



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Biomedica

Monitoraggio cardiaco e biomeccanico nel gioco del calcio
Cardiac and biomechanical monitoring in football

Relatrice:

Prof.ssa Laura Burattini

Co-relatrice:

Sofia Romagnoli

Candidato:

Federico Fragolette

Anno Accademico 2022/2023

Abstract

Questa revisione presenta un'indagine approfondita sul monitoraggio cardiaco e biomeccanico nell'ambito del calcio professionistico, concentrandosi sull'importante connessione tra la salute cardiovascolare e le prestazioni atletiche. Nel calcio moderno, gli atleti si trovano di fronte a crescenti pressioni fisiche e psicologiche, il che rende cruciale una valutazione accurata delle loro condizioni fisiche. L'obiettivo principale di questa tesi è analizzare come il monitoraggio cardiaco e biomeccanico possa essere utilizzato per migliorare sia la salute che le prestazioni dei calciatori. Il monitoraggio cardiaco si concentra sull'uso di dispositivi per registrare parametri vitali come la frequenza cardiaca, la variabilità della frequenza cardiaca e l'elettrocardiogramma durante l'allenamento e le partite. Questi dati forniscono informazioni preziose sulla risposta fisiologica degli atleti allo sforzo e consentono una migliore gestione del carico di lavoro, prevenendo il sovrallenamento e riducendo il rischio di lesioni. La parte biomeccanica dello studio esamina l'analisi del movimento degli atleti attraverso l'uso di sistemi di rilevamento del movimento. Questi strumenti forniscono dettagli sulle dinamiche del movimento e sulle forze esercitate durante il gioco. L'analisi biomeccanica aiuta a identificare modelli di movimento ottimali, contribuendo al perfezionamento delle abilità tecniche e al miglioramento delle performance. Attraverso una revisione della letteratura scientifica, questa tesi dimostra che il monitoraggio cardiaco e biomeccanico può avere un impatto significativo sulla prevenzione delle lesioni, sull'ottimizzazione dell'allenamento e sul miglioramento delle performance atletiche. Le informazioni raccolte da questi metodi possono essere utilizzate per personalizzare i piani di allenamento e migliorare la preparazione fisica degli atleti, contribuendo così a preservare la loro salute a lungo termine e ad ottenere risultati sportivi di successo.

INDICE

Introduzione	I
Metodi	3
Capitolo 1: Fondamenti del Monitoraggio Cardiaco e Biomeccanico	4
1.1 Concetti fondamentali del monitoraggio cardiaco nel calcio	4
1.2 Principali parametri fisiologici monitorati	6
1.3 Strumenti e tecnologie di monitoraggio cardiaco nel calcio	9
1.4 Concetti fondamentali del monitoraggio biomeccanico nel calcio	10
1.5 Parametri biomeccanici monitorati	11
1.6 Strumenti e tecnologie di monitoraggio biomeccanico nel calcio	13
Capitolo 2: Applicazioni del Monitoraggio Cardiaco nel Calcio	15
2.1 Cenni storici dell'uso del monitoraggio cardiaco nel calcio	15
2.2 Valutazione dell'intensità dell'allenamento e del carico di lavoro	18
2.3 Monitoraggio della condizione fisica e del recupero	19
<u>2.3.1. Assunzione nutrizionale</u>	19
<u>2.3.2. Immersione in acqua fredda</u>	21
<u>2.3.3. Effetto del sonno</u>	22
<u>2.3.4. Recupero attivo</u>	24
<u>2.3.5. Stretching</u>	26
<u>2.3.6. Indumenti a compressione</u>	26
<u>2.3.7. Massaggio</u>	27
<u>2.3.8 Stimolazione elettrica</u>	28
2.4 Controllo della frequenza cardiaca durante le partite	30
2.5 Prevenzione dei rischi per la salute degli atleti	33

Capitolo 3: Applicazioni del Monitoraggio Biomeccanico nel Calcio	36
3.1 Analisi della tecnica di movimento dei calciatori.....	36
3.2 Valutazione delle prestazioni dei giocatori nel contesto di gioco	39
3.3 Rilevamento e prevenzione delle lesioni attraverso l'analisi del movimento.....	40
Capitolo 4: Pubblicazioni scientifiche incluse nella revisione.....	44
Conclusione.....	III
Bibliografia	V
Ringraziamenti.....	IX

Introduzione

Il calcio, noto in molte parti del mondo come "fùtbol", rappresenta uno degli sport più popolari e seguiti globalmente. La sua crescente evoluzione ha portato ad un incremento dell'attenzione verso l'ottimizzazione delle prestazioni degli atleti e la prevenzione degli infortuni. In questo contesto, il monitoraggio cardiaco e biomeccanico si sono rivelati strumenti cruciali per ottenere una comprensione più profonda e accurata delle dinamiche fisiologiche e muscoloscheletriche che caratterizzano l'attività calcistica.

L'obiettivo principale di qualsiasi squadra di calcio è quello di ottenere il massimo livello di prestazioni in campo, ottenendo vittorie e successi. Tuttavia, per raggiungere questo obiettivo, è essenziale comprendere il ruolo chiave che svolgono sia i fattori cardiocircolatori che quelli biomeccanici nel determinare il successo di un giocatore e di una squadra nel suo complesso. Il calcio è un gioco dinamico che richiede una combinazione di resistenza, velocità, forza e agilità, il che pone elevate esigenze sul sistema cardiorespiratorio e sul sistema muscoloscheletrico degli atleti.

Negli ultimi anni, c'è stata una crescente consapevolezza dell'importanza del monitoraggio continuo dei parametri cardiaci durante l'allenamento e le partite. La frequenza cardiaca, in particolare, offre un'indicazione preziosa dell'intensità dell'attività fisica e dell'adattamento fisiologico degli atleti. Il monitoraggio cardiaco non solo aiuta gli allenatori a modulare l'intensità dell'allenamento in base agli obiettivi individuali e di squadra, ma può anche rilevare segnali di affaticamento precoce o sovrallenamento, riducendo così il rischio di lesioni e migliorando le performance.

Parallelamente al monitoraggio cardiaco, il monitoraggio biomeccanico sta guadagnando terreno come strumento chiave per comprendere i modelli di movimento e le forze muscolari coinvolte durante le diverse fasi del gioco. L'utilizzo di sensori inerziali e piattaforme di analisi del movimento consente di acquisire dati sulle velocità, gli angoli delle articolazioni, le accelerazioni e le decelerazioni, fornendo un quadro dettagliato della biomeccanica del giocatore. Queste informazioni possono essere utilizzate per ottimizzare la tecnica individuale, identificare potenziali punti di forza e debolezza, e sviluppare strategie di allenamento specifiche.

Nella presente tesi, esploreremo l'interconnessione tra il monitoraggio cardiaco e biomeccanico nel contesto del calcio. Attraverso una revisione della letteratura, analizzeremo studi precedenti che hanno esaminato l'effetto dell'intensità dell'allenamento sulla frequenza cardiaca degli atleti e come quest'ultima si correla alle variabili biomeccaniche. Inoltre, esamineremo l'uso delle tecnologie

emergenti nel monitoraggio cardiaco e biomeccanico e discuteremo le implicazioni pratiche di tali approcci per gli allenatori, i preparatori fisici e gli atleti stessi.

Metodi

Database e strategia di ricerca

È stata condotta una revisione della letteratura attraverso il database elettronico PubMed.

La seguente query di ricerca è stata utilizzata per individuare le pubblicazioni scientifiche da analizzare

- (soccer) AND (heart rate monitoring OR recovery OR sensors OR biomechanical monitoring).

Criteri di inclusione ed esclusione

Sono stati considerati solamente gli articoli con titolo, abstract e testo completo. Inoltre, sono stati presi articoli con data di pubblicazione compresa tra gennaio del 2000 e settembre del 2023.

È stata considerata una popolazione di qualsiasi età e di entrambi i sessi.

Non sono stati presi in considerazione articoli che non facessero riferimento al calcio.

Articoli con contenuti relativi al consumo di farmaci sono stati esclusi.

Selezione degli articoli

La ricerca su PubMed ha portato 1740 articoli. Di questi articoli 1352 sono stati esclusi durante lo screening dei titoli, 224 sono stati esclusi durante lo screening degli abstract, 109 sono stati esclusi durante lo screening del testo intero. Perciò sono stati selezionati 55 articoli per tale revisione della letteratura riguardante il monitoraggio cardiaco e biomeccanico nel gioco del calcio.

Capitolo 1: Fondamenti del Monitoraggio Cardiaco e Biomeccanico

1.1 Concetti fondamentali del monitoraggio cardiaco nel calcio

La frequenza cardiaca (FC) è il parametro fisiologico più comune utilizzato nel calcio in quanto è stato convalidato come indicatore del carico di lavoro in diversi tipi di esercizi e sessioni di allenamento. In generale, mentre si effettuano confronti individuali, una frequenza cardiaca inferiore è correlata a un miglior livello di forma fisica nel giocatore testato. Infatti, durante l'esercizio significherebbe che per una data intensità o a riposo, il cuore non avrebbe bisogno di battere così velocemente a causa di una migliore efficienza dei meccanismi di pompaggio come un aumento della gittata sistolica, ipertrofia del muscolo cardiaco e/o un miglioramento dei meccanismi di trasporto dell'ossigeno. Allo stesso modo, durante il post-esercizio, significherebbe che il giocatore recupera più velocemente da una data intensità di esercizio. Nell'ambito della misurazione della FC, anche i cambiamenti nella variabilità della frequenza cardiaca sono stati esaminati e rivisti da diversi autori come uno strumento pratico e rilevante per monitorare il training load (TL) e la fatica negli atleti. La variabilità della frequenza cardiaca (HRV) può essere misurata dalla variazione degli intervalli R-R su un elettrocardiogramma. Ad esempio, l'HRV è rappresentato in un dominio del tempo in millisecondi o in un dominio della frequenza, che è la frequenza alla quale cambia la lunghezza dell'intervallo R-R. In questo dominio di frequenza, il contributo dell'attività parasimpatica prevale nei picchi di potenza ad alta frequenza (HF) (0,15-0,40 Hz), e sia il sistema simpatico che quello parasimpatico contribuiscono ai picchi di potenza a bassa frequenza (LF) (0,04-0,15 Hz). Il rapporto LF:HF è un altro indice per misurare l'HRV per riflettere la reattività autonoma, con valori elevati di questo rapporto che riflettono la dominanza simpatica. La radice quadrata della media della somma dei quadrati delle differenze tra intervalli R-R normali adiacenti (rMSSD) è il normale indice correlato all'attività parasimpatica cardiaca in quanto non è influenzato dalla respirazione. Un altro indice usuale calcolato come indice HRV

correlato al vagale è la deviazione standard (SD) della variabilità istantanea dell'intervallo R-R da battito a battito, che può essere misurata dai grafici di Poincaré (Fig.1.1) [3].

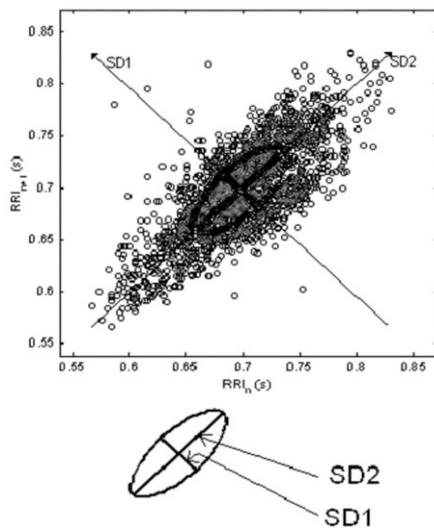


Fig. 1.1: Il diagramma di Poincaré. SD1 e SD2 - deviazioni standard del diagramma di dispersione [13].

1.2 Principali parametri fisiologici monitorati

Le misure di carico interno sono state raggruppate in base alla loro tipologia:

- Frequenza cardiaca

La frequenza cardiaca (FC) è il numero di battiti cardiaci al minuto (bpm) e il suo monitoraggio è diventato un metodo popolare per il controllo dell'allenamento misurando l'intensità dell'esercizio [2].

• *Medie e picchi*

La frequenza cardiaca media (HRMEAN) è determinata in valori assoluti (bpm) e relativi (%FCMAX). Inoltre, viene anche misurata la frequenza cardiaca di picco (HRPEAK) in valori relativi (%FCMAX) per valutare l'intensità delle sessioni di allenamento [2].

