

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA

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



Corso di Laurea Magistrale in
SCIENZE E TECNICHE DELLO SPORT

**STUDIO SPERIMENTALE SULL'IMPATTO DELLA FATICA SULLA
PRECISIONE DEI COLPI DA FONDO CAMPO NEL TENNIS**

Laureando:

DANIELE ROBELLO

Relatori:

Prof.ssa FEDERICA LIMARDO

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INDICE

1 SCOPO DELLA TESI.....	3
2 INTRODUZIONE	3
2.1 IL TENNIS.....	4
2.1.1 <i>Analisi del match: singolare o doppio</i>	<i>4</i>
2.1.2 <i>Il tennis agonistico</i>	<i>6</i>
2.2 PERFORMANCE E PRECISIONE.....	6
2.2.1 <i>Richieste metaboliche nel tennis</i>	<i>6</i>
2.2.2 <i>I colpi da fondo campo: diritto e rovescio</i>	<i>7</i>
2.3 IMPORTANZA NEL GIOCO COMPETITIVO	9
2.4 ASPETTI BIOMECCANICI DEI COLPI DA FONDO CAMPO.....	10
2.4.1 <i>Catena cinetica e trasferimento dell'energia</i>	<i>10</i>
2.4.2 <i>Produzione di forza e coordinazione intersegmentaria</i>	<i>11</i>
2.4.3 <i>Controllo del movimento e precisione del colpo</i>	<i>12</i>
2.4.4 <i>Differenze biomeccaniche tra diritto e rovescio</i>	<i>13</i>
2.4.5 <i>Implicazioni per la performance e la prevenzione degli infortuni</i>	<i>14</i>
2.5 LA PRECISIONE COME DETERMINANTE DELLA PERFORMANCE	15
2.6 INFLUENZA DELLA FATICA SULLA PRECISIONE DEI COLPI	16
2.6.1 <i>Definizione di fatica</i>	<i>16</i>
2.6.2 <i>Fatica centrale e fatica periferica</i>	<i>17</i>
2.6.3 <i>Fatica neuromuscolare</i>	<i>19</i>
2.6.4 <i>Effetti della fatica sul controllo motorio</i>	<i>21</i>
2.6.5 <i>Come il sonno e lo stress mentale influenzano la precisione del colpo</i>	<i>22</i>
2.6.6 <i>Caldo e freddo: come le temperature influenzano la precisione</i>	<i>24</i>
2.6.7 <i>Fatica e precisione nei ruoli da fondo campo</i>	<i>25</i>
3. MATERIALI E METODI.....	27
3.1 DISEGNO DELLO STUDIO	27
3.2 PARTECIPANTI	27
3.3 TEST DI PRECISIONE IN CONDIZIONE DI RIPOSO	28
3.4 PROTOCOLLO DI AFFATICAMENTO	30
3.5 TEST DI PRECISIONE IN CONDIZIONE DI AFFATICAMENTO.....	31

3.6 STRUMENTAZIONE E SCALE DI VALUTAZIONE	32
3.7 ANALISI STATISTICA.....	33
4.RISULTATI.....	34
4.1 RISULTATI DEL TEST DI PRECISIONE IN CONDIZIONI DI RIPOSO	35
4.2 RISULTATI DEL TEST DI PRECISIONE IN CONDIZIONI DI AFFATICAMENTO.....	36
4.3 CONFRONTO TRA CONDIZIONE DI RIPOSO E CONDIZIONE DI	37
AFFATICAMENTO	37
4.4 ANALISI DELLE VARIAZIONI PERCENTUALI DELLA PRESTAZIONE	39
5.DISCUSSIONE.....	40
6.CONCLUSIONE.....	49
7.BIBLIOGRAFIA.....	50
8. SITOGRAFIA	55

1 SCOPO DELLA TESI

L'obiettivo del presente studio è analizzare l'influenza della fatica sulla precisione esecutiva dei colpi da fondocampo nel tennis, con particolare riferimento al dritto e al rovescio.

Nello specifico, la ricerca si propone di valutare come uno stato di affaticamento indotto possa modificare la capacità del giocatore di mantenere precisione, controllo e qualità tecnica durante l'esecuzione dei colpi da fondocampo. A tal fine, verrà confrontata la prestazione degli atleti in una condizione iniziale di riposo (pre-sforzo) con quella rilevata successivamente a un protocollo di esercizio ad alta intensità (post-sforzo), così da evidenziare eventuali variazioni associate allo stato di fatica.

Per la valutazione della precisione, i partecipanti saranno sottoposti a un test specifico che prevede l'esecuzione di colpi indirizzati verso differenti aree bersaglio posizionate nel campo opposto. Verranno analizzate diverse tipologie di esecuzione del dritto e del rovescio, indirizzate verso diverse aree del campo, al fine di ottenere una valutazione più completa delle capacità di controllo del colpo in condizioni differenti.

Il protocollo sperimentale è stato progettato per riprodurre richieste fisiche e motorie simili a quelle presenti nel contesto agonistico, permettendo di osservare come la fatica possa incidere sulla precisione esecutiva e sulla gestione tecnica dello scambio.

I risultati dello studio potranno fornire indicazioni utili per comprendere il rapporto tra affaticamento e qualità della prestazione nel tennis, offrendo possibili applicazioni nell'ambito dell'allenamento tecnico, della preparazione atletica e della prevenzione del calo prestativo durante il match.

2 INTRODUZIONE

Il tennis moderno è caratterizzato da un'elevata intensità di gioco, da ritmi sempre più sostenuti e da una crescente richiesta fisica e neuromuscolare. Nel corso di un match, il giocatore è chiamato a eseguire ripetutamente movimenti rapidi, cambi di direzione, accelerazioni e colpi ad alta velocità,

mantenendo al tempo stesso elevati livelli di precisione e controllo tecnico anche in condizioni di affaticamento.

In questo contesto, la fatica rappresenta uno dei principali fattori in grado di influenzare la qualità della prestazione. Oltre alla riduzione della capacità fisica, lo stato di affaticamento può determinare alterazioni della coordinazione neuromuscolare, del controllo motorio e della stabilità del gesto tecnico, con possibili ripercussioni sulla precisione dei colpi e sull'efficacia complessiva del gioco.

I colpi da fondocampo, in particolare dritto e rovescio, costituiscono oggi la componente centrale del tennis agonistico. La maggior parte degli scambi si sviluppa infatti da fondo campo e richiede al giocatore la capacità di gestire velocità, rotazioni, profondità e direzione della palla in situazioni caratterizzate da elevata intensità e continua variabilità. Nei livelli professionistici e agonistici avanzati, dove le differenze prestative tra gli atleti risultano spesso minime, anche piccole variazioni nella precisione del colpo possono influenzare in modo significativo l'esito dello scambio e del match. La capacità di mantenere precisione, controllo e qualità tecnica sotto fatica assume quindi un ruolo determinante nella performance del tennista moderno. Comprendere come la fatica influenzi il gesto tecnico e la precisione dei colpi da fondocampo rappresenta pertanto un argomento di particolare interesse sia dal punto di vista scientifico sia applicativo, soprattutto nell'ambito della preparazione atletica e della programmazione dell'allenamento specifico nel tennis agonistico.

2.1 IL TENNIS

2.1.1 *Analisi del match: singolare o doppio*

L'analisi del match nel tennis costituisce uno strumento metodologico essenziale per comprendere le dinamiche tecnico-tattiche che distinguono il singolare dal doppio. Attraverso la *notational analysis* è possibile quantificare parametri oggettivi: la durata dello scambio, il numero medio di colpi per punto e la distribuzione percentuale delle situazioni di gioco, fornendo una lettura scientifica dell'organizzazione della prestazione (O'Donoghue & Ingram, 2001).

Uno degli elementi maggiormente discriminanti tra singolare e doppio è rappresentato dalla durata media degli scambi.

Nel singolare professionistico maschile, la maggior parte dei punti si conclude entro i primi 4 colpi (servizio, risposta e due colpi successivi), con percentuali comprese tra il 60% e il 70%, variabili in base alla superficie di gioco (O'Donoghue & Ingram, 2001; Klaassen & Magnus, 2001). Tuttavia, rispetto al doppio, il singolare presenta una maggiore incidenza di scambi medio-lunghi e lunghi, specialmente su superficie lente come terra battuta, dove la percentuale di scambi superiori agli 8-

10 colpi risultano significativamente più elevati (Filipic et al., 2010).

Nel doppio, al contrario, la struttura tattica del gioco favorisce punti di breve durata. Circa l'80% degli scambi si conclude entro i primi 3-4 colpi, mentre le sequenze superiori agli 8 colpi rappresentano una quota marginale, generalmente inferiore al 5% del totale (Crespo & Miley, 1998; O'Donoghue, 2002). Poiché nel doppio la rete è sempre coperta, il gioco tende a svilupparsi verso una conclusione rapida.

Nel tennis contemporaneo, in particolare nel singolare, il gioco da fondo campo rappresenta l'elemento centrale nella costruzione dello scambio. Studi basati sull'analisi statistica dei match professionistici evidenziano come oltre il 60% dei colpi venga effettuato da fondo campo, confermando una chiara evoluzione del modello di gioco rispetto ai decenni precedenti (Barnett & Pollard, 2007; Cross & Pollard, 2009).

Se negli anni '80 e '90 le discese a rete potevano superare il 40% delle situazioni offensive, nel tennis moderno si registra una significativa riduzione del gioco d'attacco tradizionale e una netta prevalenza di scambi impostati e gestiti da fondo, questa trasformazione riflette un cambiamento nelle strategie competitive, nelle caratteristiche fisiche degli atleti e nell'evoluzione dei materiali, che hanno progressivamente favorito la solidità nello scambio prolungato.

Nel doppio, invece, la distribuzione dei colpi ha caratteristiche differenti: la presenza sistematica di un giocatore a rete determina una maggiore percentuale di volée e smash, che possono rappresentare oltre il 30-35% dei colpi totali, configurando un modello di gioco maggiormente orientato alla finalizzazione rapida (Crespo & Miley, 1998).

Le differenze strutturali tra il singolare e il doppio si traducono in richieste prestative profondamente diverse. Nel singolare, la presenza di scambi più lunghi e continuativi impone all'atleta un'elevata resistenza specifica, oltre a una marcata capacità di gestione dello spazio in campo; in questo contesto, i colpi da fondocampo, in particolare quelli eseguiti in topspin, assumono un ruolo centrale, in quanto permettono di costruire il punto in maniera progressiva e controllata (Kovacs, 2007).

Al contrario, nel doppio, la dinamica di gioco è caratterizzata da una maggiore rapidità e da una durata più breve degli scambi. In questo caso, l'efficacia dei primi colpi — servizio, risposta e successiva transizione offensiva — risulta determinante per l'esito del punto. Ne deriva una maggiore enfasi sulla rapidità decisionale, sulla coordinazione tra i compagni e sulla capacità di occupare e gestire la zona di rete (O'Donoghue, 2002).

2.1.2 Il tennis agonistico

Il tennis agonistico rappresenta la forma competitiva di questo sport ed è caratterizzato da buoni livelli di tecnica, preparazione fisica e capacità di gestire la prestazione anche dal punto di vista mentale. A differenza dell'attività amatoriale, l'agonismo si svolge all'interno di competizioni ufficiali ed è regolato da sistemi di ranking e classificazione, che permettono di stabilire il livello dei giocatori e la loro progressione in base ai risultati ottenuti (Klaassen & Magnus, 2001).

Dal punto di vista fisiologico, il tennis agonistico è definito come uno sport intermittente ad alta intensità, nel quale si alternano brevi fasi di gioco a periodi di recupero parziale. La durata media dello scambio nei tornei professionistici varia generalmente tra i 4 e i 10 secondi, mentre il tempo di recupero regolamentare tra un punto e l'altro è di circa 20–25 secondi (O'Donoghue & Ingram, 2001; Kovacs, 2007). Questo modello di prestazione determina un impegno energetico misto, con predominanza del sistema anaerobico lattacido durante lo scambio e un contributo aerobico significativo nel recupero e nel mantenimento della performance nel corso del match (Fernandez-Fernandez et al., 2009; Kovacs, 2007).

Dal punto di vista prestativo, l'atleta agonista deve possedere elevate capacità neuromuscolari (rapidità, forza esplosiva, cambi di direzione), resistenza specifica intermittente e spiccate abilità coordinative e anticipatorie, fondamentali per rispondere efficacemente alla variabilità situazionale del gioco (Kovacs, 2007; Fernandez-Fernandez et al., 2009).

Un ulteriore elemento distintivo del tennis agonistico è rappresentato dalla componente psicologica. La gestione dello stress competitivo, la capacità di mantenere concentrazione nei momenti chiave e l'efficacia decisionale in condizioni di pressione costituiscono fattori determinanti per la performance, soprattutto nelle fasi conclusive del match (Weinberg & Gould, 2011).

In sintesi, il tennis agonistico può essere definito come una disciplina complessa, caratterizzata da un'elevata integrazione tra componenti fisiche, tecniche, tattiche e mentali, che richiede una programmazione dell'allenamento strutturata e specifica per ottimizzare la prestazione e ridurre il rischio di infortunio (Kovacs, 2007).

2.2 PERFORMANCE E PRECISIONE

2.2.1 Richieste metaboliche nel tennis

Come già specificato precedentemente il tennis è caratterizzato dall'alternanza di brevi periodi di sforzo intenso e brevi fasi di recupero (attivo e passivo) e la performance dipende dall'integrazione dei meccanismi metabolici aerobici e anaerobici, durante gli scambi prevale principalmente il sistema

anaerobico alattacido, mentre il metabolismo aerobico risulta fondamentale durante le fasi di recupero e per il mantenimento della prestazione nei match prolungati (Kovacs, 2007; Fernandez-Fernandez et al., 2009).

Il sistema anaerobico si suddivide in due componenti: alattacida e lattacida, il sistema anaerobico alattacido, definito anche “via della fosfocreatina”, utilizza la fosfocreatina (CP) per produrre rapidamente ATP muscolare a partire da ADP ($ADP + CP \rightarrow ATP + C$). Questo meccanismo consente un’erogazione energetica immediata e ad alta potenza, risultando particolarmente efficace negli sforzi esplosivi tipici del tennis. Tuttavia, presenta un limite fisiologico, poiché le riserve di fosfocreatina permettono di sostenere sforzi massimali solo per un periodo compreso tra circa 8 e 10 secondi (Kovacs, 2007). Considerando che la durata media di uno scambio nel tennis agonistico rientra generalmente in queste tempistiche, si può affermare che il sistema alattacido rappresenti il principale meccanismo energetico durante l’azione di gioco. Qualora lo scambio si prolunghi oltre tali limiti temporali, interviene il secondo meccanismo anaerobico, ossia il sistema lattacido. In questo caso l’ATP viene prodotto sempre in assenza di ossigeno attraverso la glicolisi anaerobica, utilizzando come substrato il glucosio e determinando la produzione di lattato come sottoprodotto metabolico.

In letteratura sono presenti numerosi studi che analizzano il contributo di questi meccanismi nel tennis, in uno studio condotto da Smekal et al. (2001) è stato osservato che la concentrazione ematica di lattato durante match professionistici risulta relativamente bassa, con valori medi intorno ai 2–4 mmol/L, questo dato suggerisce che il contributo del sistema lattacido sia presente, ma non predominante. Altri studi confermano infatti che, sebbene la glicolisi anaerobica possa intervenire in scambi particolarmente prolungati o in fasi di gioco ad alta intensità, il sistema energetico maggiormente coinvolto durante lo scambio rimane quello alattacido, mentre il metabolismo aerobico assume un ruolo determinante nel recupero tra i punti e nel sostenere la performance complessiva nel tempo (Fernandez-Fernandez et al., 2009; Kovacs, 2007).

2.2.2 I colpi da fondo campo: dritto e rovescio

I colpi da fondo campo costituiscono gli strumenti principali con cui un giocatore costruisce e controlla lo scambio, tra questi il dritto e il rovescio sono considerati le componenti tecniche fondamentali per affrontare le situazioni di scambio da dietro la linea di fondo e per creare opportunità offensive durante il match.

Il dritto

Il dritto rappresenta uno dei colpi più utilizzati nel tennis moderno e costituisce frequentemente l’arma principale attraverso cui il giocatore impone il proprio ritmo durante lo scambio, nelle

dinamiche di gioco ad alto livello, questo fondamentale assume un ruolo centrale non solo in termini di frequenza, ma anche per la sua efficacia offensiva. Diverse analisi di notational analysis evidenziano infatti come il dritto venga eseguito con maggiore frequenza rispetto al rovescio nelle situazioni di palleggio e sia associato a una più alta probabilità di vincere il punto, fenomeno noto come forehand prevalence nei contesti di élite (Johnson et al., 2006; Pellett & Lox, 1997; Ridhwan et al., 2010).

Dal punto di vista biomeccanico e prestativo, il dritto consente generalmente una produzione di forza superiore rispetto al rovescio. Ciò è dovuto principalmente a una catena cinetica più ampia ed efficace, che coinvolge in modo coordinato arti inferiori, tronco e arto dominante, permettendo una maggiore velocità della racchetta e, di conseguenza, della palla, questo rende il dritto un colpo particolarmente adatto alla costruzione offensiva del punto e alla ricerca della profondità e della pressione sull'avversario.

A supporto di ciò, dati di statistica applicata al tennis indicano che, nel circuito professionistico, oltre il 50% dei colpi da fondocampo è rappresentato da colpi di dritto, evidenziandone la predominanza tattica e strategica all'interno dello scambio (Schoenborn, 2002; Cabral, 2017).

Il rovescio

Il rovescio rappresenta un colpo fondamentale nella dinamica dello scambio, pur essendo generalmente eseguito con una frequenza inferiore rispetto al dritto nei livelli di gioco più elevati. Questa differenza è spesso riconducibile a scelte tattiche e preferenze tecniche dei giocatori, che tendono a indirizzare il gioco verso il lato del dritto per aumentare il controllo dell'azione e la probabilità di concludere efficacemente il punto (Johnson et al., 2006; Pellett & Lox, 1997; Ridhwan et al., 2010).

