della durata di otto settimane sia efficace nel migliorare la forza esplosiva

e la velocità lineare, ma non sufficiente, se somministrato isolatamente, a incrementare la prestazione in compiti più complessi quali il cambio di direzione e la RSA. Viene così confermata l'importanza del principio della specificità dell'allenamento, suggerendo che lo sviluppo della RSA richieda l'integrazione sinergica di esercitazioni neuromuscolari, sprint ripetuti e stimoli metabolici ad alta intensità.

4.5 Limitazioni

Il presente studio presenta alcune limitazioni che devono essere considerate nell'interpretazione dei risultati ottenuti e che, allo stesso tempo, rappresentano possibili spunti per future ricerche. Una prima limitazione riguarda la numerosità del campione, costituito da 17 calciatrici appartenenti alla medesima squadra dilettantistica. Sebbene tale campione sia rappresentativo della realtà operativa in cui è stato condotto lo studio, la ridotta numerosità limita la possibilità di generalizzare i risultati a popolazioni più ampie o a contesti sportivi differenti. Un'altra limitazione è rappresentata dall'assenza di un gruppo di controllo, che avrebbe consentito di confrontare gli effetti del protocollo con quelli derivanti dalla normale attività di allenamento svolta durante la stagione agonistica, permettendo di attribuire con maggiore certezza le variazioni osservate all'intervento proposto. Dal punto di vista metodologico, i tempi di esecuzione dello sprint lineare, del 505 Agility Test e del RSA Test sono stati rilevati mediante cronometraggio manuale. Sebbene questa modalità sia frequentemente adottata nel contesto dilettantistico per la sua semplicità e accessibilità, essa risulta meno accurata rispetto all'utilizzo di fotocellule o sistemi elettronici di rilevazione, introducendo un potenziale margine di errore nella misurazione delle prestazioni.

Anche le risorse materiali disponibili hanno rappresentato un limite dello studio. Il protocollo è stato infatti sviluppato esclusivamente mediante esercitazioni a corpo libero, in assenza di attrezzature specifiche e di sovraccarichi che avrebbero consentito una progressione più marcata del carico di allenamento. Sebbene gli esercizi proposti abbiano determinato miglioramenti significativi nella forza esplosiva e nella velocità lineare, la possibilità di incrementare progressivamente l'intensità degli stimoli avrebbe potuto favorire adattamenti ancora più rilevanti, in particolare nelle capacità che richiedono elevati livelli di forza, come il cambio di direzione e la Repeated Sprint

Ability. Un ulteriore aspetto da considerare riguarda la specificità del protocollo di allenamento. Pur comprendendo esercizi pliometrici, sprint lineari e cambi di direzione, il programma non prevedeva esercitazioni specifiche di repeated sprint né lavori metabolici ad alta intensità finalizzati a migliorare la capacità di recupero tra sprint consecutivi. Tale caratteristica potrebbe aver contribuito ai risultati osservati nel RSA Test, suggerendo la necessità di integrare, in futuri protocolli, stimoli maggiormente specifici per questa abilità. Occorre inoltre considerare che lo studio è stato svolto durante la stagione agonistica, rendendo necessario integrare il protocollo sperimentale con gli allenamenti tecnico-tattici e con le competizioni ufficiali. Questa condizione potrebbe aver limitato sia il volume sia l'intensità degli stimoli allenanti e aver influenzato lo stato di affaticamento delle atlete durante il periodo di intervento e nelle valutazioni finali.

Infine, lo studio non ha previsto la misurazione di variabili fisiologiche e biomeccaniche, quali la frequenza cardiaca, il consumo di ossigeno, la concentrazione di lattato ematico, la forza massimale o la dominanza dell'arto inferiore. L'integrazione di tali parametri avrebbe consentito una comprensione più approfondita dei meccanismi responsabili degli adattamenti osservati e avrebbe permesso un'interpretazione ancora più completa dei risultati. Nonostante tali limitazioni, il presente studio fornisce indicazioni utili sull'efficacia di un programma di allenamento neuromuscolare a corpo libero nel calcio femminile dilettantistico, un ambito ancora relativamente poco approfondito in letteratura. I risultati ottenuti possono pertanto rappresentare una base per future ricerche, che dovrebbero coinvolgere campioni più numerosi, prevedere l'inclusione di un gruppo di controllo, utilizzare strumenti di misurazione più accurati e adottare protocolli di allenamento maggiormente specifici e progressivi, così da approfondire ulteriormente gli effetti dell'allenamento neuromuscolare sulle diverse componenti della prestazione nel calcio femminile.