• *Zone di intensità*

Le zone di intensità corrispondono alla divisione della FC per zone di intensità, misurando il tempo di attività per zona. Diversi studi valutano questa misura, per lo più in valori assoluti (min). Wrigley [46] ha delimitato la valutazione della FC in sei zone: <50% FC_{MAX}, da 51% a 60% FC_{MAX}, da 61% a 70% FC_{MAX}, da 71% a 80% FC_{MAX}, da 81% a 90% FC_{MAX} e >90% FC_{MAX} (Fig.1), mentre Geurkink [47] ha valutato le stesse zone con l'eccezione di <50% FC_{MAX}. Abade [48] e Coutinho [49] hanno suddiviso l'analisi della FC in quattro zone: <75% FC_{MAX}, dal 75% all'84,9% FC_{MAX}, dall'85% all'89,9% FC_{MAX} e ≥90% FC_{MAX}. Zurutuza [50] ha differenziato tre zone di intensità: dal 50% all'80% FC_{MAX}, dall'80% al 90% FC_{MAX} e >90% FC_{MAX}. Campos-Vázquez [51] ha quantificato solo il tempo di attività superiore all'80% FC_{MAX}, Fullagar [52] ha misurato esclusivamente il tempo di attività superiore all'85% FC_{MAX}, mentre Akenhead [53], Campos-Vázquez [54] e Stevens [34] hanno analizzato solo l'attività tempo superiore al 90% FC_{MAX}. D'altra parte, Silva [1] ha misurato questa misura in valori assoluti (min) e relativi (%min), dividendo l'intensità in tre zone: >70%FC_{MAX}, >80%FC_{MAX} e >85%FC_{MAX} [2].

Training Zone			Benefici/effetti del training	Possibile durata
ZONA	5	Massima Intensità	90% - 100% della FCMax: altissima intensità. Migliora la prestazione massima e la velocità. Migliora la velocità massima di sprint. CONSIGLIATO PER: resistenza anaerobica e potenza muscolare.	0 - 2 minuti
ZONA	4	Zona Anaerobica	80% - 89% della FCMax: migliora la resistenza alle alte velocità e le prestazioni massime. Consente di innalzare la propria soglia anaerobica. CONSIGLIATO PER: allenamento potenza e miglioramento massime prestazioni.	2 - 10 minuti
ZONA	3	Zona Aerobica	70% - 79% della FCMax: migliora la condizione aerobica e ritarda la fatica causata dall'acido lattico. Espande i vasi sanguigni, aumenta la capacità polmonare e rinforza il muscolo cardiaco permettendo allenamenti più lunghi. CONSIGLIATO PER: resistenza.	10 - 40 minuti
ZONA	2	Controllo del Peso	60% - 69% della FCMax: aumenta l'efficienza con cui grassi e carboidrati sono usati come fonti energetiche. Prepara il corpo ad allenamenti più intensi. CONSIGLIATO PER: dimagrimento.	40 - 80 minuti
ZONA	1	Intensità Moderata	50% - 59% della FCMax: migliora la circolazione sanguigna, aiutando ad avere un cuore sano e a recuperare dopo allenamenti intensi. CONSIGLIATO PER: riscaldamento e defaticamento.	A lungo
ZONA	0	Riposo	meno del 50% della FCMax: riposo	Molto a lungo

Fig. 1.2: Divisione della frequenza cardiaca in sei zone

- Biomarcatori

Il termine "biomarcatore", si riferisce a un'ampia sottocategoria di segni medici che possono essere misurati in modo accurato e riproducibile. Una joint venture sulla sicurezza chimica, il Programma internazionale sulla sicurezza chimica, guidato dall'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) e in coordinamento con le Nazioni Unite e l'Organizzazione internazionale del lavoro, ha definito un biomarcatore come "qualsiasi sostanza, struttura o processo che possono essere misurati nel corpo o nei suoi prodotti e influenzare o prevedere l'incidenza di un esito o di una patologia" [2].

Andiamo adesso a vedere i principali biomarcatori:

- *Sangue*

Il lattato prodotto durante gli esercizi ad alta intensità viene simultaneamente ossidato o trasportato dai luoghi di produzione a vari tessuti come cuore, fegato, reni e fibre muscolari per una successiva ossidazione, quindi questo biomarcatore è stato utilizzato per misurare lo stress fisiologico imposto sui calciatori. La concentrazione di lattato nel sangue (BLa) è stata proposta come misura della forma fisica di resistenza, ma anche come mezzo per standardizzare l'intensità dell'allenamento (Fig.2). L'intensità dell'esercizio allo stato stazionario che suscita una concentrazione di lattato di circa 4 mmol/L è stata suggerita come la più favorevole per indurre adattamenti fisiologici ottimali per eventi di resistenza; tuttavia, il numero di fattori che influenzano il modo in cui il lattato si accumula, indipendentemente dall'intensità dell'esercizio, rende meno definitiva l'importanza della soglia del lattato,

limitando così la sua utilità nel monitoraggio e nella prescrizione dell'intensità dell'allenamento.

La creatina chinasi (CK), o creatina fosfochinasi (CPK), è un enzima importante nel metabolismo energetico del muscolo scheletrico, che di solito è presente nel sangue solo in piccole concentrazioni. Nel calcio, questo marcatore biologico viene utilizzato come misura del danno muscolare. Wiig [31] ha raccolto campioni di sangue 1 ora prima e 1 ora, 2 ore, 48 ore e 72 ore dopo la fine della partita, dopo aver analizzato la concentrazione di CK. Oliveira [18] ha misurato la concentrazione di CK nel plasma 48 ore prima della competizione.

La mioglobina, una proteina globulare contenente eme, si trova in abbondanza nelle cellule dei miociti del cuore e del muscolo scheletrico ed è spesso indicata come una molecola di immagazzinamento dell'ossigeno o come una riserva extra di ossigeno [2].

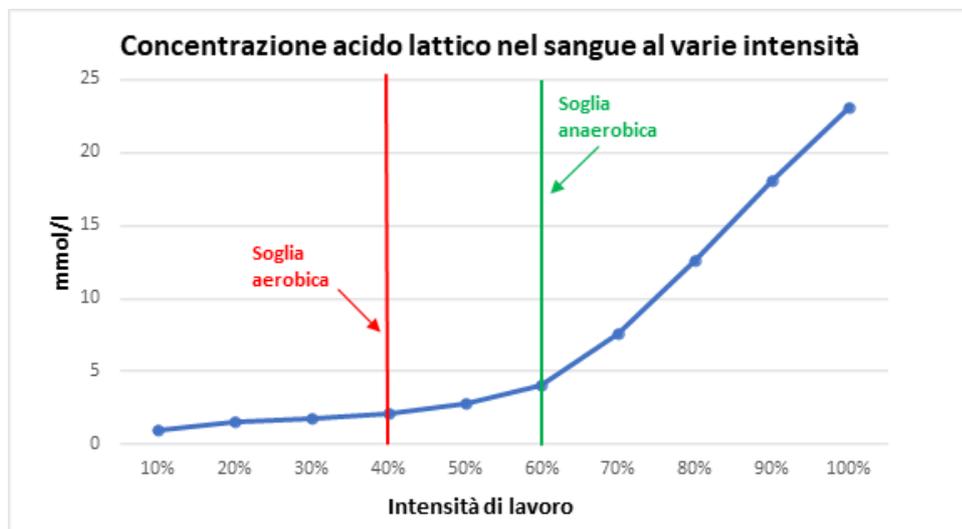


Fig. 1.3: Relazione tra concentrazione di lattato nel sangue ed intensità di lavoro

- *Saliva*

Il campionamento della saliva si è rapidamente sviluppato come strumento per la valutazione dei biomarcatori associati alle prestazioni fisiche. La partecipazione ad attività ad alta intensità, con elevate richieste e/o volume per un lungo periodo, può causare riduzioni delle concentrazioni di immunoglobuline salivari (SIgA). SIgA può essere utilizzato come ulteriore strumento oggettivo nel monitoraggio dell'allenamento e nella quantificazione del carico di lavoro, al fine di evitare infezioni nel tratto respiratorio superiore (URTI) [2].

1.3 Strumenti e tecnologie di monitoraggio cardiaco nel calcio

Il carico di lavoro è stato definito come il prodotto del volume e dell'intensità dell'allenamento e classificato in carico di lavoro interno (stress fisiologico) ed esterno (stimoli fisici). Il monitoraggio dei carichi di allenamento interni ed esterni è fondamentale per gli allenatori per progettare il carico ottimale e le esigenze di recupero e, in definitiva, per valutare gli effetti dell'allenamento in termini di cambiamenti indotti nella fatica e nella forma fisica all'interno degli stessi individui. L'importanza di monitorare gli atleti nel corso di una stagione può anche essere giustificata dal fatto che gli infortuni senza contatto non sono causati dall'allenamento in sé, ma più probabilmente da aumenti eccessivi e rapidi dei carichi di allenamento.

Molti metodi utilizzati per quantificare il carico interno di allenamento si basano sulla frequenza cardiaca, dato che fornisce una misura oggettiva dell'intensità relativa dell'esercizio. L'uso della frequenza cardiaca per misurare l'intensità dell'esercizio si basa sulla sua relazione verificata con il consumo di ossigeno su un'ampia gamma di carichi di lavoro submassimali allo stato stazionario. Questa relazione rende il monitoraggio della frequenza cardiaca adatto per quantificare l'intensità dell'esercizio durante le sessioni di allenamento.

È stato verificato negli sport individuali che una maggiore intensità di allenamento migliora le prestazioni. Tuttavia, nonostante sia ampiamente applicata a una varietà di sport, la frequenza cardiaca da sola non è in grado di riflettere l'intensità dell'attività nel calcio a causa della natura intermittente dello sport e del tipo di pratica solitamente eseguita (ad es. giochi a due facce). Tuttavia, gli impulsi di allenamento basati sulla frequenza cardiaca (TRIMP) sono stati precedentemente utilizzati in attività intermittenti come il calcio per stimare il carico accumulato dai giocatori.

Indipendentemente, la frequenza cardiaca da sola non può quantificare i fattori di stress esterni che hanno provocato una specifica risposta fisiologica. Pertanto, la necessità di misure esterne

dell'intensità e del carico dell'allenamento ha portato a recenti progressi nei metodi per quantificare le richieste di movimento degli atleti, risultando in numerose misure esterne che stimano l'intensità e il carico dell'esercizio utilizzando dati di movimento tipici. In questo senso, il recente sviluppo di sistemi di tracciamento degli atleti come i sistemi di posizionamento globale indossabili (GPS) e gli accelerometri hanno consentito agli allenatori di misurare i carichi di allenamento esterni negli sport di squadra. Attraverso l'uso di tali dispositivi, allenatori e scienziati dello sport possono raccogliere informazioni specifiche sulle distanze percorse in attività ad alta intensità, velocità di sprint, impatti, accelerazioni e decelerazioni durante l'allenamento e la competizione, insieme ai dati sulla frequenza cardiaca. La ricerca sul campo ha mostrato forti correlazioni tra il TRIMP e il carico di allenamento con i parametri del carico di lavoro fisico come la distanza totale, la distanza percorsa in zone di velocità specifiche e il carico del giocatore. Tuttavia, le relazioni tra carichi di allenamento interni ed esterni non sono state, ad oggi, adeguatamente esaminate, e vi è una scarsità di studi che analizzano la relazione tra frequenza cardiaca e dati GPS. Parte della letteratura di ricerca disponibile che ha utilizzato la tecnologia GPS ha mostrato che le variabili di carico esterno, come la corsa ad alta velocità, il numero di impatti e accelerazioni, la distanza totale e il carico corporeo, sono correlate in modo significativo con la valutazione della sessione di sforzo percepito. Ciò costituisce informazioni preziose sugli stimoli fisici specifici mirati per una sessione e sull'impatto fisiologico di tali stimoli sui giocatori, oltre a identificare le misurazioni basate sulla frequenza cardiaca più sensibili per monitorare il carico di allenamento interno [1].