Nonostante ciò, il rovescio riveste un ruolo essenziale sia nelle fasi di costruzione dello scambio da fondo campo sia nelle situazioni di transizione, sia offensiva che difensiva, la sua efficacia è influenzata da diversi fattori, tra cui la tecnica di esecuzione (a una o a due mani), il livello di abilità del giocatore e lo stile di gioco adottato. In particolare, nei contesti competitivi di alto livello, il rovescio viene frequentemente utilizzato per garantire continuità allo scambio, gestire situazioni di pressione e creare opportunità tattiche attraverso variazioni di ritmo e direzione.

Dal punto di vista biomeccanico, il rovescio a due mani offre generalmente maggiore stabilità e controllo, risultando particolarmente efficace nelle situazioni difensive e nella risposta a colpi potenti, al contrario, il rovescio a una mano consente una maggiore ampiezza del gesto e una superiore capacità di variazione, rendendolo più adatto alle situazioni offensive e ai colpi in avanzamento (Elliott et al., 2009; Reid & Elliott, 2002).

Un aspetto di particolare interesse riguarda alcuni casi specifici nel tennis professionistico, in cui atlete di alto livello hanno adottato una tecnica non convenzionale, eseguendo sia il dritto sia il rovescio con impugnatura a due mani. Tra gli esempi più noti si possono citare Monica Seles e Marion Bartoli, le quali hanno costruito gran parte del proprio successo su questa impostazione tecnica.

L'utilizzo della tecnica bimanuale su entrambi i lati consente una maggiore stabilità del gesto e un controllo più preciso della traiettoria della palla, soprattutto negli scambi ad alta intensità e nelle fasi di risposta al servizio, inoltre tale approccio può favorire una maggiore simmetria nei movimenti e una riduzione delle asimmetrie tra lato dominante e non dominante, con possibili benefici in termini di coordinazione e controllo motorio (Groppel, 1986; Elliott et al., 2009). Rispetto alle tecniche tradizionali, questa modalità può comportare alcune limitazioni, in particolare nella gestione delle palle più lontane dal corpo e nella capacità di generare ampiezza del movimento, aspetti che risultano generalmente più sviluppati nei giocatori che adottano soluzioni tecniche convenzionali (Knudson, 2006).

Nonostante queste limitazioni, i risultati ottenuti dimostrano come anche soluzioni tecniche meno diffuse possano risultare altamente efficaci se integrate in un sistema di gioco coerente, confermando l'importanza dell'adattamento individuale nella prestazione tennistica (Elliott et al., 2009).

2.3 IMPORTANZA NEL GIOCO COMPETITIVO

Nel tennis contemporaneo, la crescente centralità dei colpi da fondocampo riflette un'evoluzione strategica che privilegia la continuità e il controllo dello scambio. Studi di analisi statistica evidenziano come i *groundstrokes*, ovvero i colpi da fondo quali dritto e rovescio, rappresentino la maggior parte delle azioni durante un match agonistico, con percentuali che possono raggiungere circa il 60–70% del totale dei colpi eseguiti da giocatori di alto livello (Weber et al., 2007).

Questo dato sottolinea come la capacità di gestire lo scambio attraverso variazioni di profondità, direzione e ritmo risulti determinante per l'efficacia della prestazione. In tale contesto, dritto e rovescio assumono un ruolo centrale nella costruzione tattica del punto e nella gestione delle diverse situazioni di gioco.

Dal punto di vista tattico, i colpi da fondocampo consentono al giocatore di:

- regolare il ritmo dello scambio, attraverso variazioni di profondità e direzione;
- costruire il punto, occupando in modo efficace lo spazio di gioco e creando opportunità offensive;

- gestire le transizioni, passando da una fase difensiva a una offensiva in base alle richieste della situazione di gioco.

Il dritto come già evidenziato, è il colpo più utilizzato con il quale il giocatore cerca di dominare l'avversario, mentre il rovescio costituisce un fondamentale complementare indispensabile per garantire continuità, equilibrio e varietà tattica nello scambio da fondocampo; pur differenziandosi per frequenza di utilizzo e caratteristiche tecniche, entrambi i colpi rappresentano elementi essenziali della prestazione agonistica e risultano determinanti per l'efficacia complessiva del gioco.

2.4 ASPETTI BIOMECCANICI DEI COLPI DA FONDO CAMPO

L'analisi biomeccanica dei colpi da fondo campo in particolare del dritto e del rovescio rappresenta un elemento chiave per comprendere i meccanismi che determinano la produzione di forza, la velocità della palla e l'efficacia complessiva del gesto tecnico.

Nel tennis attuale, caratterizzato da elevata intensità di gioco e rapidità di esecuzione, l'efficienza biomeccanica assume un ruolo determinante, un corretto utilizzo delle componenti corporee consente infatti di ottimizzare il trasferimento di energia lungo la catena cinetica, migliorando la qualità del colpo e riducendo il dispendio energetico, allo stesso tempo, una tecnica esecutiva efficace contribuisce a limitare le sollecitazioni a carico delle articolazioni, riducendo il rischio di infortuni (Elliott, Reid & Crespo, 2009; Kovacs, 2007).

Lo studio degli aspetti biomeccanici permette quindi di analizzare in che modo i diversi segmenti corporei collaborano durante l'esecuzione del colpo, evidenziando l'importanza della coordinazione, del timing e del controllo del movimento per il raggiungimento di una prestazione ottimale.

2.4.1 Catena cinetica e trasferimento dell'energia

Il principio alla base dell'esecuzione dei colpi da fondo campo è rappresentato dalla catena cinetica, intesa come una sequenza coordinata e progressiva di movimenti che coinvolge i diversi segmenti corporei, consentendo il trasferimento dell'energia dal suolo fino alla racchetta, generando colpi efficaci e, di conseguenza, l'utilizzo delle risorse biomeccaniche dell'atleta, viene ottimizzato. (Kibler, 1995)

L'azione prende origine dagli arti inferiori, che attraverso la spinta contro il terreno producono la forza iniziale, tale forza viene trasferita alle anche, che svolgono un ruolo fondamentale nella generazione della rotazione e, successivamente, al tronco, il quale contribuisce in maniera significativa all'accelerazione del gesto attraverso movimenti rotatori e di torsione, l'energia

prosegue quindi verso l'arto superiore, coinvolgendo spalla, braccio e avambraccio, fino a essere trasmessa alla racchetta, determinando la velocità e la direzione della palla (Elliott, 2006).

Un aspetto cruciale della catena cinetica è rappresentato dalla corretta sequenza temporale di attivazione dei segmenti corporei: ogni parte del corpo deve contribuire al movimento nel momento opportuno, secondo un principio di progressione che va dai segmenti più grandi e prossimali a quelli più piccoli e distali, questa organizzazione consente di massimizzare la somma delle velocità e di ottenere un'elevata efficienza del gesto tecnico. Al contrario, eventuali alterazioni nella sequenza o nella coordinazione dei movimenti possono compromettere il trasferimento dell'energia, determinando una riduzione della velocità della palla e un aumento del carico su specifiche strutture articolari, in particolare disfunzioni nella catena cinetica possono portare a un sovraccarico a livello di spalla e gomito, aumentando il rischio di infortuni (Kibler, 1995; Kovacs, 2007).

Pertanto, una corretta integrazione tra forza, coordinazione e timing dei movimenti rappresenta un elemento fondamentale per garantire l'efficacia e la sicurezza dell'esecuzione dei colpi da fondo campo.

2.4.2 Produzione di forza e coordinazione intersegmentaria

La produzione di forza nei colpi da fondocampo è il risultato di una complessa integrazione tra componenti neuromuscolari, meccaniche e coordinative, che consente al giocatore di generare un'elevata velocità della racchetta e, di conseguenza, della palla, l'efficacia di questi colpi dipende infatti non solo dalla forza espressa dai singoli distretti muscolari, ma soprattutto dalla capacità di coordinare in modo efficiente l'intero sistema corporeo durante l'esecuzione del gesto tecnico (Elliott, Reid & Crespo, 2009; Kovacs, 2007). La velocità della palla è strettamente correlata alla coordinazione tra la rotazione del bacino e del tronco e l'accelerazione dell'arto superiore, la rotazione del tronco rappresenta uno degli elementi chiave nella generazione di velocità, perché consente di trasferire energia in modo efficace verso il segmento distale, contribuendo in maniera decisiva alla qualità del colpo (Elliott, 2006).

Un ruolo centrale è svolto dalla coordinazione intersegmentaria, ovvero dalla capacità di sincronizzare correttamente le diverse fasi del movimento, il corretto timing tra la spinta degli arti inferiori, la rotazione del tronco e l'accelerazione dell'arto superiore permette di sfruttare il principio della sommazione delle velocità, attraverso il quale ogni segmento contribuisce progressivamente all'aumento della velocità del segmento successivo (Elliott, Reid & Crespo, 2009). Viceversa, eventuali alterazioni nella sequenza o nella tempistica dei movimenti possono compromettere il trasferimento dell'energia, determinando una riduzione della velocità della racchetta e dell'efficacia del colpo (Kibler, 1995; Kovacs, 2007).

Dal punto di vista neuromuscolare, il giocatore deve inoltre essere in grado di modulare la forza prodotta in funzione delle richieste della situazione di gioco, ciò richiede un elevato livello di controllo motorio, che consente di adattare intensità, direzione e timing del colpo in relazione alla palla in arrivo, alla posizione in campo e agli obiettivi tattici dello scambio (Elliott et al., 2009).

Un ulteriore elemento determinante è rappresentato dalla stabilità dinamica del corpo durante l'esecuzione del gesto, il mantenimento dell'equilibrio, soprattutto in condizioni di movimento laterale o in situazioni di recupero, permette di preservare l'efficienza della catena cinetica e di garantire un adeguato controllo del colpo, contribuendo sia alla precisione sia alla riduzione della variabilità esecutiva (Girard, Micallef & Millet, 2005).

2.4.3 Controllo del movimento e precisione del colpo

Oltre alla produzione di forza, un aspetto centrale nella biomeccanica dei colpi da fondocampo è rappresentato dal controllo del movimento, strettamente legato alla precisione del colpo, la capacità di indirizzare la palla verso specifiche zone del campo dipende infatti dall'interazione tra coordinazione motoria, timing dell'impatto e stabilità del corpo durante l'esecuzione del gesto tecnico (Elliott, Reid & Crespo, 2009).

Il tempismo dell'impatto costituisce uno degli elementi più critici: colpire la palla nel momento ottimale consente di controllarne direzione, profondità e velocità, studi recenti hanno evidenziato come anche nei giocatori di alto livello la variabilità del punto di impatto rappresenti un fattore decisivo per la precisione del colpo, nello specifico, la capacità di ridurre la dispersione del punto di caduta della palla risulta direttamente associata a un maggiore controllo esecutivo (Furuya et al., 2025).

La precisione del colpo è inoltre influenzata dalla stabilità posturale e dal controllo dell'equilibrio dinamico: durante l'esecuzione dei colpi da fondocampo, il giocatore è spesso costretto a colpire in condizioni non ottimali, come spostamenti laterali o situazioni di recupero, In questi contesti, la capacità di mantenere un adeguato controllo del corpo consente di limitare la variabilità del gesto e di migliorare l'accuratezza del colpo (Girard, Micallef & Millet, 2005).

Un ulteriore elemento rilevante è rappresentato dalla gestione delle rotazioni della palla, in particolare del topspin, l'applicazione di rotazione consente di aumentare il margine di sicurezza sopra la rete e di controllare meglio la profondità del colpo, rendendo possibile colpire con maggiore intensità senza compromettere la precisione. Questo aspetto risulta particolarmente importante nel tennis moderno, dove la combinazione tra velocità e controllo rappresenta un requisito fondamentale della prestazione (Brody, 2006).

Studi recenti sulle prestazioni evidenziano inoltre come l'accuratezza non dipenda esclusivamente da fattori tecnici, ma anche dalla capacità del sistema neuromuscolare di adattarsi a condizioni variabili, come la dimensione del target o la posizione in campo. Anche atleti esperti mostrano infatti una certa difficoltà nel controllare con precisione la direzione dei colpi verso differenti aree del campo, evidenziando la complessità del controllo motorio richiesto (Furuya et al., 2025).

In questo senso, il controllo del movimento non può essere considerato separatamente dalla produzione di forza, ma rappresenta un elemento complementare che consente al giocatore di modulare il gesto tecnico in funzione delle esigenze tattiche dello scambio, garantendo un equilibrio tra precisione, velocità ed efficacia del colpo.

2.4.4 Differenze biomeccaniche tra dritto e rovescio

Dal punto di vista biomeccanico, dritto e rovescio presentano caratteristiche differenti che influenzano in modo significativo la loro funzione all'interno del gioco e la loro efficacia in termini di velocità, controllo e stabilità del gesto tecnico.

Il dritto è generalmente considerato il colpo più potente, in quanto consente una maggiore produzione di velocità della racchetta grazie a una più ampia escursione del movimento e a una maggiore libertà articolare, dal punto di vista cinetico, il dritto permette un utilizzo più efficace, con una sequenza fluida che coinvolge arti inferiori, bacino e tronco, fino all'arto superiore, questa organizzazione favorisce una trasmissione ottimale dell'energia e una maggiore capacità di generare velocità e rotazione della palla, rendendo il dritto particolarmente adatto alla costruzione offensiva e alla finalizzazione del punto (Elliott, Reid & Crespo, 2009; Kovacs, 2007).

Il rovescio, al contrario, presenta una struttura biomeccanica generalmente più vincolata, soprattutto nella variante a una mano, nella quale la minore libertà articolare può limitare l'ampiezza del movimento e la produzione di velocità, tuttavia, il rovescio si distingue per una maggiore stabilità esecutiva nella versione a due mani, che consente un miglior controllo della traiettoria della palla e una maggiore precisione del colpo, questa configurazione permette anche una distribuzione più equilibrata delle forze tra i segmenti corporei, risultando particolarmente efficace nelle situazioni difensive e nella risposta al servizio (Reid & Elliott, 2002; Elliott et al., 2009).

Alcune analisi biomeccaniche più recenti hanno inoltre evidenziato come nel dritto si registrino valori più elevati di velocità della racchetta e una maggiore partecipazione della rotazione del tronco, mentre nel rovescio emerge una maggiore stabilità del sistema corporeo e un controllo più costante del gesto tecnico, soprattutto in condizioni di gioco ad alta intensità, queste differenze confermano il ruolo complementare dei due colpi all'interno dello scambio. Il rovescio può assumere anche una funzione offensiva nei giocatori di alto livello, grazie all'evoluzione tecnica e all'aumento della velocità di

esecuzione, nonostante ciò, nella maggior parte dei casi, il dritto rimane il colpo principale per la costruzione e la conclusione del punto, mentre il rovescio è maggiormente utilizzato per garantire continuità, controllo e gestione delle situazioni di pressione.

Il dritto e il rovescio rappresentano due gesti tecnici con caratteristiche biomeccaniche complementari, il cui utilizzo varia in funzione delle richieste tattiche e delle capacità individuali del giocatore.

2.4.5 Implicazioni per la performance e la prevenzione degli infortuni

Una corretta esecuzione biomeccanica dei colpi da fondocampo riveste un ruolo determinante sia per l'ottimizzazione della performance, sia per la prevenzione degli infortuni. L'efficienza del gesto tecnico, infatti, consente di massimizzare la velocità della palla e la precisione del colpo, riducendo al contempo il dispendio energetico e migliorando la continuità della prestazione durante lo scambio (Elliott, Reid & Crespo, 2009; Kovacs, 2007).

L'utilizzo efficace della catena cinetica permette di distribuire le forze generate lungo l'intero sistema corporeo, evitando sovraccarichi localizzati su specifiche articolazioni, in particolar modo, la corretta sequenza di attivazione tra arti inferiori, tronco e arto superiore consente di ridurre le sollecitazioni a carico di strutture sensibili come spalla e gomito, frequentemente coinvolte negli infortuni del tennista (Kibler, 1995; Kovacs, 2007).

Al contrario, un'alterazione della meccanica del movimento, dovuta a carenze tecniche, affaticamento o ridotta coordinazione, può compromettere l'efficienza della catena cinetica, determinando una minore capacità di trasferire energia e un aumento dello stress articolare, in queste condizioni si osserva spesso un incremento del rischio di infortuni da sovraccarico, come tendinopatie della spalla, epicondiliti e problematiche a carico della colonna vertebrale (Reid & Elliott, 2002; Elliott et al., 2009).

Studi più recenti hanno inoltre evidenziato come la fatica neuromuscolare possa influenzare negativamente il controllo del movimento e la coordinazione intersegmentaria, determinando una maggiore variabilità del gesto tecnico e una riduzione della precisione del colpo, questo aspetto risulta particolarmente rilevante nel tennis contemporaneo, dove l'elevata intensità degli scambi richiede la capacità di mantenere elevati standard tecnici anche in condizioni di affaticamento (Girard, Micallef & Millet, 2005; Hornery et al., 2007).

Inoltre, la riduzione della stabilità dinamica e del controllo posturale sotto fatica può portare a compensazioni biomeccaniche, aumentando ulteriormente il carico su specifiche articolazioni e incrementando il rischio di infortuni. La capacità di mantenere una tecnica efficace anche in

condizioni di stress fisico rappresenta quindi un elemento chiave sia per la performance sia per la tutela dell'integrità fisica dell'atleta.

Alla luce di queste considerazioni, emerge come l'allenamento nel tennis debba integrare non solo aspetti tecnici e tattici, ma anche componenti legate alla preparazione fisica e al controllo neuromuscolare, con l'obiettivo di migliorare l'efficienza del gesto e ridurre il rischio di infortuni. In questo contesto, lo studio dell'influenza della fatica sulla precisione dei colpi assume particolare rilevanza, in quanto consente di comprendere come le variazioni dello stato fisico possano incidere direttamente sulla qualità della prestazione.