RINGRAZIAMENTI

Al termine, di questo percorso, desidero dedicare qualche riga a tutte le persone che, in modi diversi, hanno contribuito a farmi arrivare fin qui.

Ringrazio innanzitutto il mio relatore, per la disponibilità, la competenza e la pazienza con cui mi ha guidato nella stesura di questa tesi. I suoi consigli e le sue correzioni sono stati fondamentali per portare a termine il lavoro.

Un grazie ai miei compagni di università, con cui ho condiviso lezioni, esami e momenti di confronto. Tutto questo ha reso più leggero il percorso e mi ha permesso di crescere, sia dal punto di vista accademico che umano.

Ringrazio i miei amici e le mie amiche, per esserci sempre stati, per aver ascoltato i miei sfoghi e per essere riusciti a strapparmi un sorriso in qualsiasi momento. La vostra amicizia è stata un punto fermo.

Ringrazio i compagni e le compagne del Campus universitario, che mi hanno accompagnato durante la laurea triennale. Quegli anni passati insieme avranno sempre un posto speciale dentro di me e nonostante ora ognuno di noi abbia preso strade diverse, per me è un regalo prezioso sapere che, anche a distanza, posso avere il vostro sostegno.

Un ringraziamento sincero va a tutte le ragazze della squadra Ovadese Women, che si sono rese disponibili ad aiutarmi nel mio lavoro di studio, ma anche a tutte le ragazze delle altre categorie oltre a tutto lo staff, che mi hanno permesso di conciliare una passione con il percorso universitario.

Infine, un grazie enorme ai miei genitori, che mi hanno sempre sostenuto con amore e fiducia, senza mai farmi mancare il loro appoggio nei momenti di difficoltà. Se oggi sono qui, il merito è soprattutto vostro: i sacrifici che avete fatto e l'esempio che mi avete dato sono il dono più grande che potessi ricevere.

A tutti voi, grazie di cuore.

Alberto

BIBLIOGRAFIA

- Bangsbo J., et al., 2006, "Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player", *Journal of Sports Sciences*, Vol. 24, pp. 665-674.
- Billaut F., Basset F. A., 2007, "Effect of different recovery patterns on repeated-sprint ability and neuromuscular responses", *Journal of Sports Sciences*, Vol. 25, pp. 905-913.
- Billaut F., Basset F. A., 2009, "Muscle fatigue in males and females during multiple-sprint exercise", *Sports Medicine*, Vol. 39, pp. 257-278.
- Bishop D., Girard O., Mendez-Villanueva A., 2011, "Repeated-sprint ability – Part II: Recommendations for training", *Sports Medicine*, Vol. 41, pp. 741-756.
- Buchheit M., et al., 2009, "Relationship between postexercise heart rate recovery and repeated-sprint ability in young soccer players", *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 24, pp. 372-377.
- Buchheit M., et al., 2010, "Repeated-sprint sequences during youth soccer matches", *International Journal of Sports Medicine*, Vol. 31, pp. 709-716.
- Buchheit M., Laursen P.B., 2013, "High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: Cardiopulmonary emphasis", *Sports Medicine*, Vol. 43, pp. 313-338.
- Cormie P., McGuigan M.R., Newton R.U., 2011, "Developing maximal neuromuscular power: Part 1 – Biological basis of maximal power production", *Sports Medicine*, Vol. 41, pp. 17-38.
- Cormie P., McGuigan M.R., Newton R.U., 2011, "Developing maximal neuromuscular power: Part 2 – Training considerations for improving maximal power production", *Sports Medicine*, Vol. 41, pp. 125-146.
- Datson N., et al., 2014, "Applied physiology of female soccer: An update", *Sports Medicine*, Vol. 44, pp. 1225-1240.
- FIFA. (2023). *Women's Football: Member Associations Survey Report 2023*. Fédération Internationale de Football Association.