1.4 Concetti fondamentali del monitoraggio biomeccanico nel calcio

La preparazione fisica ottimale dei giocatori di calcio è diventata una parte indispensabile del gioco professionistico, soprattutto a causa delle crescenti esigenze fisiche del match-play. Il monitoraggio dei profili di lavoro dei giocatori durante la competizione è ora possibile attraverso l'analisi del movimento assistita da computer. I metodi tradizionali di analisi del movimento erano estremamente laboriosi ed erano in gran parte limitati a progetti di ricerca universitari. I recenti sviluppi tecnologici hanno fatto sì che sistemi sofisticati, in grado di registrare ed elaborare rapidamente i dati dei contributi fisici di tutti i giocatori durante un'intera partita, vengano ora utilizzati in ambienti di club professionistici. Negli ultimi due decenni è emerso un corpus significativo di ricerche sulla miriade di fattori che contribuiscono a prestazioni ottimali nello sport. Questa maggiore attività di ricerca è stata particolarmente evidente nel calcio, dove l'importanza della ricerca scientifica e del lavoro applicato è diventata

sempre più accettata nel gioco professionistico. In questo periodo sono state pubblicate recensioni complete sugli aspetti fisiologici, psicologici, biomeccanici e interdisciplinari del calcio. Questa crescente accettazione della scienza dello sport non sorprende considerando il ruolo di miglioramento delle prestazioni che può offrire agli allenatori di calcio, alla continua ricerca di un vantaggio competitivo contro le squadre rivali. Tra le tradizionali discipline della scienza dello sport, la fisiologia dell'esercizio ha probabilmente avuto il maggiore impatto sulle pratiche all'interno del calcio professionistico. L'ottimizzazione della forma fisica è ora un aspetto integrale della preparazione di giocatori e squadre. Le esigenze fisiologiche del calcio professionistico contemporaneo implicano un aumento del ritmo di lavoro, una maggiore frequenza delle partite e, di conseguenza, i giocatori sono obbligati a lavorare di più rispetto agli anni precedenti. Il monitoraggio dei profili di lavoro dei giocatori durante la competizione è stato originariamente ottenuto utilizzando tecniche manuali di analisi del movimento basate su video. L'impiego di tali metodi ha suscitato osservazioni scientifiche essenziali, ma la complessità percepita e il consumo di tempo richiesto per la codifica, l'analisi e l'interpretazione dell'output hanno formato barriere alla loro adozione da parte degli analisti delle prestazioni. Le tecniche originali erano anche limitate all'analisi di un singolo giocatore, quindi limitate a progetti di ricerca universitari. Negli ultimi dieci anni, i progressi tecnologici hanno incluso l'introduzione di sistemi di analisi del movimento sempre più sofisticati che vengono ora utilizzati nel calcio professionistico. Questi sistemi consentono di completare l'analisi simultanea di tutti i giocatori in un periodo relativamente breve e forniscono un prezioso pool di dati che possono informare e influenzare le pratiche quotidiane degli allenatori. L'uso di questi approcci avanzati favorisce la nostra comprensione dei profili di lavoro specifici per posizione dei giocatori e dei loro requisiti di forma fisica, l'intensità delle attività discrete durante le partite e il verificarsi di un ritmo di lavoro ridotto tra i giocatori. Inoltre, questi metodi contemporanei impiegati dai club professionistici possono essere utilizzati per prendere decisioni obiettive nello strutturare gli elementi condizionanti dell'allenamento e la successiva preparazione della partita [4].

1.5 Parametri biomeccanici monitorati

Le misure di carico esterno sono state raggruppate in base alla loro tipologia:

- Distanze

Le attività locomotorie, come la distanza totale percorsa (TDC), la distanza percorsa in corsa ad alta velocità o la distanza percorsa in sprint, sono metriche di carico esterno comuni

utilizzate dagli scienziati dello sport. L'importanza di studiare le attività locomotorie è stata evidenziata da McLaren [55] quando ha affermato che le risposte interne all'allenamento e alla partita sono fortemente associate alla quantità di corsa completata, piuttosto che alla miriade di altre misure di carico esterno tipicamente monitorate negli atleti di sport di squadra [2].

- *Distanza totale percorsa*

La distanza totale percorsa (TDC) è una delle misure di carico esterno più utilizzate nella valutazione della quantità di lavoro svolto dai giocatori in allenamento e in partita, essendo misurata in valori assoluti (m) e relativi (m/min, m/15 min, m/h e %, rappresentati come % dei dati più alti raggiunti in partita) [2].

- *Distanza percorsa per zona o soglie*

La distanza percorsa per zona di velocità è una delle variabili preferite per valutare le prestazioni dei calciatori. Questa misura, analizzata in valori assoluti (m e min) e/o relativi (m/min, %m, %m/min, e %min), considera la suddivisione della distanza percorsa per zona di velocità, consentendo una valutazione più dettagliata del lavoro svolto durante l'allenamento e/o la partita. Esiste tuttavia una grande variabilità per quanto riguarda la suddivisione e la denominazione delle zone [2].

- *Rapporti di distanza*

I rapporti lavoro-riposo sono usati per descrivere i profili di attività dei calciatori. Per calcolare tale rapporto si definisce una zona di velocità “riposo/recupero” e un'altra “lavoro/attività”, attraverso le quali si utilizzano le distanze percorse in tali zone per determinare il rapporto (divisione della quantità di lavoro per la quantità di riposo) [2].

- Accelerazioni e Decelerazioni

L'accelerazione si basa sulla variazione dei dati di velocità GPS ed è definita come una variazione di velocità per un minimo di 0,5 s, con un'accelerazione massima di almeno 0,5 m/s. L'accelerazione è considerata completa quando il giocatore smette di accelerare. La classificazione delle zone di velocità si basa sull'accelerazione massima raggiunta nel periodo di accelerazione. Lo stesso approccio è utilizzato nella decelerazione [2].

1.6 Strumenti e tecnologie di monitoraggio biomeccanico nel calcio

Il sistema di posizionamento globale (GPS) è una tecnologia di navigazione satellitare originariamente concepita per scopi militari. In precedenza sono state pubblicate numerose revisioni informative e tecniche sul GPS che delineano come questa tecnologia consenta di tracciare il movimento tridimensionale di un individuo o di un gruppo nel tempo in ambienti aerei, acquatici o terrestri.

Il recente sviluppo di unità GPS portatili ha consentito un'applicazione più ampia di questa tecnologia in una varietà di contesti, incluso lo sport, fornendo così un ulteriore mezzo per descrivere e comprendere il contesto spaziale dell'attività fisica.

Utilizzata per la prima volta per il monitoraggio degli atleti nel 1997, la tecnologia GPS è ora sempre più utilizzata negli sport di squadra per fornire a scienziati sportivi e allenatori un'analisi completa e in tempo reale delle prestazioni dei giocatori sul campo durante la partita o l'allenamento (Fig.1).

La tecnologia GPS è stata ampiamente utilizzata nel rugby, nell'australian football league (AFL), nel cricket, nell'hockey e nel calcio, con solo ricerche limitate disponibili nel netball, nell'hockey e nel lacrosse.

La letteratura attuale fornisce una serie di informazioni sul profilo di attività degli atleti di sport sul campo. Misurando i movimenti dei giocatori, il GPS può essere utilizzato per quantificare oggettivamente i livelli di sforzo e stress fisico sui singoli atleti, esaminare le prestazioni del giocatore, valutare i diversi carichi di lavoro posizionali, stabilire l'intensità dell'allenamento e monitorare i cambiamenti nelle richieste fisiologiche del giocatore.

I modelli di movimento dei giocatori e i profili di attività (carichi esterni) possono essere utilizzati in aggiunta alle informazioni tattiche e alle risposte fisiologiche (carico interno) per caratterizzare il match play competitivo.

Dalla sua introduzione, il GPS è stato utilizzato per misurare i componenti di base dei modelli di movimento del giocatore, la velocità e la distanza percorsa e il numero di accelerazioni e decelerazioni. L'integrazione del GPS con un accelerometro triassiale consente l'acquisizione di informazioni sui ritmi di lavoro e sui carichi fisici. L'accelerometro triassiale misura una magnitudine vettoriale composita (espressa come forza G) registrando la somma delle accelerazioni misurate nei tre assi (piani X, Y e Z).

Inoltre, il numero e l'intensità dei contatti fisici e delle collisioni tra atleti e oggetti o superfici possono essere quantificati mediante misurazioni del carico corporeo e dell'impatto. Il carico corporeo (misurato come forza G) è la raccolta di tutte le forze imposte a un atleta, inclusa

l'accelerazione/decelerazione, i relativi cambi di direzione e gli impatti sia dalla collisione tra giocatori che dal contatto con il suolo (colpi e cadute del piede).

La tecnologia GPS consente un'ulteriore analisi delle caratteristiche di velocità e impatto mediante la classificazione in sei bande di attività note rispettivamente come zone di velocità e di impatto. La zona uno indica il livello più basso, mentre la zona sei indica il livello più alto di sforzo o impatto [5].



Fig. 1.4: Tracker GPS per analisi del movimento del giocatore

Capitolo 2: Applicazioni del Monitoraggio Cardiaco nel Calcio

2.1 Cenni storici dell'uso del monitoraggio cardiaco nel calcio

Dalla fine degli anni '60, il monitoraggio della frequenza cardiaca è stato utilizzato per esaminare e quantificare il carico fisiologico durante le partite e gli allenamenti nel calcio. La risposta della frequenza cardiaca durante varie attività sportive veniva tradizionalmente misurata mediante la registrazione continua dell'elettrocardiogramma (ECG), che veniva trasmessa mediante telemetria radio a corto raggio. Tuttavia, la natura delle attività calcistiche (inclusi salti, contrasti, contatto con gli avversari, ecc.) e la produzione di sudore durante l'esercizio hanno compromesso la connessione degli elettrodi alla superficie cutanea. All'inizio degli anni '80 è stata sviluppata la tecnologia di monitoraggio cardio wireless, che ha facilitato il trasferimento elettronico dei dati sulla FC da una cintura trasmettitore indossata sul petto a un ricevitore indossato come un "orologio da polso". Ciò ha consentito il monitoraggio della frequenza cardiaca durante le situazioni di gioco effettive (partite amichevoli), senza le limitazioni del precedente monitoraggio ECG.

Entro la fine degli anni '80, ulteriori progressi tecnologici hanno consentito l'introduzione di sistemi di monitoraggio più affidabili e meno ingombranti. Anche la capacità di memoria/archiviazione dei dati è stata migliorata, il che ha contribuito a stabilire la validità scientifica di questa tecnologia. In questo contesto, questo tipo di monitoraggio della frequenza cardiaca è stato utilizzato durante le partite ufficiali sia nella prima lega professionistica danese che nella lega semiprofessionale scozzese o in altre squadre professionistiche. Tuttavia, permanevano alcune limitazioni, in particolare a causa dell'interferenza delle onde elettromagnetiche delle apparecchiature tra giocatori, che amplificava la difficoltà di monitorare contemporaneamente la risposta cardiaca di più giocatori in prossimità. Di conseguenza, la determinazione dell'IE (intensità dell'esercizio) in base alla posizione di gioco individuale in una situazione collettiva non era ancora possibile.

All'inizio degli anni '90 è stato implementato un nuovo sistema che comprendeva l'integrazione del monitor HR con un microcomputer, la codifica delle trasmissioni del segnale e uno specifico software di analisi dei dati. Attualmente questo sistema permette il monitoraggio simultaneo di tutti i giocatori, memorizzando i dati sulla FC nella fascia ricevente, e permettendo un successivo trasferimento al microcomputer. Inoltre, il più recente sistema Step-Polar Team2 HR (Fig.1) consente il monitoraggio della frequenza cardiaca in tempo reale con la possibilità di esprimere le risposte della frequenza cardiaca come

percentuale della frequenza cardiaca di riserva (%FCres), che ha indotto un enorme passo avanti nella scienza dello sport. Il vecchio sistema Polar Team 1 permetteva solo un'analisi retrospettiva delle registrazioni FC, in quanto i dati dovevano essere scaricati al termine degli allenamenti/partite e successivamente analizzati con il software specifico. Questa nuova tecnologia consente anche il monitoraggio degli intervalli rate to rate (R-R), simile all'Omega Wave Sport System, ma sembra essere più pratico.