2.5 LA PRECISIONE COME DETERMINANTE DELLA PERFORMANCE

La precisione rappresenta uno degli elementi fondamentali della performance nel tennis, in quanto influenza direttamente l'efficacia dei colpi e la capacità del giocatore di gestire lo scambio in funzione degli obiettivi tattici, a differenza di altri sport in cui la prestazione è legata prevalentemente alla produzione di forza o velocità, nel tennis la capacità di indirizzare la palla con accuratezza verso specifiche zone del campo assume un ruolo determinante per il successo dell'azione di gioco.

Nel tennis moderno, caratterizzato da ritmi elevati e da una crescente intensità degli scambi, la precisione consente al giocatore di mantenere il controllo del punto, limitare gli errori non forzati e creare situazioni favorevoli per la finalizzazione. Studi di analisi della performance evidenziano come la percentuale di errori non forzati rappresenti uno dei principali indicatori di rendimento, sottolineando l'importanza del controllo esecutivo nella determinazione dell'esito del punto (Klaassen & Magnus, 2001; O'Donoghue & Ingram, 2001).

Nei livelli professionistici, la precisione assume un'importanza ancora maggiore, poiché le differenze tra gli atleti risultano estremamente ridotte e l'esito del punto è spesso determinato da margini minimi. In questo contesto, anche variazioni spaziali contenute possono influenzare in modo significativo l'efficacia del colpo, rendendo la capacità di controllare con precisione direzione e profondità un fattore decisivo della prestazione. Studi recenti sottolineano come i giocatori di alto livello presentino una minore variabilità nella distribuzione dei colpi e una maggiore capacità di indirizzare la palla verso zone specifiche del campo rispetto ai giocatori meno esperti, confermando il ruolo centrale della precisione nella performance tennistica (Vacek et al., 2023; Shangguan et al., 2018).

Dal punto di vista tecnico, la capacità di colpire la palla nel momento ottimale e con una corretta posizione del corpo consente di controllarne direzione, profondità e traiettoria, riducendo la variabilità del gesto e migliorando l'accuratezza complessiva (Elliott, Reid & Crespo, 2009).

Un ulteriore aspetto rilevante è rappresentato dalla gestione delle rotazioni della palla, in particolare del topspin, che consente di aumentare il margine di sicurezza sopra la rete e di controllare la profondità del colpo, questo permette al giocatore di esprimere elevati livelli di velocità senza compromettere la precisione, favorendo una maggiore efficacia nelle situazioni di gioco ad alta intensità (Brody, 2006).

La precisione assume inoltre un ruolo centrale nella dimensione tattica del gioco. La capacità di variare direzione, profondità e angolazione dei colpi consente al giocatore di spostare l'avversario, creare spazi e costruire il punto in modo strategico. In questo senso, la precisione non è solo un parametro tecnico, ma rappresenta uno strumento fondamentale per l'applicazione delle scelte tattiche durante il match. Dal punto di vista prestativo, la precisione può essere influenzata da diversi fattori, tra cui la fatica fisica e mentale. Studi presenti in letteratura mostrano come l'affaticamento possa determinare una riduzione del controllo motorio, un aumento della variabilità del gesto tecnico e una conseguente diminuzione dell'accuratezza dei colpi (Hornery et al., 2007; Davey et al., 2002). Condizioni di affaticamento neuromuscolare possono compromettere il timing dell'impatto e la stabilità posturale, elementi fondamentali per l'esecuzione precisa del gesto tecnico.

Alla luce di queste considerazioni, emerge come la precisione rappresenti un indicatore chiave della performance nel tennis, strettamente legato sia agli aspetti tecnici e biomeccanici sia alle condizioni fisiologiche dell'atleta. Comprendere i fattori che influenzano la precisione, in particolare il ruolo della fatica, risulta quindi essenziale per l'ottimizzazione della prestazione e per la strutturazione di programmi di allenamento specifici.

2.6 INFLUENZA DELLA FATICA SULLA PRECISIONE DEI COLPI

2.6.1 Definizione di fatica

La fatica può essere descritta come una condizione in cui si osserva una progressiva diminuzione della capacità dell'organismo di sostenere una determinata prestazione nel tempo. In ambito sportivo, essa si manifesta principalmente come una riduzione della capacità del sistema neuromuscolare di produrre forza o di mantenere un determinato livello di rendimento durante attività prolungate o ad alta intensità (Enoka & Duchateau, 2016).

Dal punto di vista fisiologico, la fatica è associata a un'alterazione dell'equilibrio interno dell'organismo, dovuta alle richieste energetiche elevate imposte dall'esercizio fisico. Durante l'attività, infatti, si verificano cambiamenti a livello metabolico e cellulare, come l'accumulo di

sottoprodotti del metabolismo energetico, la riduzione delle riserve disponibili e modificazioni dell'ambiente ionico, che contribuiscono a ridurre progressivamente l'efficienza della contrazione muscolare (Allen, Lamb & Westerblad, 2008).

È importante sottolineare come la fatica non possa essere interpretata esclusivamente come un fenomeno locale a livello muscolare. Al contrario, essa deriva dall'interazione tra più sistemi dell'organismo. In particolare, entrano in gioco sia componenti centrali, legate al sistema nervoso e ai processi di attivazione volontaria del movimento, sia componenti periferiche, relative ai meccanismi che regolano la contrazione del muscolo e la trasmissione del segnale neuromuscolare (Enoka & Duchateau, 2016).

Dal punto di vista funzionale, la fatica comporta una riduzione dell'efficacia del gesto motorio. Questo si traduce in una minore capacità di eseguire movimenti precisi, rapidi e coordinati. Nei compiti motori complessi, tale condizione può determinare un aumento della variabilità esecutiva e una minore stabilità del controllo motorio, influenzando negativamente la qualità della prestazione (Davids et al., 2003).

Nel tennis, sport caratterizzato da azioni intermittenti e da elevate richieste tecniche, la fatica assume un ruolo particolarmente rilevante. Durante un match, il giocatore deve ripetere numerosi sforzi esplosivi mantenendo al contempo elevati livelli di precisione e controllo. In questo contesto, l'insorgenza della fatica può incidere non solo sulla capacità di generare forza, ma anche sulla qualità esecutiva dei colpi, influenzando aspetti fondamentali come la direzione, la profondità e la stabilità del gesto tecnico (Girard, Micallef & Millet, 2005).

Inoltre, la letteratura evidenzia come la fatica sia influenzata anche da fattori cognitivi e percettivi, come la percezione dello sforzo e i processi decisionali. Ciò suggerisce che essa non sia esclusivamente un fenomeno fisiologico, ma il risultato di un'interazione complessa tra componenti fisiche, neurali e psicologiche (Marcora, 2008).

Alla luce di queste considerazioni, la fatica può essere definita come una condizione multidimensionale che coinvolge l'intero organismo e che incide in modo significativo sia sugli aspetti fisici sia su quelli tecnici e cognitivi della prestazione sportiva. Comprenderne i meccanismi risulta quindi fondamentale per analizzare il suo impatto sulla precisione dei colpi nel tennis, obiettivo centrale del presente lavoro.

2.6.2 Fatica centrale e fatica periferica

Per comprendere l'influenza della fatica sulla precisione dei colpi nel tennis è necessario distinguere tra **fatica centrale** e **fatica periferica**. Questa distinzione consente di individuare i diversi livelli a cui può manifestarsi il calo della prestazione: da un lato il sistema nervoso, responsabile della

programmazione e del controllo del movimento; dall'altro il sistema muscolare, direttamente coinvolto nella produzione di forza e nell'esecuzione del gesto tecnico.

La **fatica centrale** riguarda principalmente il sistema nervoso centrale e si riferisce alla ridotta capacità di attivare in modo efficace la muscolatura durante l'esercizio. In questa condizione, il limite non dipende esclusivamente dal muscolo, ma dalla minore efficacia del comando motorio che parte dal cervello e dal midollo spinale e raggiunge i distretti muscolari coinvolti nel movimento (Gandevia, 2001; Enoka & Duchateau, 2016).

Dal punto di vista funzionale, la fatica centrale può determinare una riduzione dell'attivazione volontaria, una minore efficienza nella coordinazione motoria e un peggioramento della capacità di mantenere elevati livelli di attenzione. Questo aspetto è particolarmente importante negli sport tecnici, come il tennis, dove la prestazione non dipende solo dalla forza o dalla rapidità, ma anche dalla capacità di prendere decisioni in tempi brevi, anticipare la traiettoria della palla e adattare il gesto tecnico alla situazione di gioco.

Nel tennis, la fatica centrale può manifestarsi attraverso un calo della concentrazione, un rallentamento dei processi decisionali e una minore precisione nell'organizzazione del movimento. Durante scambi intensi o nelle fasi finali di un allenamento, il giocatore può avere maggiore difficoltà a scegliere il colpo più adeguato, posizionarsi correttamente rispetto alla palla e mantenere un timing efficace. Di conseguenza, anche in assenza di una marcata perdita di forza, la qualità esecutiva del colpo può risultare compromessa.

La **fatica periferica**, invece, riguarda principalmente il muscolo e i processi neuromuscolari che permettono la contrazione. Essa si verifica quando, a seguito dell'esercizio, il muscolo riduce progressivamente la propria capacità di generare forza. Questo fenomeno può essere collegato a diversi meccanismi, tra cui la riduzione delle riserve energetiche, l'accumulo di metaboliti, le alterazioni dell'equilibrio ionico e una minore efficienza dei processi che regolano la contrazione muscolare (Allen, Lamb & Westerblad, 2008).

Nel contesto del tennis, la fatica periferica può incidere in modo significativo sulla qualità dei colpi da fondocampo. Il dritto e il rovescio, infatti, non dipendono soltanto dall'azione dell'arto superiore, ma richiedono una partecipazione coordinata di arti inferiori, bacino, tronco e braccio. Se gli arti inferiori o il tronco risultano affaticati, il giocatore può perdere stabilità, ridurre la spinta dal terreno e compromettere il corretto trasferimento dell'energia lungo la catena cinetica. Questo può tradursi in colpi meno profondi, meno controllati o maggiormente soggetti a errore.

Un aspetto rilevante è che fatica centrale e periferica non si presentano quasi mai in modo isolato. Durante un'attività complessa e intermittente come il tennis, le due componenti tendono a interagire

continuamente. Una riduzione dell'efficienza muscolare può aumentare il carico richiesto al sistema nervoso per mantenere la qualità del gesto; allo stesso modo, un calo del controllo centrale può rendere meno efficace l'attivazione muscolare e peggiorare la coordinazione del movimento (Carroll, Taylor & Gandevia, 2017).

Questa interazione è particolarmente importante nei colpi da fondocampo, nei quali la precisione dipende dall'equilibrio tra produzione di forza, coordinazione e controllo motorio. In condizioni di affaticamento, il giocatore può non riuscire più a mantenere la stessa stabilità posturale, lo stesso timing dell'impatto e la stessa capacità di dirigere la palla verso una zona precisa del campo. Di conseguenza, la fatica può determinare un aumento della variabilità esecutiva e una riduzione dell'accuratezza del colpo.

Nel tennis agonistico, la fatica assume una rilevanza ancora maggiore perché l'atleta deve ripetere gesti tecnici complessi in condizioni di elevata intensità e con recuperi spesso incompleti. La letteratura evidenzia come la fatica durante il match possa influenzare sia gli aspetti fisiologici sia quelli tecnici e cognitivi della prestazione, incidendo sulla capacità del giocatore di mantenere efficacia e precisione nel corso del tempo (Hornery et al., 2007; Reid & Duffield, 2014).

Considerando questi aspetti, distinguere fatica centrale e periferica permette di interpretare in modo più completo il possibile peggioramento della precisione nei colpi da fondocampo. Una riduzione della precisione dopo uno sforzo intenso potrebbe infatti derivare da un calo della forza muscolare, da una minore stabilità del corpo, da un peggioramento del controllo motorio o dalla combinazione di questi fattori. Per questo motivo, nello studio dell'influenza della fatica sul tennis, è fondamentale considerare la fatica come un fenomeno integrato, capace di coinvolgere contemporaneamente dimensioni fisiche, neuromuscolari e cognitive della prestazione.

2.6.3 Fatica neuromuscolare

La fatica neuromuscolare rappresenta una condizione in cui si osserva una riduzione della capacità del sistema neuromuscolare di generare e controllare il movimento in seguito a un'attività fisica prolungata o ad alta intensità. Essa deriva dall'interazione tra componenti centrali e periferiche della fatica e si manifesta attraverso una diminuzione dell'efficienza dei processi che regolano la produzione di forza e il controllo motorio (Enoka & Duchateau, 2016).

A differenza di una visione che interpreta la fatica come un fenomeno esclusivamente muscolare, la fatica neuromuscolare deve essere considerata come il risultato dell'interazione tra diversi sistemi dell'organismo che operano in maniera integrata durante l'esecuzione del movimento. In particolare, il sistema nervoso centrale e il sistema muscolare collaborano costantemente per regolare

l'attivazione delle unità motorie, la coordinazione tra i diversi segmenti corporei e il controllo del gesto tecnico.

Quando si verifica un calo di efficienza in uno o più di questi sistemi, viene compromesso l'equilibrio funzionale necessario per un'esecuzione ottimale del movimento. Questo non si traduce soltanto in una riduzione della capacità di produrre forza, ma anche in un peggioramento della qualità del gesto tecnico, con possibili alterazioni nel timing, nella coordinazione e nella precisione dell'azione motoria. Tali modificazioni sono riconducibili a cambiamenti nei meccanismi di attivazione muscolare e nei processi di trasmissione del segnale neuromuscolare, che incidono direttamente sull'efficacia complessiva della prestazione (Allen, Lamb & Westerblad, 2008).

Dal punto di vista fisiologico, la fatica neuromuscolare si manifesta attraverso diversi meccanismi. Tra questi si possono includere una riduzione dell'attivazione volontaria, una minore sincronizzazione delle unità motorie, un'alterazione della trasmissione del segnale neuromuscolare e una diminuzione della capacità del muscolo di rispondere efficacemente allo stimolo nervoso (Gandevia, 2001; Enoka & Duchateau, 2016). Questi cambiamenti determinano una progressiva riduzione della forza, ma anche un peggioramento del controllo del movimento.

Un aspetto particolarmente rilevante della fatica neuromuscolare riguarda l'aumento della variabilità esecutiva. Durante l'esercizio prolungato, infatti, il sistema motorio tende a perdere precisione e stabilità, mostrando una maggiore dispersione nei parametri del movimento. Questo fenomeno è stato osservato in diversi contesti sportivi e risulta particolarmente evidente nei gesti tecnici complessi, in cui è richiesto un elevato livello di coordinazione e controllo (Davids et al., 2003).

Nel tennis, la fatica neuromuscolare assume un ruolo centrale, in quanto la prestazione dipende dalla capacità di eseguire ripetutamente movimenti esplosivi mantenendo elevati livelli di precisione. Durante uno scambio o nel corso di un match, l'atleta è sottoposto a continue accelerazioni, decelerazioni e cambi di direzione, che sollecitano intensamente il sistema neuromuscolare. In queste condizioni, l'insorgenza della fatica può compromettere la qualità dei colpi, influenzando sia la produzione di forza sia il controllo del gesto tecnico (Girard, Micallef & Millet, 2005).

In particolare, nei colpi da fondocampo, la fatica neuromuscolare può incidere su diversi aspetti. Una riduzione della forza degli arti inferiori può limitare la stabilità e la spinta necessaria per un corretto trasferimento dell'energia; allo stesso tempo, un calo del controllo neuromotorio può alterare il timing dell'impatto e la coordinazione tra i segmenti corporei. Di conseguenza, il giocatore può mostrare una minore capacità di dirigere la palla con precisione, con un aumento degli errori e una riduzione dell'efficacia del colpo.

Studi recenti evidenziano come la fatica neuromuscolare sia associata a modificazioni nei pattern di attivazione muscolare e a un peggioramento del controllo posturale, elementi che possono influenzare direttamente la precisione nei gesti tecnici (Tornero-Aguilera et al., 2022). Inoltre, nel tennis, è stato osservato che l'affaticamento progressivo durante il match può portare a variazioni biomeccaniche nei colpi, con conseguente riduzione della qualità esecutiva (Reid & Duffield, 2014).

La fatica neuromuscolare rappresenta quindi un fattore determinante nella comprensione del rapporto tra affaticamento e precisione nel tennis. Essa non influisce esclusivamente sulla capacità di produrre forza, ma coinvolge in modo significativo il controllo del movimento e la stabilità del gesto tecnico. Analizzare questo tipo di fatica consente quindi di interpretare in maniera più completa le eventuali variazioni nella precisione dei colpi da fondocampo in condizioni di affaticamento.

2.6.4 Effetti della fatica sul controllo motorio

Il controllo motorio rappresenta l'insieme dei processi attraverso i quali il sistema nervoso centrale organizza, coordina e regola i movimenti del corpo in relazione agli obiettivi dell'azione e alle informazioni provenienti dall'ambiente. Nei gesti sportivi complessi, come quelli richiesti nel tennis, il controllo motorio assume un ruolo fondamentale per garantire precisione, adattabilità e continuità della prestazione.

La fatica può influenzare in modo significativo il controllo motorio, determinando una riduzione della capacità del sistema nervoso di pianificare ed eseguire movimenti accurati. In condizioni di affaticamento, si osserva infatti una diminuzione dell'efficienza dei processi di integrazione sensoriale e di coordinazione neuromuscolare, che può tradursi in un peggioramento della qualità del gesto tecnico (Enoka & Duchateau, 2016).

Uno degli effetti principali della fatica sul controllo motorio è rappresentato dall'aumento della variabilità del movimento. Studi recenti evidenziano come, con il progredire dell'affaticamento, il sistema motorio mostri una maggiore dispersione nei parametri esecutivi, come la traiettoria del movimento, il timing e la posizione del corpo nello spazio (Tornero-Aguilera et al., 2022). Questo fenomeno riflette una minore stabilità del sistema di controllo e una ridotta capacità di mantenere schemi motori costanti nel tempo.