- FIFA. (2024). *FIFA Women's Football Strategy 2024–2027*. Fédération Internationale de Football Association.
- Fredericson M., Weir A., 2006, "Practical management of iliotibial band friction syndrome in runners", *Clinical Journal of Sport Medicine*, Vol. 16, pp. 261-268.
- Gaitanos G.C., et al., 1993, "Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise", *Journal of Applied Physiology*, Vol. 75, pp. 712-719.
- Girard O., Mendez-Villanueva A., Bishop D., 2011, "Repeated-sprint ability – Part I: Factors contributing to fatigue", *Sports Medicine*, Vol. 41, pp. 673-694.
- Glaister M., 2005, "Multiple sprint work: Physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness", *Sports Medicine*, Vol. 35, pp. 757-777.
- Glaister M., et al., 2008, "The reliability and validity of fatigue measures during multiple-sprint work", *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 22, pp. 1597-1601.
- Gonçalves L., et al., 2021, "Exploring the determinants of Repeated-Sprint Ability in adult women soccer players", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 18, pp. 4595.
- González-Fernández F.T., et al., 2022, "Evolution of determinant factors of maximal sprinting and repeated sprint ability in women soccer players", *Scientific Reports*, Vol. 12, pp. 10633.
- Hewett T.E., et al., 2006, "Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 1, mechanisms and risk factors", *American Journal of Sports Medicine*, Vol. 34, pp. 299-311.
- Komi P.V., 2003, "Stretch-shortening cycle", in *Strength and Power in Sport*, 2nd ed., Blackwell Science, Oxford, pp. 184-202.
- Krusturup P., Mohr M., Ellingsgaard H., Bangsbo J., 2005, "Physical demands during an elite female soccer game: Importance of training status", *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Vol. 37, pp. 1242-1248.

- Markovic G., 2007, "Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review", *British Journal of Sports Medicine*, Vol. 41, pp. 349-355.
- Markovic G., Mikulic P., 2010, "Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training", *Sports Medicine*, Vol. 40, pp. 859-895.
- Mendez-Villanueva A., Hamer P., Bishop D., 2007, "Fatigue responses during repeated sprints matched for initial mechanical output", *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Vol. 40, pp. 2219-2225.
- Miller T.A., et al., 2007, "Seasonal changes in VO₂ max among Division 1A collegiate women soccer players", *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 21, pp. 48-51.
- Mohr M., Krstrup P., Bangsbo J., 2003, "Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue", *Journal of Sports Sciences*, Vol. 21, pp. 519-528.
- Ramírez-Campillo R., et al., 2020, "Effects of plyometric training on physical performance of female soccer players: A systematic review and meta-analysis", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 17.
- Rampinini E., et al., 2007, "Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players", *International Journal of Sports Medicine*, Vol. 28, pp. 228-235.
- Sheppard J.M., Young W.B., 2006, "Agility literature review: Classifications, training and testing", *Journal of Sports Sciences*, Vol. 24, pp. 919-932.
- Shalfawi S.A.I., et al., 2012, "The relationship between running speed and measures of vertical jump in professional basketball players: A field-test approach", *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 26, pp. 3088-3092.
- Suchomel T.J., et al., 2016, "The importance of muscular strength in athletic performance", *Sports Medicine*, Vol. 46, pp. 1419-1449.
- Tottori N., et al., 2021, "Hip abductor and adductor strength is associated with sprint performance in female soccer players", *Journal of Sports Sciences*, Vol. 39, pp. 435-442.

- Varley M.C., Aughey R.J., 2013, "Acceleration profiles in elite Australian soccer", *International Journal of Sports Medicine*, Vol. 34, pp. 34-39.
- Villarreal E.S.S., et al., 2009, "Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: A meta-analysis", *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 23, pp. 495-506.
- Wisløff U., Castagna C., et al., 2004, "Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players", *British Journal of Sports Medicine*, Vol. 38, pp. 285-288.
- Young W.B., 2006, "Transfer of strength and power training to sports performance", *International Journal of Sports Physiology and Performance*, Vol. 1, pp. 74-83.
- Young W.B., McDowell M.H., Scarlett B.J., 2001, "Specificity of sprint and agility training methods", *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 15, pp. 315-319.