La risposta della frequenza cardiaca può essere analizzata in diversi modi per stimare l'IE. Alcuni studi hanno riportato l'intensità di gioco dopo aver analizzato una media dei valori della FC osservati o una distribuzione percentuale della FC in valori assoluti. Questi approcci non consentono il confronto tra soggetti dell'IE a causa delle differenze tra FCmax e frequenza cardiaca a riposo (FCrest) tra i diversi giocatori. Di conseguenza, era evidente un'elevata variabilità intersoggettiva in relazione alla natura intermittente dell'allenamento tecnico, alla fascia di età dei giocatori e agli effetti cardiovascolari dell'allenamento, che è associato a una diminuzione della FCmax a causa dei cambiamenti del sistema nervoso autonomo.

L'espressione dei dati di FC in relazione ai valori di FCmax è stata abitualmente impiegata in diversi studi durante le partite ufficiali e amichevoli. Tuttavia, la risposta cardiaca espressa in %FCres sembra essere più affidabile. La percentuale della frequenza cardiaca di riserva è stata calcolata utilizzando la seguente formula: $[\%FCres = [(FC \text{ media durante l'esercizio} - FC \text{ a riposo}) / (FCmax - FC \text{ a riposo})] \times 100]$. Questa equazione considera le variazioni del bioritmo e di conseguenza consente un confronto delle risposte interindividuali della FC in diversi tipi di allenamento calcistico. Nella media sportiva, il valore della FC a riposo corrisponde alla FC minima osservata durante un periodo di 10 minuti in cui i giocatori sono sdraiati su un letto in un ambiente calmo con gli occhi chiusi o immediatamente al risveglio utilizzando procedure simili. In aggiunta a ciò, l'HRV (variazione della frequenza cardiaca) è considerato dagli scienziati un elemento di ricerca essenziale negli ultimi decenni ma, per quanto ne sappiamo, nessuno studio ha avuto successo nel mostrare l'interesse dell'analisi dell'HRV

negli sportivi e nei calciatori. Inoltre, la frequenza cardiaca è stata anche correlata alla soglia anaerobica del lattato nel sangue di 4 mmol/L in partite amichevoli e ufficiali e in diverse situazioni di allenamento. Pertanto, la stima della FC del carico di allenamento interno potrebbe essere migliorata e dovrebbe raggiungere un livello di affidabilità simile a quello del metodo di valutazione dello sforzo percepito (RPE, carico globale), che non costituisce uno strumento fisiologico ma fornisce informazioni generali sulla difficoltà di esercizio avvertita da giocatori. La frequenza cardiaca potrebbe fornire informazioni più forti sull'uso eccessivo dei giocatori a causa della ripetizione delle partite in un breve periodo, ma è ancora considerato uno strumento debole per rilevare il sovrallenamento nel calcio, che in realtà non esiste nel calcio professionistico [8].



Fig. 2.1: Step Polar Team2 HR

2.2 Valutazione dell'intensità dell'allenamento e del carico di lavoro

Il monitoraggio della frequenza cardiaca è un metodo valido e popolare per controllare l'allenamento aerobico volto a migliorare la salute cardiorespiratoria. In soggetti con diverso stato di allenamento, condizioni di salute, età e sesso, massimale di esercizio e FC di recupero sono le variabili solitamente considerate per prescrivere e monitorare l'allenamento e per valutare l'idoneità cardiorespiratoria. Il recupero della frequenza cardiaca (FCrec) è più comunemente misurato come la velocità alla quale la frequenza cardiaca diminuisce nei secondi/minuti successivi alla fine dell'esercizio e riflette l'equilibrio dinamico e l'interazione coordinata tra la riattivazione parasimpatica e il ritiro simpatico. FCrec dopo l'esercizio fino all'esaurimento è stato ritenuto un parametro sensibile all'interazione tra attività nervosa parasimpatica e simpatica, riflettendo l'efficienza autonoma. Questo, insieme all'elevata accessibilità alle misurazioni del recupero della frequenza cardiaca, ha promosso lo sviluppo di valori normativi considerati utili per rilevare variazioni dannose nella FC post-esercizio massimale nella pratica quotidiana. In effetti, è stato riportato che una FCrec più rapida è associata a un livello di forma fisica più elevato e i soggetti con FCrec anormale (ovvero una diminuzione di ≤ 12 battiti/min a 60s dopo la fine del test) hanno meno probabilità di essere impegnati in un esercizio fisico regolare e faticoso. Inoltre, FCrec si è rivelato un indicatore prognostico di esiti cardiometabolici avversi e un fattore indipendente per la previsione della sindrome metabolica. Le prove scientifiche pubblicate di un effetto deleterio dell'FCrec attenuato sulla salute cardiovascolare e metabolica e sulla mortalità per tutte le cause, hanno promosso la registrazione dell'FCrec nella pratica clinica come routine "di per sé" per la valutazione del rischio per la salute. I programmi di allenamento che utilizzano l'esercizio aerobico convenzionale hanno promosso cambiamenti positivi nell'FCrec nei pazienti cardiovascolari e negli atleti. L'interesse pratico nel valutare l'idoneità cardiorespiratoria con una variabile facilmente accessibile come FCrec e con test di resistenza sul campo, giustifica quindi considerazioni sperimentali negli sport ricreativi [7].

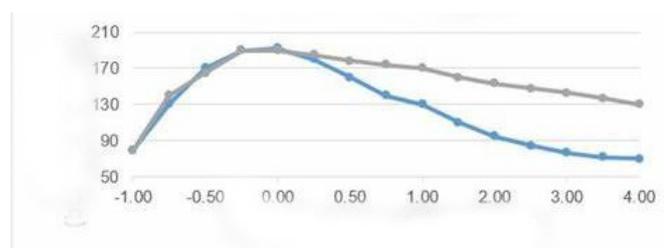


Fig. 2.2: Questo grafico (rappresentato dal tempo nelle ascisse e dalla FCrec nelle ordinate) mostra la differenza tra il tempo di recupero di una persona allenata (linea blu) ed una persona non allenata (linea grigia)

2.3 Monitoraggio della condizione fisica e del recupero

Nel calcio professionistico, ai giocatori viene spesso richiesto di giocare partite consecutive intervallate da 3 giorni e potrebbe non essere possibile ottenere un recupero completo delle prestazioni fisiche. Un recupero incompleto potrebbe causare prestazioni insufficienti e lesioni. Durante i programmi congestionati, sono quindi necessarie strategie di recupero per alleviare l'affaticamento post-partita, recuperare le prestazioni più velocemente e ridurre il rischio di infortuni. L'affaticamento dopo la competizione è multifattoriale e principalmente correlato alla disidratazione, all'esaurimento del glicogeno, al danno muscolare e all'affaticamento mentale. Le strategie di recupero dovrebbero quindi essere mirate contro le principali cause di affaticamento. Le strategie esaminate sono state: l'assunzione nutrizionale, l'immersione in acqua fredda, il sonno, il recupero attivo, lo stretching, gli indumenti compressivi, il massaggio e la stimolazione elettrica [6].

2.3.1. Assunzione nutrizionale

La reidratazione, il consumo di carboidrati e proteine dopo una partita sono tecniche di recupero efficaci per reintegrare le riserve di acqua e ottimizzare la riparazione dei danni muscolari. Tuttavia, sono necessarie linee guida che includano quantità, tempi e composizione al fine di massimizzare la loro efficacia.

Dopo la disidratazione indotta dalla partita (~ 2% della massa corporea), la ricerca ha dimostrato che il consumo di una bevanda ad alto contenuto di sodio (61 mmol / L) equivalente al 150-200% della perdita di sudore è sufficiente per raggiungere uno stato di iperidratazione 6 ore dopo l'ingestione della bevanda.

Per ottimizzare la risintesi delle riserve di glicogeno muscolare, è necessario un elevato apporto di carboidrati ad alto indice glicemico (GI) alla fine di una partita. Un'assunzione di ~ 1,2 g di carboidrati / kg / h con un alto indice glicemico immediatamente dopo una partita e ad intervalli di 15-60 minuti per un massimo di 5 ore, consente la massima risintesi delle riserve di glicogeno muscolare. Tuttavia, l'effetto dei pasti ad alto contenuto di carboidrati con alto indice glicemico sulle successive prestazioni specifiche del calcio non è ancora chiaro. Quando viene consumata una quantità inferiore di carboidrati, la co-ingestione di proteine (0,4 g / kg / h) potrebbe essere utile per aumentare i tassi di sintesi del glicogeno muscolare post-esercizio, in quanto potrebbe stimolare la secrezione di insulina, l'assorbimento di glucosio e la glicogeno sintasi muscolare. Tuttavia, Gunnarsson et al.[21] non sono riusciti a trovare un

aumento della risintesi del glicogeno 48 ore dopo una partita di calcio dopo l'ingestione di una dieta arricchita di proteine del siero di latte e carboidrati rispetto a una dieta normale. Poiché l'esercizio stimola la sintesi proteica muscolare e la disgregazione delle proteine muscolari, l'assenza di assunzione di proteine dopo l'esercizio può portare a un bilancio proteico netto negativo. In effetti, è necessario un bilancio proteico muscolare positivo per riparare il danno muscolare indotto dall'esercizio, che è comune dopo una partita di calcio. Il consumo di proteine stimola la sintesi proteica muscolare necessaria per un bilancio proteico muscolare positivo. Sebbene la quantità, il tipo e la tempistica dell'ingestione di proteine per massimizzare la sintesi proteica muscolare post-esercizio rimangono un argomento di dibattito, un consumo di ~ 20 g di proteine del latte, o un equivalente di ~ 9 g di aminoacidi essenziali, sembra essere sufficiente per stimolare i tassi di sintesi proteica muscolare durante le prime 2 ore di recupero post-esercizio. Una dieta ricca di proteine con aminoacidi a catena ramificata influisce positivamente anche su altri fattori associati al recupero come le prestazioni mentali o la sensazione di affaticamento. L'aggiunta di proteine ai carboidrati post-esercizio può ridurre il dolore muscolare e diminuire la concentrazione di creatin chinasi (CK) e la concentrazione di mioglobina. È generalmente riconosciuto che alcuni nutrienti influenzano positivamente il processo di recupero. Al contrario, il consumo di alcol può influire negativamente sulla capacità di un giocatore di recuperare dopo l'esercizio. I giocatori di calcio occasionalmente ingeriscono volumi da moderati a grandi di alcol (etanolo) nelle ore successive alla partita. Diversi studi hanno mostrato gli effetti dell'assunzione acuta moderata di alcol (1 g / kg di etanolo a corpo libero come vodka e succo d'arancia) sulle prestazioni muscolari durante il recupero dal danno muscolare indotto dall'esercizio eccentrico. I risultati hanno mostrato che la perdita di forza di picco a 36 ore dopo l'esercizio era significativamente maggiore nella condizione di bevanda alcolica rispetto a una condizione di bevanda analcolica isocalorica. Una combinazione di diminuzione della risposta infiammatoria, alterata produzione di citochine e generazione intermedia di ossigeno reattivo anormale dopo l'esposizione all'alcol può ostacolare il processo di riparazione e recupero muscolare. Per ridurre al minimo le perdite legate all'esercizio nella funzione muscolare e accelerare il recupero, i partecipanti a sport che comportano frequenti lavori muscolari eccentrici, come il calcio, dovrebbero di conseguenza evitare bevande contenenti alcol nel periodo post-evento. Oltre a ostacolare il processo di riparazione muscolare, il consumo di alcol può anche ritardare il recupero dalla disidratazione [6].

2.3.2. Immersione in acqua fredda

L'indagine sulle strategie di recupero utilizzate dalle squadre di calcio professionistiche ha rivelato che l'immersione in acqua fredda e la terapia con bagni di contrasto sono le strategie di recupero più comuni impiegate nelle squadre di calcio professionistiche, poiché sono attualmente utilizzate dall'88% delle squadre.

L'immersione in acqua fredda eseguita immediatamente dopo l'esercizio e ripetuta durante tutto il processo di recupero ha dimostrato di essere una modalità di recupero superiore rispetto al recupero passivo, all'immersione in acqua di contrasto e all'immersione in acqua calda.

Pertanto, questa sezione si occupa solo dell'immersione in acqua fredda. L'immersione post-esercizio ha fornito utili effetti benefici sulle prestazioni anaerobiche, cioè forza massima, capacità di sprint e salto contromovimento.

Inoltre, l'immersione in acqua fredda è stata utile nel ridurre il dolore muscolare e nel diminuire le concentrazioni di CK e mioglobina.