Dal punto di vista neuromuscolare, la fatica può alterare il reclutamento e la sincronizzazione delle unità motorie, compromettendo la precisione e l'efficienza del movimento. In particolare, una riduzione della capacità di attivazione volontaria e una minore coordinazione intersegmentaria possono influenzare negativamente la qualità dell'esecuzione, soprattutto nei gesti che richiedono elevata accuratezza (Gandevia, 2001; Enoka & Duchateau, 2016).

Un ulteriore aspetto riguarda il controllo posturale. La fatica è associata a una riduzione della stabilità del corpo, con conseguente aumento delle oscillazioni posturali e minore capacità di mantenere un corretto equilibrio durante l'esecuzione del movimento. Questo elemento è particolarmente rilevante negli sport dinamici, in cui la stabilità rappresenta una condizione necessaria per l'efficacia del gesto tecnico (Paillard, 2012).

Nel tennis, gli effetti della fatica sul controllo motorio risultano particolarmente evidenti nei colpi da fondocampo. Durante uno scambio, il giocatore deve coordinare in modo preciso gli spostamenti, il posizionamento del corpo e l'esecuzione del colpo in tempi molto ridotti. In condizioni di affaticamento, possono verificarsi alterazioni nel timing dell'impatto, nella posizione rispetto alla palla e nella capacità di controllare la traiettoria del colpo. Questo può determinare una maggiore dispersione dei colpi e una riduzione della precisione, con un aumento degli errori non forzati (Girard, Micallef & Millet, 2005; Reid & Duffield, 2014).

Inoltre, la fatica può influenzare anche i processi cognitivi legati al controllo motorio, come l'attenzione, la percezione e la presa di decisione. Studi recenti sottolineano come l'affaticamento possa ridurre la capacità di elaborare rapidamente le informazioni e di adattare il movimento alle richieste della situazione di gioco, compromettendo ulteriormente la qualità della prestazione (Smith et al., 2018).

Complessivamente, la fatica determina una riduzione dell'efficienza del sistema di controllo motorio, influenzando sia gli aspetti neuromuscolari sia quelli cognitivi della prestazione. Questo si traduce in una minore capacità di eseguire movimenti precisi, stabili e coordinati, con conseguenze dirette sulla qualità del gesto tecnico. Nel contesto del tennis, tali effetti risultano particolarmente rilevanti, in quanto la precisione dei colpi rappresenta un elemento determinante per l'efficacia della prestazione.

2.6.5 Come il sonno e lo stress mentale influenzano la precisione del colpo

Il sonno e lo stress mentale rappresentano due fattori determinanti nella regolazione della performance sportiva, in quanto incidono in modo diretto sia sui processi fisiologici sia su quelli cognitivi alla base del controllo motorio. Nel tennis, disciplina caratterizzata da elevate richieste tecniche e decisionali, la capacità di eseguire colpi precisi dipende fortemente dall'integrità di questi meccanismi.

Il sonno svolge un ruolo fondamentale nei processi di recupero e adattamento dell'organismo. Durante il riposo notturno si verificano fenomeni essenziali quali il ripristino delle riserve energetiche, la regolazione neuroendocrina e il consolidamento delle abilità motorie acquisite durante l'allenamento. Una quantità o qualità di sonno non adeguata può compromettere tali processi, con effetti negativi sulla performance fisica e cognitiva (Fullagar et al., 2015).

Negli ultimi anni, diversi studi hanno evidenziato come la privazione di sonno sia associata a una riduzione dell'attenzione, a un rallentamento dei tempi di reazione e a una minore precisione nei compiti motori complessi. In particolare, è stato osservato che la carenza di sonno può aumentare la variabilità del movimento e ridurre la capacità di mantenere schemi motori stabili nel tempo (Vitale et al., 2019). Nel tennis, ciò può tradursi in una minore capacità di controllare direzione e profondità dei colpi, con un conseguente aumento degli errori non forzati.

Un ulteriore aspetto rilevante riguarda il ruolo del sonno nell'apprendimento motorio. Il consolidamento delle abilità tecniche avviene infatti in larga parte durante le fasi di sonno, in particolare durante il sonno REM e il sonno profondo. Una riduzione della qualità del sonno può quindi limitare la stabilizzazione dei pattern motori, influenzando la capacità del giocatore di eseguire i colpi con precisione e continuità nel tempo (Walker, 2005).

Accanto al sonno, lo stress mentale rappresenta un altro fattore chiave nella modulazione della precisione del gesto tecnico. Nel contesto sportivo, lo stress è legato alla percezione delle richieste ambientali e alla capacità dell'atleta di farvi fronte. Nel tennis, situazioni di pressione competitiva, come i momenti decisivi del match, possono generare elevati livelli di stress che influenzano la qualità della prestazione.

Dal punto di vista neurocognitivo, lo stress mentale può compromettere i processi attentivi e decisionali, riducendo la capacità di elaborare rapidamente le informazioni e di selezionare la risposta motoria più adeguata. Studi recenti indicano come la fatica mentale e lo stress possano influenzare negativamente il controllo motorio, aumentando la variabilità del gesto e riducendo la precisione nei compiti che richiedono elevata coordinazione (Smith et al., 2018).

Inoltre, lo stress può determinare un aumento della tensione muscolare e una riduzione della fluidità del movimento, con effetti negativi sul timing e sulla coordinazione intersegmentaria. Questo è particolarmente rilevante nel tennis, dove la precisione del colpo dipende da un equilibrio fine tra controllo motorio, stabilità posturale e sincronizzazione dei movimenti.

L'interazione tra sonno e stress mentale assume un ruolo centrale. Una scarsa qualità del sonno può aumentare la vulnerabilità allo stress, mentre elevati livelli di stress possono compromettere ulteriormente il riposo notturno, creando un circolo vizioso che incide negativamente sulla performance. In questo contesto, la precisione dei colpi risulta particolarmente sensibile, in quanto dipende da processi cognitivi e neuromotori altamente integrati.

La letteratura scientifica evidenzia che il sonno e lo stress mentale influenzano in modo significativo la capacità del tennista di mantenere elevati livelli di precisione. Una gestione adeguata di questi fattori rappresenta quindi un elemento fondamentale per ottimizzare la prestazione e garantire continuità nell'esecuzione dei colpi, soprattutto in condizioni di gara.

2.6.6 Caldo e freddo: come le temperature influenzano la precisione

Le condizioni ambientali, e in particolare la temperatura, rappresentano un fattore determinante nella regolazione della performance sportiva. Nel tennis, disciplina frequentemente praticata in ambienti esterni e quindi soggetta a variazioni climatiche anche significative, l'esposizione a temperature elevate o ridotte può incidere in modo rilevante sia sui meccanismi fisiologici sia sulla qualità dell'esecuzione tecnica, influenzando direttamente la precisione dei colpi.

L'attività fisica svolta in condizioni di caldo comporta un aumento della temperatura corporea interna e l'insorgenza di stress termico. Per mantenere l'omeostasi, l'organismo attiva una serie di risposte fisiologiche, tra cui l'incremento della sudorazione e la vasodilatazione periferica, che favoriscono la dispersione del calore ma, allo stesso tempo, comportano un maggiore impegno cardiovascolare e una redistribuzione del flusso sanguigno (Nybo et al., 2014).

Queste modificazioni possono determinare una riduzione dell'efficienza fisiologica generale e un aumento della percezione dello sforzo, anticipando l'insorgenza della fatica. Parallelamente, numerosi studi hanno evidenziato come l'ipertermia possa influenzare negativamente anche le funzioni cognitive, in particolare l'attenzione, la capacità decisionale e la velocità di elaborazione delle informazioni (Gaoua, 2010). Nel tennis, tali funzioni risultano fondamentali per il controllo motorio, in quanto il giocatore deve continuamente adattare il proprio comportamento alle caratteristiche della palla e alle scelte dell'avversario.

Dal punto di vista tecnico, l'esercizio in ambiente caldo è associato a un aumento della variabilità del movimento e a una riduzione della stabilità del gesto. Ciò si traduce in una minore capacità di mantenere precisione nella direzione e nella profondità dei colpi, con un incremento degli errori non forzati. Un ulteriore fattore critico è rappresentato dalla disidratazione, che può compromettere la funzione neuromuscolare e il controllo motorio, aggravando il deterioramento della precisione (Casa et al., 2000).

Le condizioni di freddo, invece, determinano effetti differenti ma altrettanto rilevanti. La riduzione della temperatura muscolare comporta una diminuzione della velocità di contrazione e della capacità di sviluppare forza, oltre a una riduzione dell'elasticità muscolare. Questo comporta movimenti meno fluidi e meno efficienti, con possibili ripercussioni sulla qualità del gesto tecnico (Racinais & Oksa, 2010).

A livello neuromuscolare, il freddo può rallentare la conduzione degli impulsi nervosi e ridurre la sensibilità propriocettiva, elementi fondamentali per il controllo fine del movimento. Questo può rendere più difficile regolare con precisione la traiettoria del colpo e mantenere un corretto timing dell'impatto con la palla (Oksa, 2002). Nel tennis, tali effetti possono tradursi in una maggiore rigidità

esecutiva, in una minore capacità di adattamento e in una riduzione dell'accuratezza dei colpi da fondocampo.

Un elemento centrale è rappresentato dalla capacità di adattamento dell'atleta alle condizioni ambientali. L'acclimatazione al caldo, ad esempio, consente di migliorare l'efficienza dei meccanismi di termoregolazione, riducendo l'impatto negativo dello stress termico sulla performance. Analogamente, l'adattamento al freddo può contribuire a limitare le alterazioni neuromuscolari e a mantenere una migliore qualità del movimento. Tuttavia, anche in presenza di adattamento, condizioni ambientali estreme possono comunque rappresentare un fattore limitante per la precisione e la stabilità del gesto tecnico (Racinais et al., 2015).

Nel loro insieme, il caldo e il freddo influenzano la precisione nel tennis attraverso meccanismi diversi ma convergenti: alterazione dei processi cognitivi, riduzione dell'efficienza neuromuscolare e compromissione del controllo motorio. Poiché la precisione dei colpi da fondocampo dipende da un equilibrio fine tra stabilità, coordinazione e timing, anche piccole variazioni delle condizioni fisiologiche possono determinare differenze significative nella qualità della prestazione. Comprendere l'impatto della temperatura risulta quindi fondamentale per interpretare le variazioni della precisione e per ottimizzare la preparazione dell'atleta in relazione al contesto ambientale.

2.6.7 Fatica e precisione nei ruoli da fondo campo

Nel tennis contemporaneo, la precisione dei colpi da fondocampo rappresenta uno degli elementi determinanti della prestazione, in quanto consente al giocatore di controllare lo scambio, costruire il punto in modo efficace e ridurre l'incidenza degli errori non forzati. Tuttavia, tale capacità risulta fortemente condizionata dallo stato di fatica, che può influenzare simultaneamente le componenti fisiche, neuromuscolari e cognitive coinvolte nell'esecuzione del gesto tecnico.

Come evidenziato nei paragrafi precedenti, la fatica si manifesta attraverso l'interazione di componenti centrali e periferiche, determinando una progressiva riduzione dell'efficienza del sistema neuromuscolare. Questa condizione si traduce in una minore capacità di generare forza, in una riduzione della stabilità posturale e in un peggioramento del controllo motorio, elementi fondamentali per garantire precisione e qualità nei colpi da fondocampo (Enoka & Duchateau, 2016; Girard, Micallef & Millet, 2005).

Uno degli aspetti più sensibili all'affaticamento è il timing dell'impatto, ovvero la capacità di colpire la palla nel momento ottimale rispetto alla sua traiettoria. Nei colpi da fondocampo, anche minime alterazioni temporali possono compromettere la direzione e la profondità del colpo. In condizioni di fatica, il giocatore può mostrare un'anticipazione o un ritardo nell'impatto, con conseguente perdita di precisione e aumento della variabilità esecutiva.

Parallelamente, la fatica influisce sulla stabilità del corpo, in particolare a livello degli arti inferiori e del core, che svolgono un ruolo essenziale nel garantire equilibrio e controllo durante l'esecuzione del colpo. Una riduzione della stabilità posturale comporta una maggiore difficoltà nel mantenere una posizione ottimale rispetto alla palla, incidendo negativamente sulla qualità del gesto tecnico e sulla capacità di indirizzare il colpo con accuratezza (Paillard, 2012).

Dal punto di vista neuromuscolare, l'affaticamento può alterare la coordinazione tra i segmenti corporei coinvolti nella catena cinetica. Nei colpi da fondocampo, il trasferimento di energia dagli arti inferiori al tronco e all'arto superiore deve avvenire in modo fluido e sincronizzato. In presenza di fatica, questo processo può risultare meno efficiente, determinando una riduzione della qualità del colpo e una minore capacità di controllarne la traiettoria (Reid & Duffield, 2014).

Un effetto particolarmente rilevante è rappresentato dall'aumento della variabilità del gesto tecnico. La letteratura evidenzia come la fatica sia associata a una maggiore dispersione nei parametri esecutivi, quali la posizione del punto d'impatto, l'orientamento della racchetta e la traiettoria della palla. Questo fenomeno si traduce in una riduzione della capacità di indirizzare i colpi verso zone specifiche del campo, compromettendo la precisione complessiva della prestazione (Tornero-Aguilera et al., 2022).

Oltre agli aspetti fisici e neuromuscolari, la fatica incide anche sulla componente cognitiva della prestazione. In condizioni di affaticamento, si osserva una riduzione della capacità attentiva e della rapidità decisionale, elementi fondamentali nel tennis per selezionare il colpo più adeguato in funzione della situazione di gioco. Questo può portare a scelte meno efficaci e a una minore qualità esecutiva, con effetti diretti sulla precisione dei colpi (Smith et al., 2018).

Le evidenze scientifiche analizzate indicano che la fatica determina una riduzione dell'efficienza globale del sistema di controllo motorio, influenzando simultaneamente forza, coordinazione, stabilità e capacità decisionale. Nei colpi da fondocampo, tali alterazioni si traducono in una minore precisione, con un aumento della variabilità e una riduzione della capacità di controllare lo scambio. La comprensione della relazione tra fatica e precisione assume quindi un ruolo centrale nell'analisi della performance tennistica. In particolare, il confronto tra condizioni di non affaticamento e condizioni di affaticamento consente di evidenziare come lo stato fisico dell'atleta possa influenzare in modo diretto la qualità del gesto tecnico. Questo rappresenta il presupposto teorico su cui si fonda l'indagine sperimentale del presente lavoro, finalizzata ad analizzare l'effetto della fatica sulla precisione dei colpi da fondocampo.

3. MATERIALI E METODI

3.1 DISEGNO DELLO STUDIO

Il presente studio sperimentale è stato progettato con l'obiettivo di analizzare l'influenza della fatica sulla precisione esecutiva dei colpi da fondocampo nel tennis, con particolare riferimento al dritto e al rovescio.

La ricerca segue un disegno sperimentale con misurazioni ripetute, nel quale ogni partecipante viene valutato sia in condizioni di riposo sia successivamente a un protocollo di affaticamento specifico per il tennis. Tale approccio consente di confrontare direttamente le variazioni della prestazione all'interno dello stesso soggetto, riducendo l'influenza della variabilità individuale e aumentando l'affidabilità dei dati raccolti.

L'intero protocollo sperimentale è stato svolto in un'unica sessione di valutazione, mantenendo standardizzate le condizioni di esecuzione, la superficie di gioco, il materiale utilizzato e le modalità di somministrazione dei test.

Lo studio è stato strutturato in tre fasi principali:

- valutazione iniziale della precisione in condizioni di riposo;
- protocollo di affaticamento ad alta intensità con movimenti specifici del tennis;
- rivalutazione della precisione in condizioni di affaticamento.

3.2 PARTECIPANTI

PARTECIPANTI	ETA'	PESO	ALTEZZA	SESSO	RANKING
Campione 1	17	75 Kg	179 Cm	M	2.8
Campione 2	17	72 Kg	180 Cm	M	2.6
Campione 3	18	80 Kg	185 Cm	M	2.5
Campione 4	19	85,5 Kg	176 Cm	M	2.5
Campione 5	21	76 Kg	188 Cm	M	2.7
Campione 6	25	88 Kg	187 Cm	M	2.6
Campione 7	23	73 Kg	174 Cm	M	2.5
Campione 8	22	76 Kg	185 Cm	M	2.8
Campione 9	19	68 Kg	177 Cm	M	2.8
Campione 10	24	71 Kg	179 Cm	M	2.7

Tabella 1. Caratteristiche anagrafiche, antropometriche e livello agonistico dei partecipanti inclusi nello studio.

Il campione dello studio è costituito da tennisti agonisti di sesso maschile, con età compresa tra i 17 e i 25 anni.

I partecipanti presentano un'esperienza tennistica superiore ai 10 anni e svolgono regolarmente attività competitiva federale, con una classifica FITP appartenente alla 2^a categoria.

Tutti gli atleti svolgono un volume di allenamento settimanale di almeno 12 ore, comprendenti sia allenamenti tecnico-tattici in campo sia sedute di preparazione atletica specifica svolta in palestra e all'aperto.

La scelta di utilizzare esclusivamente tennisti agonisti con livello tecnico omogeneo nasce dalla necessità di ridurre l'influenza di variabili legate all'abilità esecutiva individuale, consentendo una valutazione più accurata dell'effetto della fatica sulla precisione dei colpi da fondocampo.

Prima dello svolgimento del protocollo sperimentale, ai partecipanti sono state fornite indicazioni standardizzate, tra cui:

- evitare attività fisica intensa nelle 24 ore precedenti il test;
- mantenere normali abitudini alimentari e di idratazione;
- presentarsi in condizioni di riposo;
- non assumere sostanze stimolanti nelle ore precedenti la valutazione.

Sono stati esclusi dallo studio soggetti con:

- infortuni muscolo-scheletrici recenti;
- problematiche articolari o muscolari che potessero compromettere l'esecuzione dei colpi;
- condizioni fisiche incompatibili con l'esecuzione del protocollo ad alta intensità.