I protocolli di immersione in acqua fredda sono generalmente eterogenei in termini di temperatura, durata e livello di immersione e il miglior compromesso deve ancora essere determinato. Altri protocolli di immersione in acqua fredda (intervallo di temperatura: 10-15 °C; intervallo di durata: 5-15 min) sono stati tutti trovati per fornire effetti benefici sulla forza massima, capacità di sprint, prestazioni ciclistiche e prestazioni di canottaggio e ridotto edema localizzato. Tuttavia, questi non sono stati testati nei giocatori di calcio.

Il tempo (ad esempio subito dopo la partita, ritardato di diverse ore dopo la partita o il giorno dopo) e la frequenza di utilizzo sono altre questioni importanti legate all'immersione in acqua fredda.

Il lavoro di Brophy-Williams et al.[22] ha rilevato che le prestazioni di corsa nel giorno successivo tra l'immersione immediata in acqua fredda e le prove di immersione ritardata in acqua fredda erano simili, mentre le analisi qualitative hanno dimostrato che l'immersione immediata in acqua fredda ha comportato un beneficio probabile del 79% rispetto all'immersione ritardata in acqua fredda. Lo studio dimostra che l'immersione in acqua fredda subito dopo una sessione di allenamento ad alta intensità è stata più vantaggiosa per le prestazioni di corsa del giorno successivo rispetto all'immersione in acqua fredda eseguita 3 ore dopo la sessione.

I benefici di recupero dell'immersione in acqua fredda sono molto probabilmente dovuti alla temperatura dell'acqua piuttosto che alla pressione idrostatica.

L'immersione completa del corpo in acqua fredda a 15 °C per 15 minuti riduce il flusso sanguigno alle gambe e alle braccia, inducendo un reindirizzamento del flusso sanguigno dalla

periferia al centro e migliorando così il ritorno venoso e l'efficienza cardiaca. L'acqua fredda può anche ridurre l'infiammazione acuta da danno muscolare e ha un effetto analgesico a breve termine correlato alla riduzione della velocità di conduzione nervosa, dell'attività del fuso muscolare e della risposta riflessa, inibendo così il ciclo dolore-spasmo.

Al contrario, l'immersione in acqua fredda dopo la partita può presentare alcune limitazioni. Sebbene scientificamente non provata, la riduzione del flusso sanguigno del muscolo scheletrico indotta dall'immersione in acqua fredda potrebbe, in teoria, alterare la disponibilità di glucosio al muscolo durante il recupero e quindi alterare il tasso di sintesi del glicogeno post-esercizio. Inoltre, l'uso regolare dell'immersione in acqua fredda può ostacolare gli adattamenti indotti dall'esercizio.

Yamane et al.[23] hanno proposto l'allenamento di resistenza delle gambe e l'allenamento di resistenza dei muscoli flessori dell'avambraccio 3-4 volte a settimana per 4-6 settimane. L'immersione in acqua fredda è stata applicata dopo ogni sessione di allenamento su una gamba e un braccio di soggetti, con l'altra gamba e l'altro braccio appoggiati a temperatura ambiente. Gli effetti significativi dell'allenamento erano tre volte superiori nel gruppo di controllo rispetto al gruppo "freddo", compresi gli aumenti del diametro dell'arteria nel gruppo di controllo ma non nel gruppo freddo. Gli autori hanno proposto la soppressione parziale dell'induzione della proteina da shock termico nei muscoli raffreddati rispetto ai muscoli non raffreddati per spiegare che l'immersione post-esercizio in acqua fredda è un trattamento avverso dal punto di vista dell'allenamento fisico [6].

2.3.3. Effetto del sonno

Le teorie neurometaboliche della funzione del sonno propongono che il sonno ripaghi il costo neurale e metabolico della veglia. Il sonno ad onde lente, che comprende quattro fasi distinte (fasi 1, 2, 3 e 4), è caratterizzato da respirazione lenta, bassa frequenza cardiaca, basso flusso sanguigno cerebrale e un grande aumento della secrezione dell'ormone della crescita che consente la restituzione fisiologica. Sia il sonno ad onde lente che il sonno con movimenti oculari rapidi sono implicati nei cambiamenti cerebrali plastici che sono alla base dell'apprendimento e della memoria. A questo proposito, dovrebbe essere studiata la questione del sonno nella gestione del recupero.

Quando giocano una partita di calcio serale, i giocatori di calcio professionisti sono sottoposti a un elevato carico di lavoro fisico e mentale, oltre a un elevato stress emotivo. I giocatori

devono esibirsi al massimo quando la vigilanza psicomotoria e la vigilanza soggettiva tendono a diminuire dopo una tipica giornata di attività. Gli orari irregolari sonno-veglia influenzano la regolazione omeostatica e circadiana del sonno e, a sua volta, la sua qualità e quantità. Le routine post-partita (cioè cure mediche, strategie di recupero, pasti e viaggio di ritorno) spesso portano ad andare a letto molto tardi, che può anche alterare la qualità e la quantità del sonno. Un'altra potenziale causa di disturbi del sonno dopo una partita è svegliarsi più volte durante la notte a causa dell'iperidratazione. Di conseguenza, molti giocatori sperimentano una notte di sonno disturbato dopo la competizione, che può avere molteplici conseguenze negative. Poiché un'estesa perdita di sonno (cioè 30 ore di privazione del sonno) è associata a riduzioni del contenuto di glicogeno muscolare e la restrizione cronica del sonno (cioè la restrizione al 50% del tempo abituale su 12 giorni) può contribuire all'amplificazione del dolore, sono necessari studi futuri per indagare gli effetti acuti e cronici di una notte di sonno disturbata dopo una partita tra giocatori di calcio o in periodi di congestione della partita. Oltre al suo impatto sulla quantità di sonno, una notte di perdita di sonno è anche caratterizzata da disturbi dell'architettura del sonno. Sallinen et al.[24] hanno scoperto che la proporzione di sonno allo stadio 4 è più alta nella condizione di debito del sonno, ma le proporzioni di sonno delle fasi 1 e 2 sono inferiori durante una notte di sonno limitato rispetto alla normale condizione di sonno. Esistono anche strette connessioni tra il sonno e il sistema immunitario. Cohen et al.[25] hanno dimostrato che i soggetti con meno di 7 ore di sonno a notte nelle settimane precedenti l'esposizione a un rinovirus hanno tre volte più probabilità di sviluppare un raffreddore rispetto a quelli con 8 ore o più di sonno.

La privazione parziale del sonno (essere svegli dalle 11:00 alle 3:00) induce un'alterazione funzionale della risposta delle citochine pro-infiammatorie dei monociti e altera l'espressione dei geni delle citochine pro-infiammatorie. Al mattino dopo una notte di privazione del sonno, le risposte infiammatorie sono migliorate rispetto ai livelli mattutini dopo il sonno ininterrotto. Per contrastare un sonno notturno disturbato tra i calciatori, sono stati proposti diversi fattori per migliorare il sonno dopo la partita e durante le notti successive. Un carboidrato ad alto indice glicemico, che è raccomandato per il rapido ripristino delle riserve di glicogeno muscolare, può anche influenzare positivamente il sonno. Afaghi et al.[26] hanno dimostrato che un pasto ad alto indice glicemico ha comportato una significativa riduzione della latenza di insorgenza del sonno rispetto a un pasto a basso indice glicemico (9,0 minuti vs 17,5 minuti, rispettivamente) ed è stato più efficace se consumato 4 ore prima di coricarsi rispetto allo stesso pasto ad alto indice glicemico somministrato 1 ora prima di coricarsi.

Le strategie di recupero come l'immersione in acqua fredda riducono la temperatura corporea, che può di conseguenza favorire l'insorgenza del sonno. Altre raccomandazioni per l'induzione del sonno includono il beneficio di un ambiente buio e silenzioso utilizzando occhiali e tappi per le orecchie, ascoltando musica rilassante e adottando regolari programmi di sonno-veglia. Al contrario, il consumo di caffeina prima della partita per migliorare le prestazioni, il consumo di alcol come mezzo per festeggiare dopo la partita e l'iperidratazione potenzialmente portano a disturbi del sonno. Tuttavia, una notte di sonno povero può essere compensata da un breve pisolino post-pranzo. Waterhouse et al.[27] hanno scoperto che un pisolino seguito da un periodo di recupero di 30 minuti migliora la vigilanza e gli aspetti delle prestazioni mentali e fisiche dopo una parziale perdita di sonno. La capacità di fare un pisolino per brevi periodi durante il giorno può essere un'abilità utile per i giocatori da sviluppare, specialmente durante un programma congestionato. Sallinen et al.[24] hanno scoperto che, dopo una notte di sonno limitato, un sonno di recupero di 8 ore la notte successiva ha notevolmente migliorato sia le prestazioni cognitive che la vigilanza, ma non ha portato al completo recupero. Infine, i periodi di riposo e gli orari sonno-veglia sono normalmente pianificati per l'intera squadra, indipendentemente dalle distinzioni individuali. Pianificare programmi personalizzati in base ai programmi di sonno preferiti dai giocatori può essere un'altra contromisura efficace per ripristinare un buon sonno [6].

2.3.4. Recupero attivo

Il recupero attivo, noto anche come "raffreddamento" o "riscaldamento", è attualmente eseguito dall'81% delle squadre di calcio professionistiche immediatamente dopo la partita e/o nei giorni successivi. Questa strategia prevede la corsa, la bicicletta o il nuoto a bassa intensità per una durata di 15-30 minuti. Questa strategia di recupero è spesso implementata nel calcio professionistico, poiché i risultati di numerosi studi hanno riportato che il recupero attivo, eseguito tra il 30% e il 60% del consumo massimo di ossigeno e della durata di almeno 15 minuti, ha migliorato la rimozione del lattato nel sangue o accelerato il recupero del pH rispetto al recupero passivo. Tuttavia, la rimozione del lattato non dovrebbe essere il criterio utilizzato per testare la qualità del recupero. Una rimozione più rapida del lattato non comporta necessariamente prestazioni migliori durante l'esercizio successivo. In diversi studi volti a confrontare i recuperi attivi e passivi, le prestazioni dell'esercizio dopo il recupero attivo non sono migliorate, nonostante le concentrazioni di lattato più basse, mentre altri studi hanno dimostrato che il recupero passivo ha migliorato le prestazioni nell'esercizio

successivo. Diversi studi hanno riportato che il recupero attivo eseguito immediatamente dopo esercizi ad alta intensità ha significativamente compromesso la sintesi del glicogeno, specialmente nelle fibre muscolari di tipo I. Secondo questi risultati, il recupero attivo eseguito immediatamente dopo una partita non presenta un vantaggio per implementare questa tecnica come parte di una strategia di recupero. Tuttavia, sono necessari ulteriori studi per giustificare quale tipo di esercizio dovrebbe essere eseguito nei giorni successivi a una partita. In una serie di studi sul recupero tra due partite di calcio femminile separate da 3 giorni, Andersson et al.[28][29] hanno ampiamente studiato gli effetti del recupero attivo di 1 ora (ciclismo submassimale al picco della frequenza cardiaca del 60% e allenamento di resistenza a bassa intensità al massimo <50% di una ripetizione) eseguito 22 ore e 46 ore dopo la prima partita. I risultati hanno mostrato che il recupero attivo non ha avuto effetti sul modello di recupero dei marcatori delle prestazioni fisiche (cioè salto contromovimento, prestazioni di sprint di 20 m e massima flessione ed estensione isocinetica del ginocchio), dolore muscolare percepito e marcatori biochimici (cioè CK, urea e acido urico) [6].

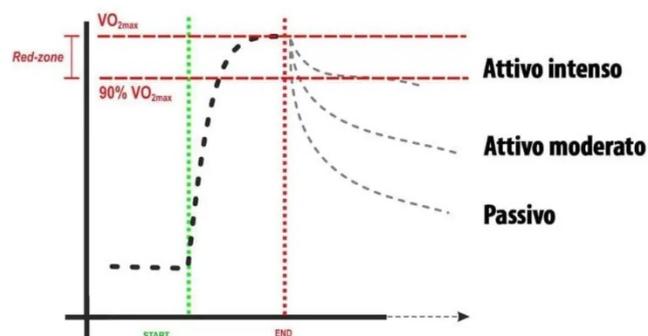


Fig. 2.3: Recupero attivo e passivo nella cinetica del Vo₂. Il Vo₂ decresce con intensità diverse a seconda della tipologia di recupero prescelta, questo produrrà effetti diversi sulla performance poiché gli adattamenti fisiologici generati sono molto differenti tra loro.

2.3.5. Stretching

Le squadre di calcio d'élite dedicano una notevole quantità di tempo di allenamento e preparazione delle partite allo stretching. Dadebo et al.[30] hanno riferito che i club della Premiership inglese hanno assegnato quasi il 40% del tempo totale di allenamento all'allenamento flessibile con stretching statico, la tecnica più popolare impiegata. Gli esercizi di stretching vengono eseguiti per diversi motivi, tra cui il miglioramento della gamma di movimento e il decremento della rigidità muscolotendinea per prevenire lesioni, oltre a promuovere il recupero. Nel calcio professionistico, il 50% delle squadre utilizza attualmente lo stretching come strategia di recupero. Tuttavia, non ci sono prove scientifiche sostanziali a sostegno dell'uso dello stretching per migliorare il recupero post-esercizio dei giocatori di calcio. In una meta-analisi che include 12 studi, Herbert et al.[30] hanno riferito che lo stretching non è clinicamente utile per ridurre il dolore muscolare nei giorni successivi all'esercizio. Lo stretching dopo l'esercizio eccentrico può persino ostacolare l'esito del processo di recupero [6].

2.3.6. Indumenti a compressione

Gli indumenti a compressione funzionano applicando una pressione sugli arti inferiori al fine di aumentare il flusso sanguigno femorale. Il principio è quello di aumentare la pressione sulla caviglia e di diminuirla a metà coscia al fine di migliorare il ritorno venoso e quindi ridurre la stasi venosa negli arti inferiori. Questa sezione si concentrerà solo sugli effetti degli indumenti a compressione sul processo di recupero.

Gli indumenti a compressione, in particolare per la parte inferiore del corpo, sono recentemente diventati sempre più popolari tra i praticanti di calcio, applicati nel tentativo di accelerare il recupero dall'allenamento e dalla partita. Il 22% delle squadre di calcio professionistiche francesi attualmente integra indumenti a compressione nel loro protocollo di recupero. Mentre gli studi hanno mostrato un possibile interesse per il recupero del dolore muscolare ai livelli pre-esercizio, mancano miglioramenti nelle misure delle prestazioni post-esercizio. Non sono stati riportati benefici nelle prestazioni di sprint ripetuto, potenza di picco, forza isocinetica, sprint, agilità e prestazioni di salto contromovimento per quanto riguarda l'uso di indumenti a compressione durante il processo di recupero, sebbene tutti questi studi abbiano riportato sensazioni soggettive di miglioramento del recupero quando si utilizzano indumenti a compressione. Poiché gli studi non hanno avuto una condizione placebo (cioè

l'uso di un indumento, ma nessuna compressione), un effetto placebo dovuto all'uso degli indumenti non dovrebbe essere escluso.

Un'altra potenziale limitazione degli studi sugli indumenti a compressione è che le pressioni effettive applicate dagli indumenti ai soggetti non vengono misurate. Di conseguenza, la pressione minima di 18 mmHg alla caviglia e 8 mmHg a livello della metà coscia non è sempre garantita. Secondo Davies et al.[32], il livello di compressione può essere insufficiente per avere un impatto benefico dopo il normale esercizio fisico (cioè una partita di sport di squadra).

Trenell et al.[33] hanno riferito che 1 ora dopo l'esercizio eccentrico, la gamba che indossava un indumento compressivo mostrava un aumento significativo negli spettri di fosfodiesterasi sulla spettroscopia di risonanza magnetica del fosforo rispetto alla gamba di controllo (nessuna compressione). Il fosfodiesterasi è rappresentativo dell'aumento del turnover della membrana muscolare scheletrica e questo risultato suggerisce un intervallo di tempo infiammatorio e di riparazione accelerato indotto dagli indumenti a compressione.

In conclusione, l'uso di indumenti compressivi dopo una partita di calcio può essere utile per alleviare l'indolenzimento muscolare, ma sono necessarie ulteriori ricerche per dimostrare i benefici ergogenici.

Gli indumenti compressivi non hanno alcun beneficio aggiuntivo rispetto al recupero attivo, alla terapia con acqua di contrasto o al massaggio. Poiché nessuno studio ha riportato effetti negativi sulle prestazioni dell'esercizio, l'uso di indumenti compressivi può fornire una strategia di recupero facile da usare in una squadra. Potrebbero essere utili durante i viaggi aerei, specialmente durante un lungo volo, per ridurre il rischio di trombosi venosa profonda. Tuttavia, è necessario prestare attenzione, poiché gli indumenti a compressione possono essere scomodi da indossare durante la notte e sono associati ad un aumento della temperatura corporea, disturbando così i modelli di sonno dei soggetti [6].

2.3.7. Massaggio

Il massaggio corrisponde a una "manipolazione meccanica dei tessuti corporei con pressione ritmica e carezze allo scopo di promuovere la salute e il benessere". Per favorire il recupero dopo una partita di calcio, numerose tecniche come effleurage, petrissage, tapotement, attrito e vibrazione sono attualmente utilizzate nel 78% delle squadre di calcio professionistiche. L'effleurage comporta una leggera pressione all'inizio per una pressione più profonda verso la fine e mira a lenire i muscoli doloranti e a rilassarsi. Il petrissage comporta un movimento di

impastamento in cui il tessuto viene compresso e sollevato via con lo scopo di allentare lo spasmo muscolare. Il tapotement consiste in ripetuti colpi rapidi della mano e mira a stimolare i tessuti muscolari. L'attrito è una breve carezza profonda parallela o trasversale attraverso la direzione delle fibre tissutali e mira a ridurre gli spasmi muscolari. La vibrazione consiste nell'agitazione e mira a facilitare il rilassamento muscolare. I benefici attesi del massaggio includono funzioni sia fisiologiche che psicologiche. L'ecografia Doppler pulsata e l'eco Doppler sono stati utilizzati per studiare il flusso sanguigno muscolare e hanno indicato che il massaggio manuale - effleurage, petrissage o tapotement - non ha aumentato il flusso sanguigno nella massa muscolare piccola (avambraccio) o grande (quadricipite). Nessun effetto benefico è stato trovato per la rimozione del lattato nel sangue, la rimozione di H e la conta dei neutrofili. Mentre per la funzione fisiologica, i benefici del massaggio sono ancora carenti, le prove scientifiche a sostegno dei loro benefici psicologici sono sostanzialmente maggiori. Due studi [35][36] hanno scoperto che il massaggio ha ridotto i sintomi soggettivi del dolore muscolare a insorgenza ritardata. Hemmings et al. [37] hanno studiato l'effetto del massaggio su una misura del recupero percepito fatto dai soggetti che valutano la loro sensazione su una scala lineare di 4 elementi (rinfrescata, ricaricata, riposata e recuperata) durante il recupero di 1 ora implementato tra due incontri di boxe simulati. I risultati hanno mostrato che l'intervento di massaggio ha aumentato significativamente la percezione del recupero rispetto all'intervento di riposo passivo senza migliorare la forza del pugno durante il secondo incontro. Allo stesso modo, Hilbert et al.[38] hanno scoperto che l'intensità del dolore era significativamente inferiore nei soggetti sottoposti a un trattamento di massaggio (effleurage, tapotement e petrissage) rispetto al gruppo di controllo a 48 ore dopo l'esercizio. In conclusione, la maggior parte delle prove indica che il massaggio è efficace nell'alleviare il dolore muscolare e migliorare la percezione del recupero, sebbene il suo effetto sulla funzione muscolare e sulle prestazioni non sia chiaro. L'incoerenza nei risultati della ricerca potrebbe essere attribuita alla grande varietà di tecniche di massaggio utilizzate e all'abilità individuale del terapeuta. Sono necessarie ulteriori ricerche per identificare le condizioni di massaggio (tipo, durata e periodo) che producono benefici positivi per il processo di recupero [6].

2.3.8 Stimolazione elettrica

La stimolazione elettrica è un'altra strategia di recupero utilizzata da alcuni calciatori professionisti (13% delle squadre di calcio professionistiche). La stimolazione elettrica

comporta la trasmissione di impulsi elettrici attraverso elettrodi di superficie per stimolare perifericamente i motoneuroni, provocando contrazioni muscolari. Molte forme di stimolazione elettrica possono essere eseguite in base alla frequenza, all'intensità o all'ampiezza della corrente, alle caratteristiche dell'impulso (la forma e la durata), al ciclo di lavoro, all'elettrodo; ma la stimolazione nervosa elettrica transcutanea e la stimolazione elettrica a bassa frequenza sono quelle più frequentemente utilizzate per scopi di recupero.

Gli effetti della stimolazione elettrica sul recupero della capacità di produzione della forza e sulla riduzione del dolore muscolare sono stati esaminati da Babault et al. [39]. I risultati relativi ai benefici della stimolazione elettrica mediante stimolazione nervosa elettrica transcutanea o stimolazione elettrica a bassa frequenza sul processo di recupero sono equivoci. Tra gli studi esaminati da Babault et al. [39], 11 studi su 12 non sono riusciti a trovare un effetto significativo della stimolazione elettrica sulla capacità di mantenere le prestazioni dopo l'esercizio. Gli effetti positivi della stimolazione elettrica a bassa frequenza sono stati trovati per la clearance CK e la rimozione del lattato nel sangue, con i limiti precedentemente evocati per questi marcatori biochimici nel processo di recupero.

In conclusione, sebbene la stimolazione elettrica sia spesso utilizzata per scopi di recupero, non esistono prove scientifiche riguardo ai suoi effetti per mantenere le prestazioni fisiche. Anche i livelli di evidenza scientifica riguardanti il decremento della valutazione soggettiva come l'indolenzimento muscolare sono limitati [6].

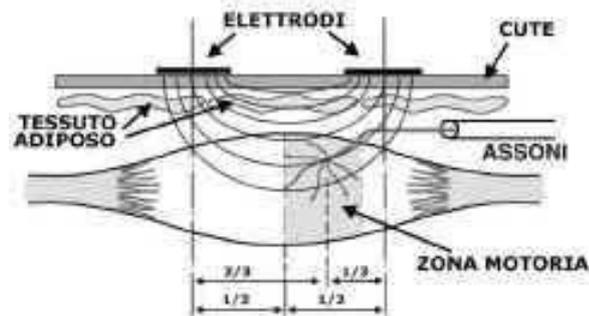


Fig. 2.4: Rappresentazione grafica dell'azione della stimolazione elettrica nel muscolo

2.4 Controllo della frequenza cardiaca durante le partite

La FC media registrata durante il match play varia tra 165 e 175 b/min, sia in gare ufficiali che amichevoli. In relazione all'età, alcune peculiarità sono state osservate sia nei calciatori giovani che in quelli più anziani. Capranica et al. [16] hanno riferito che la FC media dei giovani calciatori superava 170 b/min per l'84% della durata totale della partita durante le partite ufficiali con campi di dimensioni regolari (100 × 65 m). Al contrario, Tessitore et al. [17] hanno riportato valori assoluti di FC compresi tra 120 e 140 b/min per i giocatori dilettanti più anziani ($62,8 \pm 5,9$ anni) durante una partita. L'identificazione dei carichi fisiologici imposti dall'allenamento di calcio o dal match play rivela informazioni essenziali, che possono aiutare a migliorare le strategie di allenamento e di recupero. Fino ad oggi, l'uso del monitoraggio della frequenza cardiaca non è standardizzato nel calcio. La frequenza cardiaca è una delle variabili fisiologiche più comuni utilizzate per determinare il carico di lavoro interno dell'esercizio. L'IE medio registrato durante le partite competitive è stato descritto come 70–80% di VO_2 max (consumo massimo di ossigeno) o 80–90% della frequenza cardiaca massima (FCmax), indipendentemente dal livello di gioco. Per quanto riguarda le zone di allenamento della FC, circa il 65% della durata totale della partita viene trascorso a un'intensità del 70–90% FCmax e raramente al di sotto del 65% FCmax. Tuttavia, sebbene la FCmax sia utilizzata principalmente in letteratura, il monitoraggio dell'IE dovrebbe essere espresso in relazione alla frequenza cardiaca di riserva, poiché è stato descritto come un indicatore più affidabile della FC, consentendo confronti interindividuali. L'analisi puntuale delle risposte cardiache durante il match play secondo i diversi tempi rivela che l'IE (intensità dell'esercizio) medio, misurato dalla FC, diminuisce nella seconda metà rispetto alla prima metà. Quando l'IE è stato considerato come una funzione del tempo in relazione alle zone di intensità della FCmax, studi [14,15] hanno rilevato una redistribuzione delle zone nel secondo tempo. Hanno osservato una riduzione del tempo trascorso entro l'85–90% della FCmax e un aumento del tempo trascorso nella zona di intensità inferiore (75–80% della FCmax). Durante la seconda metà della partita, i giocatori professionisti hanno coperto il 5–10% in meno di distanza rispetto alla prima metà, soprattutto nelle intensità moderate (11,1–19,0 km/h) e ad alta intensità (18,0–30,0 km/h). Nello stesso contesto, la concentrazione di lattato nel sangue, la distanza percorsa ad alta intensità e il numero di sprint hanno confermato la diminuzione delle azioni ad alta intensità durante il secondo tempo, descritto come indipendente dal livello di gioco.