Poiché alcuni partecipanti erano minorenni, la partecipazione allo studio è stata autorizzata mediante consenso informato sottoscritto dai genitori o da chi esercitava la responsabilità genitoriale. Tutti i partecipanti sono stati inoltre informati sulle finalità, sulle modalità di svolgimento e sulle caratteristiche del protocollo sperimentale prima dell'inizio della sperimentazione.

3.3 TEST DI PRECISIONE IN CONDIZIONE DI RIPOSO

Prima dell'inizio della fase sperimentale, tutti i partecipanti hanno eseguito un riscaldamento standardizzato composto da una fase generale e da una fase specifica. La fase generale prevedeva esercizi di attivazione cardiovascolare e muscolare svolti al di fuori del campo da tennis, comprendenti corsa leggera, mobilità articolare ed esercizi dinamici per gli arti superiori e inferiori. Successivamente, i partecipanti hanno svolto una fase di riscaldamento specifico per il tennis, costituita da 5 minuti di palleggio da fondocampo durante i quali potevano eseguire liberamente i principali colpi del tennis. Tale procedura aveva l'obiettivo di preparare gli atleti alle prove

sperimentali, favorendo l'attivazione neuromuscolare e il raggiungimento di condizioni ottimali per la prestazione.

Al termine del riscaldamento è stato eseguito il test di precisione in condizioni di riposo, utilizzato come valore di riferimento per la successiva valutazione degli effetti della fatica sulla prestazione tecnica.

Nella metà campo opposta sono state delimitate tre aree bersaglio caratterizzate da differenti profondità: una zona profonda, collocata in prossimità della linea di fondo campo, una zona intermedia situata nella porzione centrale del campo e una zona corta posizionata nella parte anteriore del campo. Tale suddivisione è stata scelta per valutare principalmente la capacità dei giocatori di controllare la profondità dei colpi da fondocampo. La direzione del colpo non è stata valutata mediante specifiche aree bersaglio laterali, ma è stata considerata esclusivamente ai fini della validità dell'esecuzione, distinguendo i colpi validi dagli errori (palline in rete o fuori dal campo).

I partecipanti si posizionavano dietro la linea di fondo e ricevevano palline fornite dallo sperimentatore con modalità standardizzate, mantenendo il più possibile costanti velocità, traiettoria e direzione del lancio.

Il protocollo prevedeva l'esecuzione di 16 colpi complessivi. I partecipanti eseguivano una sequenza composta da 2 colpi di dritto su palline che rimbalzavano oltre la linea di fondo campo, 2 colpi di dritto su palline che rimbalzavano all'interno del campo (in prossimità dei tre quarti del campo), 2 colpi di rovescio su palline che rimbalzavano oltre la linea di fondo campo e 2 colpi di rovescio su palline che rimbalzavano all'interno del campo. L'intera sequenza veniva ripetuta una seconda volta, per un totale di 16 colpi. L'ordine di esecuzione è stato mantenuto uguale per tutti i partecipanti al fine di garantire la standardizzazione del protocollo.

La precisione è stata valutata mediante un sistema di punteggio basato sulla zona di arrivo della pallina. Ai colpi che terminavano all'interno della zona bersaglio più profonda venivano assegnati 3 punti, mentre ai colpi che raggiungevano la zona intermedia venivano attribuiti 2 punti. Le palline che rimanevano valide ma al di fuori delle aree bersaglio ricevevano 1 punto, mentre gli errori, costituiti da palline finite in rete o fuori dal campo, venivano valutati con 0 punti. Poiché il protocollo prevedeva l'esecuzione di 16 colpi e il punteggio massimo assegnabile per ciascun colpo era pari a 3 punti, il punteggio totale massimo conseguibile risultava pari a 48 punti. Tale valore rappresentava il livello massimo di precisione teoricamente raggiungibile nel test.

L'attribuzione del punteggio è stata effettuata da un osservatore esterno qualificato, con esperienza nell'insegnamento del tennis, che ha valutato tutte le prove sperimentali applicando criteri di giudizio uniformi. L'impiego dello stesso osservatore per tutti i partecipanti ha consentito di uniformare la valutazione e di ridurre il rischio di bias legato alle aspettative dello sperimentatore.

Il punteggio totale ottenuto da ciascun partecipante rappresentava il valore di riferimento (baseline) della precisione esecutiva in condizioni di riposo e veniva successivamente confrontato con quello registrato dopo il protocollo di affaticamento, al fine di valutare l'influenza della fatica sulla precisione dei colpi da fondocampo.

Il protocollo sperimentale prevedeva un'unica sessione di valutazione per ciascun partecipante e non comprendeva una prova preliminare di affidabilità test-retest. Tale scelta è stata adottata per evitare possibili effetti di apprendimento o familiarizzazione con il test, che avrebbero potuto influenzare la prestazione tecnica durante le prove sperimentali.

3.4 PROTOCOLLO DI AFFATICAMENTO

Al termine del test di precisione in condizioni di riposo, i partecipanti hanno eseguito un protocollo di affaticamento specifico per il tennis, progettato per riprodurre i principali spostamenti richiesti durante gli scambi da fondocampo.

Il protocollo consisteva in una navetta multidirezionale a stella, con partenza dal centro della linea di fondo campo. Tale esercizio è stato scelto in quanto coinvolge accelerazioni, decelerazioni, cambi di direzione e spostamenti multidirezionali analoghi a quelli che caratterizzano il gioco del tennis con simulazione del colpo.

Ogni partecipante eseguiva la seguente sequenza:

1. partenza dal centro della linea di fondo;
2. spostamento rapido verso l'angolo destro del campo, simulando una situazione di dritto;
3. ritorno al centro;
4. spostamento rapido verso l'angolo sinistro del campo, simulando una situazione di rovescio;
5. ritorno al centro;
6. sprint in avanzamento fino alla linea del servizio;
7. ritorno rapido al centro della linea di fondo;
8. arretramento di circa 2–3 metri oltre la linea di fondo;
9. ritorno al centro della linea di fondo.

Il completamento dell'intera sequenza costituiva una ripetizione.

Il protocollo prevedeva l'esecuzione di 6 ripetizioni alla massima intensità possibile, intervallate da 20 secondi di recupero passivo. Tale intervallo di recupero è stato scelto per riprodurre le caratteristiche intermittenti del tennis, disciplina nella quale il tempo a disposizione tra un punto e il successivo è generalmente compreso tra 20 e 25 secondi.

Durante l'esecuzione del protocollo sono stati monitorati la frequenza cardiaca mediante Apple Watch e la percezione soggettiva dello sforzo attraverso la scala Borg RPE. Al termine dell'ultima ripetizione, la frequenza cardiaca e il valore Borg sono stati registrati immediatamente. Successivamente, entro un intervallo massimo di 10 secondi dalla conclusione del protocollo, i partecipanti hanno eseguito il test di precisione in condizioni di affaticamento, al fine di limitare il recupero e valutare gli effetti della fatica sulla prestazione tecnica.

L'obiettivo del protocollo era indurre uno stato di affaticamento neuromuscolare mantenendo un'elevata specificità rispetto alle richieste motorie e metaboliche del tennis agonistico.

3.5 TEST DI PRECISIONE IN CONDIZIONE DI AFFATICAMENTO

Immediatamente dopo il completamento dell'ultima ripetizione del protocollo di affaticamento, ciascun partecipante ha eseguito nuovamente il test di precisione, al fine di valutare gli effetti della fatica sulla prestazione tecnica.

Prima dell'inizio del test sono stati registrati la frequenza cardiaca, mediante Apple Watch, e il livello di percezione soggettiva dello sforzo attraverso la scala Borg RPE, così da verificare il raggiungimento di uno stato di affaticamento adeguato.

Il test è stato eseguito mantenendo invariate tutte le condizioni sperimentali adottate nella fase iniziale: stessa posizione di partenza, stessa modalità di alimentazione delle palline, stesso numero di colpi, stesse aree bersaglio e medesimo sistema di attribuzione del punteggio. Tale procedura è stata adottata per garantire la massima comparabilità tra la condizione di riposo e quella di affaticamento, riducendo al minimo l'influenza di fattori esterni sulla prestazione.

Analogamente alla prova iniziale, ciascun partecipante ha eseguito un totale di 16 colpi da fondocampo seguendo la medesima sequenza prevista nella condizione di riposo. In particolare, venivano eseguiti 2 colpi di dritto su palline che rimbalzavano oltre la linea di fondo campo, 2 colpi di dritto su palline che rimbalzavano all'interno del campo, 2 colpi di rovescio su palline che rimbalzavano oltre la linea di fondo campo e 2 colpi di rovescio su palline che rimbalzavano all'interno del campo. L'intera sequenza veniva successivamente ripetuta una seconda volta, per un totale di 16 colpi. Per ogni colpo è stato registrato il punteggio ottenuto in base alla zona di atterraggio della pallina, nonché il numero di errori commessi.

I risultati ottenuti nella condizione di affaticamento sono stati successivamente confrontati con quelli registrati nella condizione di riposo, al fine di valutare eventuali variazioni nella precisione esecutiva dei colpi da fondocampo. In particolare, sono state analizzate le differenze nel punteggio totale, nel

punteggio medio per colpo e nel numero di errori, con l'obiettivo di verificare se l'affaticamento fosse associato a una riduzione della capacità di controllo e direzione dei colpi.

L'analisi di tali parametri ha consentito di valutare l'influenza della fatica neuromuscolare sulla precisione del gesto tecnico, aspetto particolarmente rilevante nel tennis agonistico, dove la capacità di mantenere elevati livelli di accuratezza anche in condizioni di affaticamento rappresenta un importante fattore determinante della prestazione.

3.6 STRUMENTAZIONE E SCALE DI VALUTAZIONE

La valutazione dello stato di affaticamento è stata effettuata attraverso l'integrazione di misure oggettive e soggettive, al fine di ottenere una valutazione il più possibile completa delle condizioni fisiologiche e percettive dei partecipanti nelle diverse fasi del protocollo sperimentale.

L'affaticamento fisico è stato monitorato mediante la rilevazione della frequenza cardiaca tramite Apple Watch, dispositivo basato su tecnologia di rilevazione ottica della frequenza cardiaca. La misurazione è stata effettuata in due momenti del protocollo: al termine del test di precisione eseguito in condizioni di riposo e immediatamente dopo il protocollo di affaticamento, prima dell'esecuzione del secondo test di precisione. La frequenza cardiaca rappresenta uno dei principali indicatori fisiologici dell'intensità dello sforzo e consente di verificare il raggiungimento di un adeguato livello di affaticamento.

Accanto alla rilevazione della frequenza cardiaca è stata utilizzata la Scala di Borg (Rating of Perceived Exertion, RPE), uno strumento ampiamente impiegato in ambito sportivo e scientifico per valutare la percezione soggettiva dello sforzo. La scala è costituita da valori compresi tra 6 e 20, nei quali i punteggi più bassi corrispondono a una minima percezione dello sforzo, mentre quelli più elevati indicano uno sforzo molto intenso o quasi massimale.

Anche la Scala di Borg è stata somministrata in due momenti del protocollo sperimentale: al termine del test di precisione nella condizione di riposo e immediatamente dopo il protocollo di affaticamento, prima dell'esecuzione del secondo test di precisione. In accordo con la letteratura scientifica, valori compresi tra 15 e 17 sono generalmente associati a uno sforzo elevato, mentre valori superiori a 17 indicano uno sforzo molto intenso o quasi massimale (Borg, 1982).

L'utilizzo combinato della frequenza cardiaca e della Scala di Borg ha consentito di ottenere una valutazione più completa dello stato di affaticamento raggiunto dai partecipanti, integrando la risposta fisiologica dell'organismo con la percezione soggettiva dello sforzo. Tale approccio risulta particolarmente utile negli studi condotti in ambito sportivo, poiché la fatica rappresenta un fenomeno multidimensionale influenzato non solo da fattori fisiologici, ma anche da componenti percettive e psicologiche.

Scala di Borg		% FC max	%VO2 max
6	Fatica nulla (seduto)	20%	30%
7	Estremamente leggero (movimento facile)	30%	
8	//	40%	
9	Molto leggero (camminata rilassata)	50%	
10	//	55%	30 – 49%
11	Leggero (riscaldamento blando)	60%	
12	//	65%	50 – 75%
13	Un po' pesante (intensità più impegnativa)	70%	
14	//	75%	75 – 84 %
15	Pesante (intensità impegnativa)	80%	
16	//	85%	
17	Molto pesante (intensità molto impegnativa)	90%	≥85%
18	//	95%	
19	Estremamente pesante (intensità molto alta, difficile da mantenere)	100%	
20	Massimo sforzo (intensità impossibile da mantenere)	ESAURIMENTO	

Tabella 2. Scala di Borg (RPE) utilizzata per la valutazione dello sforzo percepito (Borg, 1982).

3.7 ANALISI STATISTICA

I dati raccolti durante il protocollo sperimentale sono stati sottoposti ad analisi statistica al fine di descrivere e confrontare le prestazioni ottenute dai partecipanti nelle due condizioni sperimentali (riposo e affaticamento). In una prima fase è stata effettuata un'analisi descrittiva dei dati, calcolando per ciascuna variabile la media e la deviazione standard (DS), al fine di descrivere la distribuzione dei risultati all'interno del campione.

Successivamente, i valori ottenuti nel test di precisione in condizioni di riposo sono stati confrontati con quelli registrati dopo il protocollo di affaticamento. Poiché le misurazioni sono state effettuate sugli stessi soggetti in due momenti differenti, è stato utilizzato il test t di Student per campioni appaiati, considerato uno degli strumenti statistici più appropriati per valutare eventuali differenze tra due misurazioni ripetute sullo stesso campione (Thomas et al., 2015).

Oltre alla variazione assoluta del punteggio, è stata calcolata anche la variazione percentuale della prestazione tra le due condizioni sperimentali, al fine di quantificare in maniera più immediata l'effetto dell'affaticamento sulla precisione dei colpi da fondocampo. Per una valutazione più completa dell'entità delle differenze osservate, è stata inoltre calcolata la dimensione dell'effetto (Cohen's d).

Il livello di significatività statistica è stato fissato a $p < 0,05$. I risultati sono stati riportati sotto forma di tabelle e descritti mediante analisi testuale, al fine di facilitarne l'interpretazione e il confronto.

4.RISULTATI

In questo capitolo vengono presentati i risultati ottenuti dai partecipanti durante le diverse fasi del protocollo sperimentale. L'obiettivo dell'analisi è stato quello di valutare l'influenza dello stato di affaticamento sulla precisione dei colpi da fondocampo nel tennis, confrontando le prestazioni registrate in condizioni di riposo con quelle rilevate successivamente all'esecuzione del protocollo di affaticamento.

Per ciascun partecipante sono stati raccolti il punteggio ottenuto nel test di precisione, la frequenza cardiaca e il valore della Scala di Borg (RPE), utilizzati rispettivamente come indicatori della performance tecnica, della risposta fisiologica allo sforzo e della percezione soggettiva dell'affaticamento.

Il punteggio massimo conseguibile nel test era pari a 48 punti, corrispondente all'esecuzione di 16 colpi perfettamente indirizzati verso le aree bersaglio previste dal protocollo sperimentale. I risultati ottenuti nelle due condizioni sperimentali sono stati confrontati al fine di evidenziare eventuali variazioni nella precisione esecutiva associate all'insorgenza della fatica.

Oltre all'analisi dei punteggi complessivi, sono stati esaminati i valori di frequenza cardiaca e della Scala di Borg, con l'obiettivo di verificare l'efficacia del protocollo di affaticamento nell'indurre uno stato di stress fisico e percettivo nei partecipanti. Tale confronto ha consentito di valutare in maniera integrata le modificazioni della prestazione tecnica e delle risposte fisiologiche conseguenti all'esercizio svolto.

I risultati vengono di seguito presentati attraverso tabelle riassuntive e successivamente descritti mediante un'analisi comparativa tra la condizione di riposo e la condizione di affaticamento.

4.1 RISULTATI DEL TEST DI PRECISIONE IN CONDIZIONI DI RIPOSO

Al termine del test di precisione eseguito in condizioni di riposo sono stati registrati il punteggio totale ottenuto da ciascun partecipante, la frequenza cardiaca e il valore della Scala di Borg (RPE). I dati riportati nella Tabella 3 rappresentano i valori di riferimento (baseline) utilizzati per il successivo confronto con la condizione di affaticamento.

PARTECIPANTE	PUNTEGGIO	SCALA DI BORG	FREQUENZA CARDIACA
Campione 1	29	10	92
Campione 2	35	10	88
Campione 3	33	11	90
Campione 4	34	9	86
Campione 5	29	11	94
Campione 6	27	10	82
Campione 7	32	12	85
Campione 8	26	11	87
Campione 9	30	13	102
Campione 10	28	12	96

Tabella 3: Risultati del test di precisione in condizioni di riposo: punteggio totale, valore della Scala di Borg (RPE) e frequenza cardiaca dei partecipanti.

La valutazione effettuata in condizioni di riposo evidenzia punteggi compresi tra 26 e 35 punti, con una media di $30,3 \pm 3,06$ punti su un massimo teorico di 48 punti. I valori ottenuti dai partecipanti mostrano una variabilità contenuta, con una differenza massima di 6 punti tra il punteggio più elevato e quello più basso.

Per quanto riguarda gli indicatori dello stato di affaticamento, i valori della Scala di Borg risultano compresi tra 9 e 13, con una media pari a $10,9 \pm 1,20$, indicando una percezione dello sforzo contenuta. Analogamente, la frequenza cardiaca registrata al termine del test presenta valori compresi tra 82 e 102 bpm, con una media di $90,2 \pm 5,94$ bpm.

I dati raccolti descrivono le prestazioni dei partecipanti nella condizione di riposo e costituiscono i valori di riferimento (baseline) utilizzati per il successivo confronto con la condizione di affaticamento.