Queste riduzioni della prestazione fisica che si verificano a fine gara inducono l'allenatore a programmare allenamenti specifici per cercare di ridurre tale diminuzione. La squadra in cui

i giocatori presentano la minore riduzione di azioni ad alta intensità (come la distanza totale percorsa in sprint) durante una partita dovrebbe essere la squadra vincente nella maggior parte dei casi. Queste riduzioni sono state anche descritte come maggiori nei dilettanti rispetto ai calciatori professionisti, a dimostrazione della maggiore capacità di eseguire azioni ad alta intensità. Pertanto, i giocatori professionisti hanno prestazioni più elevate nella massima potenza aerobica, forza muscolare e capacità di eseguire esercizi intermittenti di breve durata ad alta intensità.

In questo contesto, la riduzione delle risposte della FC nella seconda metà della partita non può essere legata solo alla riduzione della prestazione fisica, come si è detto in precedenza. Una possibile ragione per spiegare questi risultati è che la risposta della FC del giocatore durante una partita raramente raggiunge valori inferiori al 65% FCmax, anche nei giovani e nei giocatori più anziani. Quindi, con i bruschi e costanti cambiamenti di intensità durante il gioco, sembra che il VO₂ sia limitato da fattori locali, come la capacità ossidativa dei muscoli attivi. Alcuni meccanismi fisiologici locali potrebbero spiegare la minore attività fisica dei giocatori alla fine del secondo tempo. Durante il match play è stata osservata una progressiva degradazione del glicogeno muscolare (dal 40 al 90%) nelle fibre muscolari, specialmente nelle fibre di tipo IIb. C'è anche una riduzione dei livelli di creatina fosfato, del pH muscolare, un aumento della ionosina monofosfato muscolare, un accumulo delle riserve di potassio e una diminuzione temporanea della temperatura del quadricipite e del corpo, oltre alla disidratazione. Nonostante questi fattori suggestivi, i motivi che potrebbero causare affaticamento o sovraccarico nei calciatori durante una partita sono multifattoriali e ancora non chiari e non sono sempre associati a una riduzione delle prestazioni degli sprint.

Il carico fisiologico del calcio e le difficoltà di idratazione durante le situazioni agonistiche provocano una perdita media di 1,4 L di sudore, una riduzione dell'1,5-4% della massa corporea e una diminuzione del 7-12% del volume plasmatico. Questi aspetti sono da collegare alla regolazione della termogenesi che indurrebbe un aumento delle risposte della FC dei giocatori nella seconda metà della partita per compenso cardiovascolare. Tuttavia, nel secondo tempo è stato osservato un mancato aumento delle prestazioni, probabilmente a causa di un minore impegno fisico della partita.

È stato anche suggerito che queste riduzioni della prestazione fisica nella seconda metà della partita potrebbero essere causate da altri fattori come aspetti tattici, tecnici e psicologici. Ad esempio, Lago-Penas et al. [19] hanno dimostrato che la squadra in vantaggio durante una

partita trascorrevano più tempo nella propria zona difensiva e presentava una distanza totale coperta inferiore in condizioni di alta intensità.

Inoltre, Mohr et al. [20] hanno dimostrato che il calo delle prestazioni fisiche e della temperatura muscolare durante l'intervallo era associato alla riduzione della capacità di sprint (circa 2,4%) all'inizio del secondo tempo. Tuttavia, questa capacità è stata mantenuta quando durante l'intervallo sono state eseguite attività a bassa intensità (circa il 70%) del picco di FC raggiunto durante la partita per preservare la temperatura dei muscoli quadricipiti. Pertanto, strategie di mantenimento della temperatura corporea dovrebbero essere adottate durante l'intervallo della partita. Tuttavia, potrebbe essere interessante esaminare in modo specifico la relazione tra FC e sovraccarico nel calcio, ma sembra che troppe variabili dovrebbero essere considerate contemporaneamente (variazione ormonale, onda omega, stress, ecc.) e quindi la FC non può essere isolata e costituisce un interesse limitato, soprattutto nel calcio.

Infine, nei giocatori professionisti, giovanili e universitari, è stato dimostrato che le risposte della FC differivano a seconda delle posizioni di gioco, con valori maggiori per i centrocampisti e valori più bassi per i difensori centrali. Il sovraccarico cardiovascolare dei centrocampisti potrebbe essere spiegato dalle funzioni tattiche di questi giocatori nei moderni sistemi tattici di gioco del calcio. Questi giocatori hanno presentato una maggiore distanza totale percorsa in volata, un maggior numero di possesso palla e un maggior numero di duelli. Inoltre, dal punto di vista tecnico e tattico, sono inseriti sia nel gioco offensivo che in quello difensivo. I centrocampisti di solito presentano le migliori capacità aerobiche, che consentono loro maggiori possibilità di partecipazione attiva durante le partite. Studi tradizionali hanno riportato che attaccanti e terzini hanno un numero maggiore di azioni anaerobiche (sprint) rispetto ad altre posizioni. In modo complementare, i difensori coprono una distanza totale maggiore nella corsa all'indietro, e i centrocampisti trascorrono più tempo nel jogging e nella corsa ad alta intensità. Nonostante queste differenze nelle caratteristiche del tempo-movimento, nello stile di gioco e negli obblighi tattici, l'uso dell'IE come misura della durata totale trascorsa in una precisa zona di intensità potrebbe rappresentare meglio il carico fisiologico in base alla posizione di gioco. L'interazione di più posizioni in un determinato sistema tattico e la combinazione con diversi sistemi tattici potrebbe portare informazioni importanti per stabilire obiettivi e proiezioni strategiche per la preparazione fisica, la partita e il recupero [8].

Intensità di esercizio	VO ₂ max (%)	FC max (%)	FC di riserva (%)	Scala di Borg	Tipo di esercizio
Lieve	<40	<55	<40	10-11	Aerobico
Moderata	40-69	55-74	40-69	12-13	Aerobico
Alta	70-85	75-90	70-85	14-16	Aerobico + lattati
Molto alta	>85	>90	>85	17-19	Aerobico + lattati + anaerobico

Fig. 2.5: Indicatori di intensità di esercizio (IE)

2.5 Prevenzione dei rischi per la salute degli atleti

La morte cardiaca improvvisa (SCD) è la causa più comune di morte innaturale nello sport. Per prevenire (ove possibile) e gestire urgentemente (quando necessario) l'arresto cardiaco improvviso (SCA) all'interno e intorno al campo di gioco del calcio, F-MARC (FIFA Medical and Research Center) si è impegnata in un programma di ricerca, formazione, standardizzazione e implementazione di gestione delle emergenze di SCA. Questa strategia, con la sua portata mondiale, ha individuato una moltitudine di giocatori particolarmente a rischio che sono stati opportunamente limitati dalle competizioni e hanno fornito assistenza clinica esperta. A seguito dei protocolli di medicina d'urgenza del calcio della FIFA, un giocatore di calcio è stato rianimato con successo dopo aver subito un SCA sul campo di calcio in Nepal.

Nel 2012, Schmied et al.[40] hanno intrapreso un sondaggio tra le federazioni affiliate alla FIFA per stimare la frequenza del verificarsi di SCA nel calcio. Da 126 dei 170 sondaggi restituiti, sono stati segnalati 107 casi di SCA/SCD e 5 morti improvvise inspiegabili legate al calcio durante il periodo di revisione del sondaggio di 10 anni. Questo risultato semplice e non convalidato indicherebbe una SCA/SCD ogni mese negli ultimi 10 anni. Pertanto, per ricercare scientificamente l'incidenza globale della SCA/SCD nel calcio, in collaborazione con l'Istituto di medicina sportiva e preventiva di Saarbrücken, in Germania, nel gennaio 2014 la FIFA ha lanciato un registro mondiale delle morti improvvise per documentare gli eventi mortali avvenuti sui campi di calcio di calcio.

La morte inaspettata di Marc Vivien Foé sul campo di gioco della FIFA Confederations Cup 2003, ha portato la FIFA a sostenere tutti gli sforzi per prevenire la SCD nei calciatori implementando un programma standardizzato di "screening medico pre-gara" (PCMA). Il

PCMA è obbligatorio per tutte le squadre che partecipano alla FIFA e a molti tornei nazionali, con la Coppa del Mondo FIFA Germania 2006 che è stata una pietra miliare per quanto riguarda la prevenzione primaria della SCD nel calcio poiché questa è stata la prima volta che il PCMA è diventato obbligatorio per tutti i giocatori in una Coppa del Mondo FIFA.

Attualmente, il programma FIFA PCMA consiste in un questionario medico sulla storia personale e familiare di un giocatore, un esame fisico mirato e completo, un ECG a riposo a 12 derivazioni e, se e quando necessario, un ecocardiogramma, test di laboratorio e test da sforzo. Il PCMA è progettato per rilevare la maggior parte delle anomalie cardiache potenzialmente fatali su base genetica in calciatori, arbitri e assistenti arbitri, uomini e donne, e in vari gruppi etnici.

Nonostante il PCMA obbligatorio prima di tutti i tornei FIFA e altri programmi nazionali, il rischio di SCA imprevisto rimane durante e dopo l'allenamento e durante la partita. Di conseguenza, oltre al riconoscimento immediato richiesto dell'SCA, la risposta del team medico d'emergenza sul campo di gioco al giocatore collassato, la rapida rianimazione sul sito del collasso e il trasferimento alle cure mediche definitive sono imperativi. Il ritmo cardiaco potenzialmente letale predominante nell'arresto cardiaco improvviso nello sport è la fibrillazione ventricolare. Pertanto, un defibrillatore automatico esterno (AED) completamente funzionante è obbligatorio in tutti i tornei FIFA. La FIFA ha avviato lo sviluppo, l'approvvigionamento, la distribuzione e la formazione della borsa di emergenza medica FIFA (FMEB) nel maggio 2013 e ha stabilito uno standard globale nello sport per la fornitura di cure mediche di emergenza sul campo di gioco. Alle squadre mediche sul campo di gioco è stato consigliato di garantire non solo la presenza dell'FMEB a bordo campo, ma di sottoporsi a formazione e quindi sviluppare competenze nell'uso dell'FMEB per una varietà di emergenze mediche sul campo di gioco, tra cui SCA. Ciò include la necessità di un immediato riconoscimento di un SCA sul campo di gioco e una rapida risposta sul campo in conformità con le regole del gioco.