4.2 RISULTATI DEL TEST DI PRECISIONE IN CONDIZIONI DI AFFATICAMENTO

Al termine del protocollo di affaticamento, ciascun partecipante ha eseguito nuovamente il test di precisione previsto dal protocollo sperimentale. Prima dell'inizio della prova di precisione, immediatamente dopo la conclusione del protocollo di affaticamento, sono stati rilevati la frequenza cardiaca mediante Apple Watch e il valore della Scala di Borg (RPE), al fine di verificare il livello di affaticamento raggiunto dai partecipanti. Successivamente è stato eseguito il test di precisione e registrato il punteggio ottenuto. I risultati sono riportati nella Tabella 4.

PARTECIPANTE	PUNTEGGIO	SCALA DI BORG	FREQUENZA CARDIACA
Campione 1	24	16	176
Campione 2	27	17	181
Campione 3	29	15	173
Campione 4	28	16	178
Campione 5	23	17	184
Campione 6	20	15	173
Campione 7	23	16	187
Campione 8	22	15	175
Campione 9	21	17	190
Campione 10	19	17	186

Tabella 4: Risultati del test di precisione in condizioni di affaticamento: punteggio totale, valore della Scala di Borg (RPE) e frequenza cardiaca dei partecipanti.

I valori della Scala di Borg, rilevati immediatamente al termine del protocollo di affaticamento, risultano compresi tra 15 e 17, con una media pari a $16,1 \pm 0,88$ punti, confermando il raggiungimento di un elevato livello di affaticamento percepito. La frequenza cardiaca registrata nello stesso momento presenta valori compresi tra 173 e 190 bpm, con una media pari a $180,3 \pm 6,18$ bpm, evidenziando una marcata risposta cardiovascolare al protocollo di affaticamento.

Per quanto riguarda il test di precisione eseguito successivamente, i punteggi ottenuti risultano compresi tra 19 e 29 punti, con una media pari a $23,6 \pm 3,41$ punti su un massimo teorico di 48 punti. Rispetto alla condizione di riposo, tutti i partecipanti mostrano una riduzione del punteggio ottenuto nel test di precisione.

I dati raccolti descrivono le prestazioni dei partecipanti nella condizione di affaticamento e saranno successivamente confrontati con i valori registrati nella condizione di riposo al fine di analizzare le variazioni della precisione dei colpi da fondocampo.

4.3 CONFRONTO TRA CONDIZIONE DI RIPOSO E CONDIZIONE DI AFFATICAMENTO

Al fine di evidenziare in modo più immediato le differenze tra le due condizioni sperimentali, nella Tabella 5 vengono riportati i punteggi ottenuti da ciascun partecipante prima e dopo il protocollo di affaticamento.

Il confronto tra le due condizioni sperimentali evidenzia una riduzione del punteggio in tutti i partecipanti. La diminuzione osservata varia in funzione della risposta individuale al protocollo di affaticamento, confermando un peggioramento della precisione dei colpi da fondocampo dopo l'esercizio.

PARTECIPANTE	PUNTEGGIO RIPOSO	PUNTEGGIO DOPO AFFATICAMENTO	DIFFERENZA
Campione 1	29	24	-5
Campione 2	35	27	-8
Campione 3	33	29	-4
Campione 4	34	28	-6
Campione 5	29	23	-6
Campione 6	27	20	-7
Campione 7	32	23	-9
Campione 8	26	22	-4
Campione 9	30	21	-9
Campione 10	28	19	-9

Tabella 5: Confronto dei punteggi ottenuti dai partecipanti nelle condizioni di riposo e di affaticamento.

Considerando l'intero campione, il punteggio medio è passato da $30,3 \pm 3,06$ punti nella condizione di riposo a $23,6 \pm 3,41$ punti nella condizione di affaticamento, evidenziando una riduzione media pari a $6,7 \pm 2,00$ punti.

L'analisi statistica mediante test t di Student per campioni appaiati ha evidenziato una differenza statisticamente significativa tra le due condizioni sperimentali ($t = 10,58$; $p < 0,001$), indicando che il protocollo di affaticamento ha determinato una riduzione significativa della precisione dei colpi da fondocampo.

Parallelamente alla riduzione del punteggio ottenuto nel test di precisione, si osserva un marcato incremento dei valori medi della frequenza cardiaca e della percezione soggettiva dello sforzo, confermando il raggiungimento di uno stato di affaticamento elevato nei partecipanti.

I risultati ottenuti evidenziano pertanto una chiara differenza tra la condizione di riposo e quella di affaticamento, confermando l'influenza negativa della fatica sulla precisione esecutiva dei colpi da fondocampo.

Per una rappresentazione visiva delle differenze osservate tra le due condizioni sperimentali, nella Figura 1 viene riportato il confronto dei punteggi ottenuti dai partecipanti prima e dopo il protocollo di affaticamento.

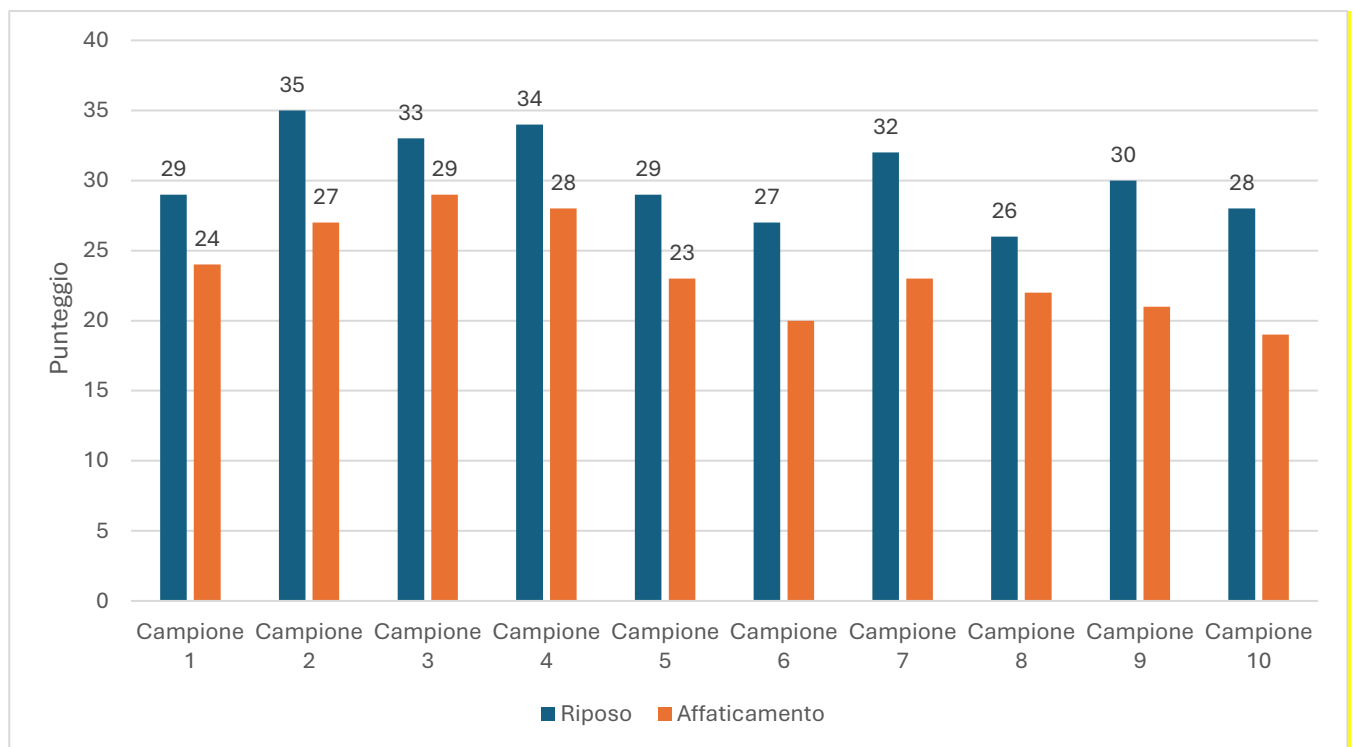


Figura 1. Confronto dei punteggi ottenuti nel test di precisione in condizioni di riposo e dopo il protocollo di affaticamento.

4.4 ANALISI DELLE VARIAZIONI PERCENTUALI DELLA PRESTAZIONE

Per valutare in maniera più approfondita l'effetto del protocollo di affaticamento sulla precisione dei colpi da fondocampo, è stata calcolata la variazione del punteggio ottenuto da ciascun partecipante tra la condizione di riposo e quella di affaticamento.

Il Campione 1 ha mostrato una riduzione di 5 punti, passando da 29 a 24 punti (-17,2%). Il Campione 2 ha evidenziato una riduzione di 8 punti, passando da 35 a 27 punti (-22,9%). Il Campione 3 ha registrato una riduzione di 4 punti (-12,1%), mentre il Campione 4 ha mostrato una diminuzione di 6 punti (-17,6%). Il Campione 5 ha evidenziato una riduzione di 6 punti, passando da 29 a 23 punti (-20,7%). Il Campione 6 ha registrato una riduzione di 7 punti (-25,9%), il Campione 7 di 9 punti (-28,1%), il Campione 8 di 4 punti (-15,4%), il Campione 9 di 9 punti (-30,0%) e il Campione 10 di 9 punti (-32,1%).

Tutti i partecipanti hanno manifestato un peggioramento della prestazione tecnica in seguito al protocollo di affaticamento. La riduzione media del punteggio è risultata pari a $6,7 \pm 2,00$ punti, corrispondente a una diminuzione percentuale media del $22,2 \pm 6,7\%$ rispetto alla condizione di riposo.

L'analisi statistica mediante test t per campioni appaiati ha evidenziato una differenza statisticamente significativa tra le due condizioni sperimentali ($t = 10,58$; $p < 0,001$). Inoltre, il calcolo della dimensione dell'effetto (Cohen's $d = 3,35$) ha evidenziato un effetto molto elevato, indicando che il protocollo di affaticamento ha determinato una marcata riduzione della precisione dei colpi da fondocampo.

Parallelamente, l'aumento dei valori di frequenza cardiaca e della percezione soggettiva dello sforzo ha confermato il raggiungimento di uno stato di affaticamento elevato. In particolare, la frequenza cardiaca media è passata da $90,2 \pm 5,94$ bpm nella condizione di riposo a $180,3 \pm 6,18$ bpm nella condizione di affaticamento, mentre il valore medio della Scala di Borg è aumentato da $10,9 \pm 1,20$ a $16,1 \pm 0,88$ punti.

PARTECIPANTE	RIDUZIONE PUNTI	RIDUZIONE %
Campione 1	-5	-17,2%
Campione 2	-8	-22,9%
Campione 3	-4	-12,1%
Campione 4	-6	-17,6%
Campione 5	-6	-20,7%
Campione 6	-7	-25,9%
Campione 7	-9	-28,1%
Campione 8	-4	-15,4%
Campione 9	-9	-30,0%
Campione 10	-9	-32,1%
MEDIA	-6,7 ± 2,00	-22,2 ± 6,7%

Tabella 6: Variazione assoluta e percentuale del punteggio ottenuto dai partecipanti tra la condizione di riposo e la condizione di affaticamento.

Tali risultati evidenziano una riduzione della precisione esecutiva associata a un incremento dello stato di affaticamento fisiologico e percettivo nei partecipanti esaminati.

5.DISCUSSIONE

Come si evince dai risultati riportati nel Capitolo 4, la fatica ha determinato una riduzione della precisione dei colpi da fondocampo in tutti i partecipanti esaminati. In particolare, Il punteggio medio ottenuto nel test di precisione è passato da $30,3 \pm 3,06$ punti nella condizione di riposo a $23,6 \pm 3,41$ punti nella condizione di affaticamento, evidenziando una riduzione media di $6,7 \pm 2,00$ punti, pari a circa il 22,2%. L'analisi statistica ha evidenziato una differenza significativa tra le due condizioni sperimentali ($p < 0,001$), mentre la dimensione dell'effetto (Cohen's $d = 3,35$) ha confermato il marcato impatto del protocollo di affaticamento sulla precisione dei colpi da fondocampo.

Negli ultimi anni la fatica nel tennis è stata oggetto di numerose ricerche scientifiche, in quanto rappresenta uno dei principali fattori in grado di influenzare la prestazione durante il gioco. I risultati ottenuti nel presente studio confermano quanto riportato in letteratura, suggerendo che la capacità di mantenere elevati livelli di precisione e controllo tecnico nonostante l'insorgenza dell'affaticamento

rappresenti un elemento determinante per la prestazione nel tennis competitivo (Mendez-Villanueva et al., 2007).

Tuttavia, studiare gli effetti della fatica in condizioni che riproducano fedelmente il contesto di gara presenta ancora diverse difficoltà (Lyons et al., 2013).

A questo proposito, uno studio di Hornery et al. del 2007 ha evidenziato alcuni limiti metodologici ricorrenti nella letteratura: molti studi hanno analizzato solo una parte delle abilità motorie coinvolte nella prestazione tennistica, hanno utilizzato strumenti di valutazione poco sensibili o caratterizzati da un'elevata variabilità, hanno indotto la fatica attraverso protocolli non specifici per il tennis e, infine, hanno prodotto livelli di affaticamento non rappresentativi di quelli osservati durante una partita.

Nonostante queste criticità, comprendere come la fatica influenzi la prestazione rimane un obiettivo fondamentale della ricerca, poiché può fornire indicazioni utili sia per l'allenamento sia per la preparazione alla competizione (Mendez-Villanueva et al., 2007).

Tra i vari studi presenti in letteratura, quello di Lyons et al. ha cercato di approfondire gli effetti della fatica sulla precisione dei colpi da fondocampo. Lo studio ha coinvolto un campione composto da 13 tennisti esperti e 17 tennisti non esperti, sia di sesso maschile che femminile. I risultati hanno evidenziato una diminuzione della precisione dei colpi in entrambi i gruppi, indipendentemente dal sesso e dal livello di esperienza dei partecipanti. In particolare, nei tennisti esperti è stata osservata una riduzione della precisione pari al 40,3%, mentre nei tennisti non esperti la diminuzione ha raggiunto il 49,6% in seguito a esercizi ad alta intensità. Questi risultati confermano come l'affaticamento possa influenzare negativamente la capacità di mantenere elevati livelli di precisione durante l'esecuzione dei colpi.

In una review condotta da Hornery et al. (2007), invece, è stato analizzato l'effetto della fatica sulla prestazione tennistica, con particolare attenzione alla velocità dei colpi, alla precisione e alla qualità complessiva del gioco. Gli autori hanno evidenziato come la maggior parte degli studi presenti in letteratura mostri una relazione tra l'aumento della fatica e una riduzione delle prestazioni tecniche, in particolare per quanto riguarda la velocità e la precisione dei colpi.

Tuttavia, la review mette in evidenza anche alcune importanti limitazioni metodologiche. Uno dei principali problemi riguarda infatti i protocolli utilizzati per indurre la fatica, spesso poco rappresentativi delle reali richieste fisiologiche del tennis. In molti studi l'affaticamento veniva provocato mediante esercizi come corsa su tapis roulant, ciclismo o test incrementali, modalità che non riproducono completamente le caratteristiche di una partita di tennis. Anche il protocollo

utilizzato nel presente studio, descritto nel Capitolo 3 (Materiali e Metodi), rappresenta inevitabilmente una semplificazione delle condizioni reali di gara.

Inoltre, il livello di affaticamento che un giocatore sperimenta durante una partita può variare notevolmente in funzione di diversi fattori, tra cui il livello dell'avversario, la durata dell'incontro, la superficie di gioco e le condizioni ambientali, come temperatura, umidità e vento. Proprio per la difficoltà di controllare tutte queste variabili, risulta complesso riprodurre in modo completamente realistico la fatica tipica della competizione. Nonostante queste limitazioni, gli studi analizzati concordano nel ritenere che la fatica rappresenti un fattore determinante nella riduzione della prestazione tecnica nel tennis (Hornery et al., 2007).

Nonostante le varie criticità, negli anni si è continuato a studiare il rapporto tra fatica e precisione nel tennis, come nello studio di Lyons et al. che ha cercato di esplorare gli effetti della fatica sulla precisione dei colpi da fondo campo.

Lo studio ha coinvolto 30 tennisti, suddivisi in 13 giocatori esperti e 17 non esperti, comprendendo partecipanti di entrambi i sessi. Per valutare l'effetto della fatica, ogni atleta ha eseguito un test di precisione dei colpi da fondo in tre differenti condizioni sperimentali: a riposo, dopo un protocollo di fatica moderata (70% della frequenza cardiaca massima) e dopo un protocollo di fatica elevata (90% della frequenza cardiaca massima). La precisione veniva misurata attraverso un sistema di punteggio assegnato in base alla capacità di colpire specifiche aree bersaglio del campo.

I risultati hanno evidenziato che la fatica moderata non determinava variazioni significative della precisione rispetto alla condizione di riposo. Al contrario, dopo l'esercizio ad alta intensità si osservava un marcato peggioramento della prestazione tecnica in entrambi i gruppi. Nei tennisti esperti la precisione diminuiva del 40,3%, mentre nei giocatori non esperti la riduzione raggiungeva il 49,6%. Sebbene gli atleti più esperti mantenessero livelli di precisione complessivamente superiori rispetto ai non esperti, la fatica intensa influenzava negativamente la prestazione di entrambi i gruppi, suggerendo che nemmeno l'elevato livello di abilità tecnica è sufficiente a preservare completamente la qualità del gesto quando l'affaticamento diventa elevato.

Un ulteriore elemento interessante emerso dallo studio riguarda l'assenza di differenze significative tra uomini e donne nella risposta alla fatica, indicando che il deterioramento della precisione sembra dipendere principalmente dal livello di affaticamento raggiunto piuttosto che dal sesso dell'atleta. Gli autori ipotizzano che la riduzione della precisione possa essere attribuita sia alla comparsa della fatica neuromuscolare, che compromette il controllo motorio, sia alla maggiore difficoltà nel mantenere elevati livelli di concentrazione e coordinazione durante l'esecuzione del gesto tecnico.

Nonostante i risultati ottenuti, Lyons et al. sottolineano alcune limitazioni dello studio. In particolare, il protocollo utilizzato per indurre la fatica, pur essendo standardizzato, non riproduce completamente le richieste fisiologiche e tecnico-tattiche di una partita reale. Per questo motivo gli autori concludono evidenziando la necessità di sviluppare modelli sperimentali maggiormente rappresentativi delle reali condizioni di gioco, capaci di simulare con maggiore fedeltà le condizioni di gara, al fine di comprendere in modo più accurato gli effetti dell'affaticamento sulla prestazione tennistica.

Successivamente, Bilić et al. (2023) hanno approfondito ulteriormente il rapporto tra affaticamento e prestazione tecnica nel tennis, concentrandosi non sulla precisione dei colpi da fondocampo, bensì sulla precisione del servizio. Lo studio ha coinvolto 21 giovani tennisti agonisti di sesso maschile, con un'età media di circa 12 anni, appartenenti ai migliori livelli del ranking nazionale e internazionale giovanile. L'obiettivo della ricerca era valutare gli effetti di un protocollo di affaticamento ad alta intensità sulla precisione del servizio e sulla capacità di cambio di direzione.

Per indurre la fatica, gli atleti hanno eseguito un 300 m shuttle run, costituito da 15 ripetizioni di 20 metri con cambi di direzione, un protocollo scelto per simulare le elevate richieste metaboliche tipiche del tennis. Prima e dopo il test sono stati valutati sia la precisione del servizio, attraverso un sistema di bersagli prestabiliti, sia l'agilità mediante il T-test. Inoltre, il livello di affaticamento è stato monitorato tramite la scala Rating of Perceived Exertion (RPE), che ha evidenziato un incremento significativo della percezione dello sforzo al termine dell'esercizio.

I risultati hanno mostrato un peggioramento significativo della precisione del servizio dopo il protocollo di fatica. Parallelamente, è stata osservata anche una riduzione della capacità di cambio di direzione, suggerendo che l'affaticamento comprometta non soltanto le capacità fisiche dell'atleta, ma anche la qualità dell'esecuzione tecnica.

I risultati ottenuti da Bilić et al. risultano coerenti con quelli emersi nel presente studio. Sebbene la valutazione abbia riguardato un gesto tecnico differente, ovvero il servizio anziché i colpi da fondocampo, entrambi gli studi evidenziano come l'aumento dell'affaticamento sia associato a una riduzione della precisione esecutiva. Nel presente lavoro, infatti, tutti i partecipanti hanno mostrato una diminuzione del punteggio nel test di precisione dopo il protocollo di affaticamento, confermando che la fatica rappresenta un fattore in grado di influenzare negativamente il controllo motorio e la qualità del gesto tecnico.

Un ulteriore elemento di interesse riguarda il protocollo di affaticamento utilizzato. Sia nello studio di Bilić et al. sia nel presente lavoro sono stati impiegati esercizi caratterizzati da spostamenti rapidi e cambi di direzione tipici del tennis. Questo aspetto suggerisce come protocolli specifici per il tennis possano rappresentare una scelta più appropriata rispetto a metodologie generiche, quali corsa

continua o ciclismo, per studiare gli effetti dell'affaticamento sulla prestazione tecnica e riprodurre in maniera più realistica le richieste fisiche richieste durante una partita.

Questi risultati sono in linea con quelli riportati da Lyons et al. (2013), che avevano osservato una significativa riduzione della precisione dei colpi da fondocampo in seguito a esercizi ad alta intensità. Tuttavia, mentre Lyons et al. avevano confrontato tennisti esperti e non esperti, evidenziando un calo della precisione in entrambi i gruppi, Bilić et al. hanno concentrato la propria attenzione esclusivamente su giovani tennisti agonisti e su un gesto tecnico differente, ovvero il servizio.

Un'ulteriore differenza riguarda il protocollo sperimentale adottato. Lyons et al. hanno indotto la fatica attraverso esercizi svolti a differenti intensità, controllate mediante la frequenza cardiaca (70% e 90% della frequenza cardiaca massima), mentre Bilić et al. hanno utilizzato uno shuttle run ad alta intensità caratterizzato da accelerazioni e cambi di direzione, maggiormente rappresentativi delle richieste motorie tipiche del tennis.

Nonostante le differenze metodologiche e il diverso gesto tecnico analizzato, entrambi gli studi giungono alla stessa conclusione: quando l'affaticamento raggiunge livelli elevati, la precisione della prestazione tecnica diminuisce in maniera significativa. Nel caso di Lyons et al. tale riduzione ha interessato i colpi da fondocampo, mentre nello studio di Bilić et al. ha riguardato il servizio.

Complessivamente, le evidenze disponibili in letteratura rafforzano l'ipotesi che la fatica rappresenti uno dei principali fattori responsabili del deterioramento della prestazione tecnica nel tennis. I risultati ottenuti nel presente studio sembrano confermare questa tendenza, mostrando una riduzione della precisione dei colpi da fondocampo in tutti i partecipanti dopo il protocollo di affaticamento.

Negli ultimi anni, oltre agli aspetti fisiologici dell'affaticamento, la ricerca ha iniziato a dedicare maggiore attenzione al ruolo della fatica mentale nella prestazione degli sport di racchetta. A questo proposito, Ding et al. (2024) hanno pubblicato una revisione sistematica con l'obiettivo di analizzare gli effetti della fatica mentale sulla prestazione negli sport di racchetta, includendo tennis, badminton, squash e tennistavolo. Dall'analisi della letteratura emerge che la fatica mentale è associata a un peggioramento delle abilità tecniche, della precisione dei colpi, della capacità decisionale e dell'attenzione durante la competizione. Gli autori sottolineano come il deterioramento della prestazione non sia attribuibile esclusivamente all'affaticamento muscolare, ma anche alla riduzione delle risorse cognitive disponibili. In particolare, la fatica mentale determina un aumento della percezione dello sforzo, una riduzione dell'efficienza delle funzioni esecutive e una minore capacità di mantenere elevati livelli di concentrazione, aspetti fondamentali negli sport caratterizzati da elevata velocità decisionale, come il tennis.

Le conclusioni della review di Ding et al. trovano conferma nello studio sperimentale di Öztürker et al. (2025), che ha analizzato gli effetti della fatica mentale su 66 tennisti agonisti. Gli autori hanno

indotto l'affaticamento cognitivo mediante il test di Stroop, uno strumento utilizzato per generare un elevato carico mentale attraverso compiti che richiedono attenzione selettiva e controllo esecutivo. Al termine del protocollo, gli atleti hanno eseguito un test di precisione dei colpi da fondo verso specifiche aree bersaglio del campo e sono stati sottoposti a una valutazione delle capacità attentive. I risultati hanno evidenziato una significativa riduzione della precisione dei colpi e delle prestazioni attentive nei soggetti sottoposti al protocollo di fatica mentale rispetto ai gruppi di controllo, dimostrando che anche un affaticamento esclusivamente cognitivo può compromettere la qualità dell'esecuzione tecnica.

Considerati nel loro insieme, i due studi evidenziano come la fatica mentale rappresenti un fattore determinante nella prestazione tennistica. Mentre Ding et al. (2024) forniscono una sintesi delle evidenze disponibili, evidenziando il ruolo della fatica mentale nel peggioramento della prestazione negli sport di racchetta, Öztürker et al. (2025) confermano sperimentalmente tali risultati nel tennis, dimostrando che la riduzione delle capacità attentive si traduce in un peggioramento della precisione dei colpi da fondo. Queste evidenze integrano quanto osservato negli studi di Lyons et al. (2013) e Bilić et al. (2023), nei quali la diminuzione della precisione era stata attribuita principalmente all'affaticamento fisico. Le evidenze scientifiche disponibili suggeriscono che il mantenimento della prestazione tecnica nel tennis dipenda dall'interazione tra componenti fisiologiche e cognitive: se da un lato la fatica neuromuscolare compromette il controllo del gesto tecnico, dall'altro la fatica mentale riduce l'attenzione, il controllo esecutivo e la capacità decisionale, contribuendo anch'essa al deterioramento della precisione dei colpi. Sebbene il presente studio abbia analizzato esclusivamente gli effetti della fatica fisica, tali evidenze suggeriscono che anche i fattori cognitivi potrebbero contribuire alla riduzione della precisione osservata durante situazioni di elevato affaticamento.

Oltre allo sforzo fisico però, esistono altri elementi che possono aumentare il senso di affaticamento sia oggettivo che soggettivo e che quindi in contemporanea compromettono la prestazione e la precisione dei colpi nel tennis: i fattori fisiologici. In letteratura si analizzano in particolare l'ipertermia, l'idratazione e la supplementazione di carboidrati. Durante le partite giocate nei periodi e nelle ore più calde si può notare come l'aumento della temperatura corporea e quindi la disidratazione siano associati a una riduzione della prestazione; quindi, il giocatore per performare si sforza maggiormente e automaticamente diminuisce la precisione dei colpi (Davey et al., 2002; Hornery et al., 2007).

Tra gli studi che hanno approfondito il ruolo dell'idratazione nella prestazione tennistica, un contributo importante è rappresentato dalla review di Kovacs (2008), il cui obiettivo è analizzare le evidenze scientifiche disponibili sugli effetti della disidratazione durante allenamenti e competizioni

di tennis e proporre indicazioni pratiche per una corretta gestione dell'idratazione. L'autore sottolinea come il tennis presenti caratteristiche fisiologiche peculiari rispetto agli sport di endurance: si tratta infatti di uno sport intermittente, caratterizzato da scambi di breve durata intervallati da pause di recupero, ma che può protrarsi per diverse ore, soprattutto durante le competizioni, determinando un importante stress fisiologico. Per questo motivo, le strategie di idratazione sviluppate per gli sport a esercizio continuo non possono essere applicate automaticamente al tennis.

Dall'analisi della letteratura emerge che i tennisti possono perdere oltre 2,5 litri di sudore all'ora, con valori ancora più elevati quando gli incontri vengono disputati in condizioni di caldo e umidità. Una perdita di liquidi superiore al 2% della massa corporea è associata a un aumento della temperatura corporea, della frequenza cardiaca e della percezione dello sforzo, con conseguente riduzione della capacità di mantenere elevate prestazioni fisiche e cognitive. L'autore evidenzia inoltre che la disidratazione non compromette soltanto la resistenza fisica, ma può influenzare negativamente anche attenzione, concentrazione e capacità decisionale, aspetti fondamentali per il mantenimento della qualità tecnica durante una partita di tennis.

Sulla base di queste evidenze, Kovacs sottolinea l'importanza di sviluppare strategie di idratazione personalizzate, adattate alle caratteristiche del singolo atleta, alla velocità di sudorazione, alla durata dell'incontro e alle condizioni ambientali. In particolare, raccomanda di iniziare la partita in uno stato di eu-idratazione e di reintegrare regolarmente i liquidi durante il match, sfruttando le pause tra i game. Nelle competizioni disputate in ambienti caldi viene suggerita l'assunzione di bevande contenenti elettroliti, con un apporto di circa 200-400 mL a ogni cambio di campo, al fine di limitare la disidratazione e mantenere l'equilibrio idro-elettrolitico.

Oltre all'idratazione un altro fattore fisiologico che si è visto negli anni impattare notevolmente sulla fatica e quindi sulla precisione è l'ipoglicemia durante le partite, argomento già molto dibattuto dal 1992 con gli studi di Mitchell et al. che valutava gli effetti positivi dell'integrazione glucidica durante gli sport di endurance (Mitchell et al 1992; Hornery et al., 2007).

Uno degli studi più significativi è quello di Gomes et al. (2013), il cui obiettivo era valutare se la supplementazione di carboidrati durante un incontro di tennis fosse in grado di migliorare la prestazione tecnico-tattica e ritardare la comparsa della fatica. Gli autori partono dal presupposto che, durante incontri particolarmente lunghi, come quelli disputati nei tornei del Grande Slam o in Coppa Davis, la progressiva riduzione delle riserve di glicogeno e la possibile diminuzione della glicemia potrebbero compromettere la capacità di mantenere elevate prestazioni fisiche e tecniche. Tuttavia, la letteratura disponibile riportava risultati contrastanti riguardo all'efficacia dell'integrazione con carboidrati nel tennis.

Lo studio ha coinvolto 12 giovani tennisti agonisti, classificati tra i migliori 50 del ranking nazionale brasiliano. È stato adottato un disegno sperimentale randomizzato, crossover e in doppio cieco, nel quale ciascun atleta ha disputato due incontri simulati della durata di circa 180 minuti. In una condizione i partecipanti assumevano una bevanda contenente carboidrati, mentre nell'altra ricevevano un placebo. Durante entrambe le prove sono stati monitorati numerosi parametri di prestazione, tra cui il numero di game vinti, la durata degli scambi, il numero di colpi per scambio, il tempo effettivo di gioco, gli ace, i doppi falli, la percentuale di prime e seconde di servizio e l'efficacia delle risposte al servizio. Parallelamente venivano rilevati i valori della glicemia prima e durante l'incontro.

I risultati hanno evidenziato che la supplementazione di carboidrati non ha determinato miglioramenti significativi in nessuna delle variabili tecniche analizzate rispetto al placebo. Anche la glicemia è rimasta sostanzialmente stabile durante entrambe le condizioni sperimentali, mostrando soltanto una lieve tendenza a valori più elevati nel gruppo che aveva assunto carboidrati, senza tuttavia raggiungere la significatività statistica. Gli autori ipotizzano che questo risultato possa essere spiegato dalla capacità dell'organismo di mantenere la glicemia entro valori fisiologici durante il match attraverso meccanismi di regolazione endocrina, come l'aumento della produzione epatica di glucosio mediata dall'attivazione del sistema nervoso simpatico.

Nonostante l'assenza di effetti significativi sulla prestazione, Gomes et al. sottolineano che i risultati non consentono di escludere completamente l'utilità della supplementazione con carboidrati nel tennis. Gli autori evidenziano infatti che il protocollo sperimentale simulava un singolo incontro e non riproduceva le condizioni tipiche di un torneo, nelle quali gli atleti possono disputare più partite ravvicinate con tempi di recupero limitati. In tali circostanze, la disponibilità di carboidrati potrebbe assumere un ruolo più rilevante nel favorire il recupero e nel mantenimento della prestazione. Per questo motivo gli autori concludono che sono necessari ulteriori studi per chiarire il reale contributo dell'integrazione glucidica durante competizioni di lunga durata o caratterizzate da incontri ripetuti.

Sebbene il ruolo della disidratazione e della disponibilità di carboidrati nella comparsa della fatica sia stato ampiamente studiato negli ultimi anni, questi aspetti continuano a rappresentare un importante ambito di ricerca nel tennis. A conferma di ciò, nel 2025 è stato pubblicato un *Expert Group Statement* promosso congiuntamente dall'International Tennis Federation (ITF), dall'Association of Tennis Professionals (ATP) e dalla Women's Tennis Association (WTA), con l'obiettivo di raccogliere e sintetizzare le più recenti evidenze scientifiche riguardanti la nutrizione nel tennis ad alto livello (Vicente-Salar et al., 2025). Il documento affronta diversi aspetti della preparazione nutrizionale del tennista, tra cui il fabbisogno energetico, l'idratazione, l'assunzione di carboidrati e l'utilizzo degli integratori. In particolare, gli autori evidenziano come una disidratazione

superiore al 2% della massa corporea possa compromettere la termoregolazione, aumentare la percezione della fatica e influenzare negativamente le capacità cognitive e decisionali durante il gioco. Viene inoltre sottolineata l'importanza di un'adeguata disponibilità di carboidrati prima e durante la competizione, al fine di sostenere il metabolismo energetico, ritardare l'insorgenza della fatica e favorire il mantenimento della prestazione nelle fasi più impegnative dell'incontro. Alla luce delle evidenze disponibili, il documento raccomanda l'adozione di strategie nutrizionali e di idratazione personalizzate, adattate alle caratteristiche dell'atleta, alla durata del match e alle condizioni ambientali.

Le evidenze scientifiche analizzate confermano come la fatica rappresenti uno dei principali fattori in grado di influenzare la prestazione tennistica. Gli studi esaminati hanno evidenziato che l'affaticamento, sia di natura fisica sia mentale, può determinare una riduzione della precisione dei colpi, della qualità dell'esecuzione tecnica e della capacità di mantenere elevati livelli di concentrazione durante il gioco. Inoltre, fattori quali la temperatura ambientale, lo stato di idratazione e la disponibilità energetica possono contribuire ad accentuare gli effetti della fatica, influenzando ulteriormente la prestazione dell'atleta.

I risultati ottenuti nel presente studio risultano in linea con quanto riportato in letteratura. In tutti i partecipanti è stata infatti osservata una riduzione della precisione dei colpi da fondocampo dopo il protocollo di affaticamento, accompagnata da un aumento della frequenza cardiaca e dei valori della Scala di Borg, indicativi di un elevato livello di sforzo percepito. Tali risultati suggeriscono che la fatica possa compromettere la capacità di mantenere un adeguato controllo motorio e una corretta esecuzione del gesto tecnico, determinando una diminuzione della precisione dei colpi.

Alla luce delle evidenze emerse, appare fondamentale che allenatori e preparatori atletici considerino la gestione della fatica come un elemento centrale nella programmazione dell'allenamento. Lo sviluppo di strategie finalizzate a migliorare la resistenza specifica, la capacità di recupero e il mantenimento della qualità tecnica in condizioni di affaticamento potrebbe infatti contribuire a ottimizzare la prestazione durante la competizione.

Nonostante i risultati ottenuti, il presente studio presenta alcune limitazioni. In primo luogo, il numero dei partecipanti ($n = 10$) rimane contenuto e potrebbe limitare la possibilità di generalizzare i risultati all'intera popolazione dei tennisti agonisti. Inoltre, il protocollo sperimentale, pur essendo stato progettato per riprodurre movimenti specifici del tennis, non è in grado di simulare completamente le richieste fisiologiche, tecniche, tattiche e psicologiche di una partita reale. Un ulteriore limite dello studio riguarda l'assenza di una valutazione dell'affidabilità test-retest del protocollo di precisione. Pertanto, non è possibile escludere completamente che una parte della variazione osservata possa essere attribuita anche a un effetto di familiarizzazione con il test, oltre che all'affaticamento indotto

dal protocollo sperimentale. Infine, il test di precisione utilizzato ha valutato esclusivamente la zona di atterraggio della pallina, senza considerare altri parametri della qualità del colpo, quali la velocità di esecuzione, la rotazione impressa alla palla o la precisione del punto d'impatto con la racchetta. L'integrazione di tali parametri in studi futuri potrebbe fornire una valutazione ancora più completa degli effetti dell'affaticamento sulla prestazione tecnica nel tennis. Un ulteriore limite dello studio riguarda l'utilizzo dell'Apple Watch per la rilevazione della frequenza cardiaca. Sebbene tale dispositivo rappresenti uno strumento pratico e facilmente utilizzabile, la letteratura evidenzia che gli smartwatch basati su sensori ottici da polso possono presentare una precisione inferiore rispetto ai dispositivi di riferimento, come l'elettrocardiogramma o la fascia toracica, soprattutto durante esercizi dinamici e ad alta intensità (Wallen et al., 2016; Nelson & Allen, 2019). Nonostante ciò, il dispositivo ha consentito di monitorare in modo semplice e non invasivo la risposta cardiovascolare dei partecipanti durante l'intero protocollo sperimentale. Pertanto, ulteriori studi condotti su campioni più numerosi e attraverso protocolli maggiormente rappresentativi delle reali condizioni di gara potrebbero fornire informazioni aggiuntive sul rapporto tra fatica e precisione nel tennis.

6.CONCLUSIONE

L'obiettivo del presente studio è stato quello di approfondire il rapporto tra fatica e precisione dei colpi da fondocampo nel tennis, analizzando come l'affaticamento possa influenzare la qualità della prestazione tecnica. I risultati ottenuti confermano l'ipotesi iniziale della ricerca, evidenziando come l'insorgenza della fatica sia associata a una riduzione della precisione dei colpi. Tale evidenza suggerisce che il mantenimento della prestazione tecnica non dipenda esclusivamente dalle abilità tecniche dell'atleta, ma anche dalla sua capacità di gestire efficacemente l'affaticamento durante il gioco.

I risultati emersi sono coerenti con quanto riportato dalla letteratura scientifica, che identifica la fatica come uno dei principali fattori responsabili del deterioramento della prestazione nel tennis. Gli studi analizzati hanno infatti evidenziato come l'affaticamento possa compromettere il controllo motorio, la coordinazione e la qualità dell'esecuzione tecnica, determinando una progressiva riduzione della precisione dei colpi durante situazioni di elevato impegno fisico e cognitivo.

Alla luce delle evidenze ottenute, appare evidente come la preparazione del tennista debba comprendere non soltanto lo sviluppo delle capacità tecniche e fisiche, ma anche l'allenamento in condizioni di affaticamento simili a quelle che si verificano durante la competizione. L'inserimento di esercitazioni specifiche che richiedano il mantenimento della precisione in presenza di fatica potrebbe rappresentare una strategia utile per migliorare la capacità dell'atleta di gestire le fasi più

impegnative dell'incontro. Parallelamente, una corretta gestione del recupero, dell'idratazione e della preparazione fisica costituisce un elemento fondamentale per limitare gli effetti negativi della fatica sulla prestazione.

Nonostante le limitazioni del presente studio, legate principalmente alla ridotta numerosità del campione e all'impossibilità di riprodurre completamente le richieste di una partita reale, i risultati ottenuti forniscono un contributo utile alla comprensione del rapporto tra fatica e precisione nel tennis. Saranno necessari ulteriori studi, condotti su campioni più ampi e mediante protocolli sempre più rappresentativi delle reali condizioni di gara, per approfondire ulteriormente i meccanismi attraverso cui la fatica influenza la prestazione tecnica.

In conclusione, la capacità di mantenere un'elevata qualità tecnica durante condizioni di affaticamento rappresenta una componente fondamentale della prestazione tennistica. Comprendere gli effetti della fatica e sviluppare strategie efficaci per gestirla può contribuire non solo al miglioramento della performance, ma anche alla preparazione degli atleti ad affrontare le richieste della competizione con maggiore continuità ed efficacia.

7.BIBLIOGRAFIA

Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev.* 2008 Jan;88(1):287-332. doi: 10.1152/physrev.00015.2007. PMID: 18195089.

Barnett T, Pollard G. How the tennis scoring system affects match outcomes. *J Sports Sci.* 2007;25(11):1203-1208. doi: 10.1080/02640410600908077.

Bilić Z, Sinković F, Barbaros P, et al. Exercise-Induced Fatigue Impairs Change of Direction Performance and Serve Precision among Young Male Tennis Players. *Sports.* 2023;11(6):111. doi:10.3390/sports11060111.

Borg G. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14(5):377-381. PMID: 7154893.

Brody H. Physics of tennis: the spin of a tennis ball. *Am J Phys.* 2006 Jun;74(6):506-512. doi: 10.1119/1.2174036.

Brody H. Physics of the tennis racket. *Sports Eng.* 2006;9(2):79-87. doi: 10.1007/BF02844283.

Cabral S. Notational analysis of tennis strokes in professional matches. *Int J Sports Sci Coach.* 2017;12(4):456-462.

Carroll TJ, Taylor JL, Gandevia SC. Recovery of central and peripheral neuromuscular fatigue after exercise. *J Appl Physiol.* 2017 May 1;122(5):1068-1076. doi: 10.1152/jappphysiol.00775.2016. PMID: 27932676.

Casa DJ, Armstrong LE, Hillman SK, Montain SJ, Reiff RV, Rich BSE, Roberts WO, Stone JA. National Athletic Trainers' Association position statement: fluid replacement for athletes. *J Athl Train*. 2000 Apr-Jun;35(2):212-224. PMID: 16558633.

Crespo M, Miley D. *Advanced coaches manual*. London: International Tennis Federation; 1998.

Cross R, Pollard G. Grand Slam men's singles tennis 1991–2009: serve speeds and other related data. *ITF Coaching and Sport Science Review*. 2009;16(49):8-10.

Davey PR, Thorpe RD, Williams C. Fatigue decreases skilled tennis performance. *J Sports Sci*. 2002 Apr;20(4):311-318. doi: 10.1080/026404102753576080. PMID: 12003276.

Dauids K, Glazier P, Araújo D, Bartlett R. Movement systems as dynamical systems: the functional role of variability and its implications for sports medicine. *Sports Med*. 2003;33(4):245-260. doi: 10.2165/00007256-200333040-00001. PMID: 12688827.

Ding C, Soh KG, Sun H, Abdullah MR, H'ng YY, Mohamad NI. Does mental fatigue affect performance in racket sports? A systematic review. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2024;16:179. doi:10.1186/s13102-024-00963-w.

Elliott B, Reid M, Crespo M. *Technique development in tennis stroke production*. London: International Tennis Federation; 2009.

Elliott B. Biomechanics and tennis. *Br J Sports Med*. 2006 May;40(5):392-396. doi: 10.1136/bjism.2005.023150. PMID: 16632567.

Elliott BC. Biomechanics of the serve in tennis: a biomedical perspective. *Sports Med*. 1988 Nov;6(5):285-294. doi: 10.2165/00007256-198806050-00004. PMID: 3064237.

Enoka RM, Duchateau J. Translating fatigue to human performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2016 Nov;48(11):2228-2238. doi: 10.1249/MSS.0000000000000929. PMID: 27355777.

Fernandez-Fernandez J, Sanz-Rivas D, Mendez-Villanueva A. A review of the activity profile and physiological demands of tennis match play. *Strength Cond J*. 2009 Aug;31(4):15-26. doi: 10.1519/SSC.0b013e3181ada1cb.

Filipic T, Filipic A, Berendijas T. Comparison of game characteristics of male tennis players at different levels of competition. *Kinesiology*. 2010;42(1):55-63.

Fullagar HHK, Skorski S, Duffield R, Hammes D, Coutts AJ, Meyer T. Sleep and athletic performance: the effects of sleep loss on exercise performance, and physiological and cognitive responses to exercise. *Sports Med*. 2015 Feb;45(2):161-186. doi: 10.1007/s40279-014-0260-0. PMID: 25315439.

Furuya S, Nakamura A, Yoshida N, Kinoshita H. Motor control variability and accuracy in expert tennis performance. *J Sports Sci*. 2025;43(2):115-124.

Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev.* 2001 Oct;81(4):1725-1789. doi: 10.1152/physrev.2001.81.4.1725. PMID: 11581501.

Gaoua N. Cognitive function in hot environments: a question of methodology. *Scand J Med Sci Sports.* 2010 Jun;20 Suppl 3:60-70. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01210.x. PMID: 21029186.

Girard O, Micallef JP, Millet GP. Effects of fatigue on tennis performance. *Br J Sports Med.* 2005 Nov;39(11):733-738. doi: 10.1136/bjsm.2005.018168. PMID: 16244186.

Gomes RV, Capitani CD, Ugrinowitsch C, Zourdos MC, Fernandez-Fernandez J, Mendez-Villanueva A, Aoki MS. Does carbohydrate supplementation enhance tennis match play performance? *J Int Soc Sports Nutr.* 2013 Oct 22;10(1):46. doi: 10.1186/1550-2783-10-46. PMID: 24148197; PMCID: PMC3874750.

Groppel JL. The biomechanics of tennis: an overview. *Int J Sport Biomech.* 1986;2(3):141-155.

Hornery DJ, Farrow D, Mujika I, Young W. Fatigue in tennis: mechanisms of fatigue and effect on performance. *Sports Med.* 2007;37(3):199-212. doi: 10.2165/00007256-200737030-00002. PMID: 17326696.

Johnson CD, McHugh MP, Wood T, Kibler WB. Performance demands of professional male tennis players. *Br J Sports Med.* 2006 Aug;40(8):696-699. doi: 10.1136/bjsm.2005.021253. PMID: 16825270.

Kibler WB. Biomechanical analysis of the shoulder during tennis activities. *Clin Sports Med.* 1995 Jan;14(1):79-85. PMID: 7719466.

Klaassen F, Magnus J. Are points in tennis independent and identically distributed? Evidence from a dynamic binary panel data model. *J Am Stat Assoc.* 2001 Mar;96(454):500-509. doi: 10.1198/016214501753168271.

Knudson D. *Fundamentals of biomechanics.* 2nd ed. New York: Springer; 2006.

Kovacs MS. A review of fluid and hydration in competitive tennis. *Int J Sports Physiol Perform.* 2008 Dec;3(4):413-23. doi: 10.1123/ijsp.3.4.413. PMID: 19223668.

Kovacs MS. Tennis physiology: training the competitive athlete. *Sports Med.* 2007;37(3):189-198. doi: 10.2165/00007256-200737030-00001. PMID: 17326695.

Lyons M, Al-Nakeeb Y, Hankey J, Nevill A. The effect of moderate and high-intensity fatigue on groundstroke accuracy in expert and non-expert tennis players. *J Sports Sci Med.* 2013 Jun 1;12(2):298-308. PMID: 24149809; PMCID: PMC3761827.

Marcora SM. Do we really need a central governor to explain brain regulation of exercise performance? *Eur J Appl Physiol.* 2008 Oct;104(5):929-931. doi: 10.1007/s00421-008-0818-3. PMID: 18607688.

Mendez-Villanueva A, Fernandez-Fernandez J, Bishop D. Exercise-induced homeostatic perturbations provoked by singles tennis match play with reference to development of fatigue. *Br J Sports Med*. 2007 Nov;41(11):717-22; discussion 722. doi: 10.1136/bjsm.2007.037259. PMID: 17957005; PMCID: PMC2465283.

Mitchell JB, Cole KJ, Grandjean PW, Sobczak RJ. The effect of a carbohydrate beverage on tennis performance and fluid balance during prolonged tennis play. *J Appl Sport Sci Res*. 1992;6(2):96-102.

Nelson BW, Allen NB. Accuracy of consumer wearable heart rate measurement during an ecologically valid 24-hour period: intraindividual validation study. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2019 Mar 11;7(3):e10828. doi: 10.2196/10828.

Nybo L, Rasmussen P, Sawka MN. Performance in the heat—physiological factors of importance for hyperthermia-induced fatigue. *Compr Physiol*. 2014 Apr;4(2):657-689. doi: 10.1002/cphy.c130012. PMID: 24715563.

O'Donoghue P, Ingram B. A notational analysis of elite tennis strategy. *J Sports Sci*. 2001 Feb;19(2):107-115. doi: 10.1080/026404101300036299. PMID: 11217009.

O'Donoghue P. The most important points in grand slam singles tennis. *Res Q Exerc Sport*. 2002;73(2):125-131. doi: 10.1080/02701367.2002.10609005.

Oksa J. Neuromuscular performance limitations in cold. *Int J Circumpolar Health*. 2002;61(2):154-162. doi: 10.3402/ijch.v61i2.17474. PMID: 12136841.

Paillard T. Effects of general and local fatigue on postural control: a review. *Neurosci Biobehav Rev*. 2012 Jan;36(1):162-176. doi: 10.1016/j.neubiorev.2011.05.009. PMID: 21645543.

Pellett TL, Lox CL. Notational analysis of international junior and senior tennis. *J Hum Mov Stud*. 1997;32:263-276.

Racinais S, Alonso JM, Coutts AJ, Flouris AD, Girard O, González-Alonso J, Hausswirth C, Jay O, Lee JK, Mitchell N, Nassis GP, Nybo L, Sawka MN, Wingo JE, Périard JD. Consensus recommendations on training and competing in the heat. *Br J Sports Med*. 2015 Sep;49(18):1164-1173. doi: 10.1136/bjsports-2015-094915. PMID: 26105030.

Racinais S, Oksa J. Temperature and neuromuscular function. *Scand J Med Sci Sports*. 2010 Oct;20 Suppl 3:1-18. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01204.x. PMID: 21029181.

Reid M, Duffield R. The development of fatigue during match-play tennis. *Br J Sports Med*. 2014 Apr;48 Suppl 1:i7-i11. doi: 10.1136/bjsports-2013-093196. PMID: 24668384.

Reid M, Elliott B. The biomechanics of the tennis backhand. *Sports Biomech*. 2002;1(1):47-63. doi: 10.1080/14763140208522786.

Ridhwan M, Hassan A, Tan F. Notational analysis of elite tennis performance. *Int J Perform Anal Sport*. 2010;10(3):260-269. doi: 10.1080/24748668.2010.11868518.

Schoenborn R. *Advanced techniques for competitive tennis*. Champaign (IL): Human Kinetics; 2002.

Shangguan R, Zhang Z, Liu H. Kinematic analysis of tennis forehand stroke based on different skill levels. *J Sports Sci Med*. 2018;17(3):453-459. PMID: 30116120.

Smekal G, von Duvillard SP, Rihacek C, Pokan R, Hofmann P, Baron R, et al. A physiological profile of tennis match play. *Med Sci Sports Exerc*. 2001 Jun;33(6):999-1005. doi: 10.1097/00005768-200106000-00020. PMID: 11404664.

Smith MR, Marcora SM, Coutts AJ. Mental fatigue impairs intermittent running performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2018 Jan;50(1):168-175. doi: 10.1249/MSS.0000000000001402. PMID: 28777149.

Thomas JR, Nelson JK, Silverman SJ. *Research Methods in Physical Activity*. 7th ed. Champaign (IL): Human Kinetics; 2015.

Tornero-Aguilera JF, Rubio-Zarapuz A, Clemente-Suárez VJ. Central and peripheral fatigue in physical exercise explained: a narrative review. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Mar 24;19(7):3909. doi: 10.3390/ijerph19073909. PMID: 35409644.

Vacek P, Tufano JJ, Kobal R, et al. Effects of expertise on tennis stroke accuracy and variability. *Appl Sci*. 2023;13(6):3586. doi: 10.3390/app13063586.

Vicente-Salar N, Crespo Celda M, Pluim BM, Fernández-Fernández J, Stroia K, Ellenbecker T, Sanz D, Del Coso J, Moreno-Pérez V, Hainline B, López-Samanes Á, LaRoche J, Parker-Simmons S, van Reijen M, Reid M, Duffield R, Girard O, Love P, Broad E, Halson S, Ruiz-Cotorro A, Sanz-Quinto S, Ruiz-Cotorro Á Jr, Sánchez Pay A, Burke LM. International Tennis Federation (ITF), Women's Tennis Association (WTA) and Association of Tennis Professionals (ATP) Expert Group Statement on Nutrition for High-Performance Tennis: Current Evidence to Inform Practical Recommendations and Guide Future Research. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2025;35(6):557-594. doi:10.1123/ijsnem.2025-0001.

Vitale JA, Bonato M, La Torre A, Banfi G. The role of sleep in sports performance and recovery. *Eur J Appl Physiol*. 2019 Mar;119(3):673-690. doi: 10.1007/s00421-018-4045-2. PMID: 30610426.

Walker MP. A refined model of sleep and the time course of memory formation. *Behav Brain Sci*. 2005 Feb;28(1):51-64. doi: 10.1017/S0140525X05000026. PMID: 16047457.

Wallen MP, Gomersall SR, Keating SE, Wisløff U, Coombes JS. Accuracy of heart rate watches: implications for weight management. *PLoS One*. 2016;11(5):e0154420. doi: 10.1371/journal.pone.0154420.

Weber K, Exler T, Marx A. Notational analysis of elite tennis match-play. *ITF Coaching and Sport Science Review*. 2007;15(46):5-7.

Weinberg RS, Gould D. *Foundations of sport and exercise psychology*. 5th ed. Champaign (IL): Human Kinetics; 2011.

Öztürker C, Özsoy H, Yıldız K, Cengiz F. Impact of mental fatigue on tennis players' attention and groundstroke targeting performance. *Front Psychol*. 2025;16:1544785.

doi:10.3389/fpsyg.2025.1544785.

8. SITOGRAFIA

FisioScience. Scala di Borg: cos'è e come si utilizza. Disponibile su:

<https://www.fisioscience.it/blog/scala-di-borg/> (consultato il 12/06/2026).