Il riconoscimento di SCA sul campo ha richiesto a F-MARC di riconoscere la specificità della diagnosi di SCA nello sport e la sua differenza rispetto alla SCA pubblica generalmente insegnata al di fuori dell'ospedale. Questi segni di SCA sul campo di gioco sono diventati un protocollo standard e includevano il termine "collasso senza contatto" e movimenti degli arti di tipo "mioclonico lento" che, insieme ai segni comuni di "mancata risposta/incoscienza" e "respirazione anormale/assente", sono diventati i segni distintivi dell'SCA su un campo da

calcio. La causa più probabile di SCA è la cardiomiopatia ipertrofica e l'infarto miocardico dovuto a malattia coronarica nei giocatori e negli arbitri più anziani. Di conseguenza, è obbligatorio che la risposta in seguito al collasso senza contatto sia immediata in quanto vi è un'esigenza critica di defibrillazione. A causa del fatto che può verificarsi un crollo senza contatto fuori dalla vista dell'arbitro, con la palla ancora in gioco, F-MARC si è consultato con la divisione arbitrale della FIFA. Pertanto, durante la Coppa del Mondo FIFA Brasile 2014, è stato approvato che in caso di collasso senza contatto, tre membri del team medico del campo di gioco sarebbero entrati immediatamente nel campo di gioco con tutte le attrezzature mediche necessarie e prendere in carico il giocatore che improvvisamente è crollato. Il quarto membro del team medico deve prima informare il quarto arbitro dell'emergenza medica e poi ricongiungersi al team medico per aiutare con la rianimazione in corso. Questo cambiamento nelle regole pratiche del gioco consente l'accesso al terreno di gioco e al giocatore che è crollato a causa di un SCA durante la partita in corso, senza la conoscenza o il permesso dell'arbitro. Questa innovazione, concordata da tutti, mira a ridurre al minimo la probabilità di morte nei casi di SCA. L'inizio rapido delle compressioni toraciche esterne con le sole mani, l'applicazione tempestiva e l'uso di un AED è diventata un'assistenza medica standard per SCA ai tornei FIFA ed è attualmente fortemente promossa da tutte le federazioni calcistiche a livello globale [9].



Fig. 2.6: Defibrillatore automatico esterno (AED)

Capitolo 3: Applicazioni del Monitoraggio Biomeccanico nel Calcio

3.1 Analisi della tecnica di movimento dei calciatori

Nelle scienze del calcio e degli allenatori, l'analisi dei modelli di movimento dei giocatori si è concentrata principalmente sull'impatto di fattori come le dimensioni del campo, il numero di giocatori sul campo e persino le condizioni meteorologiche o l'incoraggiamento dell'allenatore sui modelli di movimento eseguiti. A un livello più personale, l'impatto mentale degli schemi di movimento eseguiti è stato studiato intensamente. Più recentemente, sono stati introdotti metodi che combinano informazioni spaziali e contestuali per studiare le prestazioni nel calcio. Per quanto interessanti, questi studi non riescono a rilevare gli effettivi schemi di movimento spaziale dei giocatori, che sono utili per un allenatore per descrivere lo stile di gioco o le tattiche di un gruppo di giocatori o di una squadra. Gli stili di gioco nel calcio possono essere descritti come il comportamento generale di un gruppo di giocatori o di un'intera squadra, finalizzato al raggiungimento degli obiettivi difensivi e offensivi in una partita. L'impatto dei diversi stili di gioco sulle prestazioni della squadra può essere studiato analizzando una o più metriche che possono essere derivate da dati di posizione come, tra gli altri, il possesso palla, le direzioni di passaggio e distribuzioni o i luoghi di eventi come intercettazioni, palle perse e calci piazzati. Tuttavia, gli stili di gioco eseguiti nel calcio sono influenzati da una varietà di fattori, anche fattori contestuali come lo stato della partita o il luogo della partita sono di comprovata importanza. Il rilevamento di schemi di movimento ricorrenti potrebbe contribuire alla caratterizzazione degli stili di gioco e delle tattiche nel calcio descrivendo il comportamento di movimento dei giocatori sul campo. Nelle squadre di calcio, il rilevamento del modello di movimento spaziale viene generalmente effettuato mediante ispezione video e analisi notazionale sia della propria squadra che dell'avversario. L'aspetto principale di questo rilevamento consiste nel trovare e annotare visivamente schemi di movimento simili che si verificano durante una o più partite, il che è uno sforzo soggettivo e che richiede molto tempo e che spesso ha una qualità limitata a causa della scarsa accuratezza osservativa di allenatori o analisti.

Quando si analizzano i movimenti dei giocatori di calcio durante una partita di calcio, è interessante rilevare i modelli di movimento spaziale di uno o più giocatori. Questo significa trovare diversi intervalli di tempo, in una o più partite, durante i quali uno o più giocatori hanno eseguito movimenti simili sul campo. Ciò è possibile con o senza predefinire un modello di movimento spaziale di interesse. Quando nessun modello di questo tipo viene utilizzato come riferimento, l'analisi può essere vista come un esempio di data mining.

Questo implica che vengano calcolate le somiglianze tra tutti i possibili movimenti che si verificano durante una o più partite di calcio. I possibili risultati includono uno o più gruppi di movimenti che presentano somiglianze superiori a una certa soglia. Sebbene gli approcci di data mining siano stati utilizzati per rilevare i modelli di movimento nel calcio, non garantiscono che i modelli rilevati siano significativi per allenatori o analisti. Quando un modello di movimento spaziale predefinito viene utilizzato come riferimento, il problema viene definito pattern matching. Poiché il set di dati viene analizzato utilizzando un modello di movimento spaziale di riferimento, viene definito riconoscimento del modello di movimento spaziale piuttosto che rilevamento. Applicato al calcio, il pattern matching implica che vengano calcolate le somiglianze tra il movimento di riferimento e tutti gli altri movimenti che si verificano durante una o più partite di calcio. Di conseguenza, viene riconosciuto uno schema di movimento del giocatore quando viene trovato un intervallo di tempo con una distanza inferiore a una data soglia.

Il Qualitative Trajectory Calculus (QTC) è un calcolo qualitativo per descrivere le relazioni spazio-temporali tra due o più Moving Point Objects (MPO). La forma più elementare del calcolo, QTC, descrive il movimento relativo di una coppia di MPO durante un intervallo di tempo per mezzo di due caratteri QTC. Quando si descrive il movimento relativo di più di due MPO, le relazioni a coppie vengono memorizzate in una matrice QTC. Quando si descrivono movimenti relativi su più intervalli di tempo, le matrici QTC consecutive possono essere raccolte in una sequenza. Considerando i giocatori di calcio come MPO, QTC può essere utilizzato per descrivere i movimenti spaziali di quei giocatori durante un particolare intervallo di tempo in una partita (Fig. 3.1a). I movimenti spaziali di un insieme di giocatori durante un intervallo di tempo così ben definito vengono chiamati "frammento". Pertanto, ogni frammento può essere descritto da una sequenza di matrici QTC (Fig. 3.1b), dove il numero di giocatori determina la dimensione delle singole matrici QTC che compongono la sequenza, mentre la lunghezza della sequenza è definita dalla lunghezza temporale e risoluzione del frammento [12].

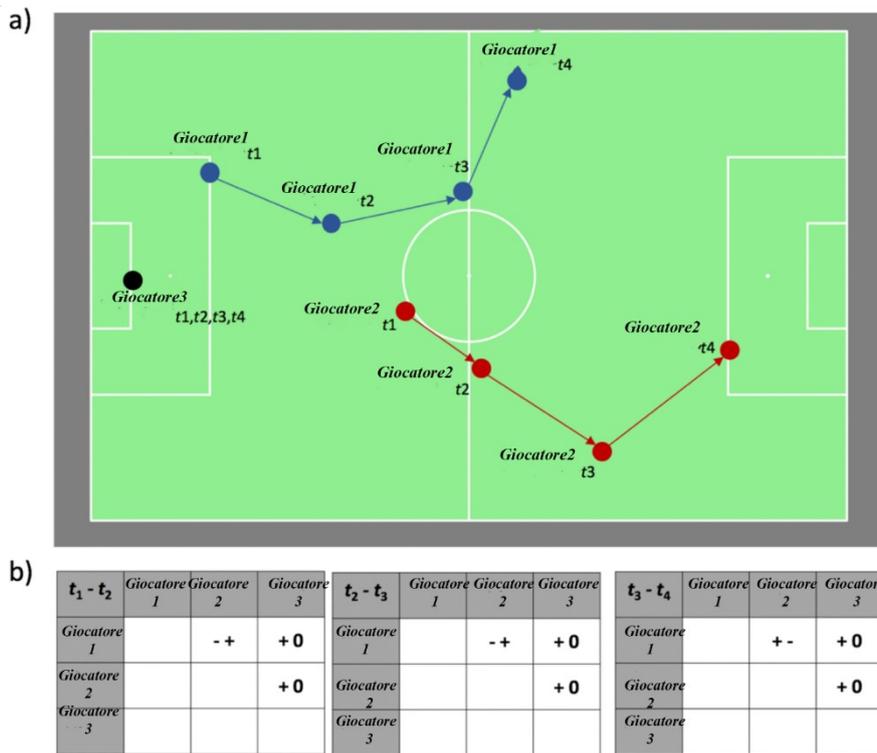


Fig. 3.1: QTC per descrivere i movimenti del calcio.

Un frammento che mostra le posizioni di tre giocatori (*Giocatore 1*, *Giocatore 2* e *Giocatore 3*) in quattro timestamp (t_1, t_2, t_3, t_4) su un campo di calcio (a). La sequenza della matrice QTC descrive i movimenti spaziali durante questo frammento. Nella prima sequenza della matrice, il movimento di ciascun giocatore da t_1 a t_2 è descritto rispetto alla posizione di tutti gli altri giocatori in t_1 . Se questo movimento è verso un altro giocatore in t_1 , la relazione QTC è indicata con '-', se il movimento è lontano da essa, la relazione QTC è indicata con '+'. Se il movimento non è né lontano né verso il marcatore, la relazione QTC è indicata con '0'. Il primo carattere in ogni cella è la relazione QTC del marcatore nell'intestazione della riga rispetto al marcatore nell'intestazione della colonna, il secondo carattere è la relazione QTC del marcatore nell'intestazione della colonna rispetto al marcatore nell'intestazione della riga (b) [12].

3.2 Valutazione delle prestazioni dei giocatori nel contesto di gioco

L'intensità di una partita di calcio dipende da un'ampia gamma di fattori: qualità dell'avversario, periodo della stagione, condizioni meteorologiche, forma della squadra, stato della partita ecc. Tuttavia, uno dei fattori più dominanti nel calcio è la qualità degli avversari. Gli avversari di qualità superiore di solito richiedono maggiori sforzi fisici durante il gioco, il che, a sua volta, si traduce in un aumento dei valori della distanza totale (TD), della velocità massima, della velocità media, della frequenza delle azioni ad alta intensità (HIA) ed eventi legati alle variazioni di velocità (accelerazioni e decelerazioni). Questo non è sempre vero, perché dipende fortemente dal contesto e dagli stili di gioco di ciascuna squadra. Secondo Garcia-Unanue et al.[41], le partite in trasferta accumulano significativamente più TD (+230,65 m), ma non sono state riscontrate differenze che dipendessero dalla qualità dell'avversario. Tuttavia, un'analisi tra il primo e il secondo tempo ha rivelato una significativa riduzione della distanza totale coperta dai giocatori contro squadre di livello inferiore (-290,42 m) e squadre di livello medio (-374,56 m). I periodi congestionati possono anche avere un grande impatto sulle prestazioni dei giocatori e ridurre il numero di HIA che un giocatore può sostenere. Le differenze di intensità sono presenti tra le posizioni di gioco. Pertanto, i centrocampisti centrali (CM) e gli esterni di centrocampo (WM) coprono un TD maggiore e hanno una velocità media più elevata, mentre i WM e i terzini (FB) coprono distanze maggiori nella corsa ad alta velocità (HSR) e nello sprint. I difensori centrali (CB) e gli attaccanti (FW) di solito coprono le distanze più piccole, ma i FW coprono più distanza HSR rispetto ai CM. Quando si esamina l'influenza del cambio di punteggio sulle richieste di gioco, ci sono state segnalazioni secondo cui CM, WM e FW hanno aumentato il TD durante la vittoria, ma CB e WB hanno TD e HSR più alti durante la sconfitta. L'interpretazione dell'influenza del punteggio deve essere eseguita con attenzione, poiché è necessaria una definizione chiara della linea di punteggio per la quale considerare gli effetti di quest'ultima.

Diversi studi [41][42][43][44] hanno descritto varie situazioni di contesto e i loro effetti sulle metriche derivate dai dispositivi indossabili. Tuttavia, non ci sono stati tentativi di aumentare il livello di campionamento dei dati ed esaminare il cambiamento della domanda fisica in una partita minuto per minuto. Un altro problema è l'utilizzo di diversi fornitori di GPS, che hanno varie soglie per determinare la distanza dello sprint, la distanza HSR, il numero di sprint, il numero di fasi di accelerazione e decelerazione rilevate, ecc.; quindi, il concetto non può essere facilmente trasferito. Al giorno d'oggi, la maggior parte dei provider consente agli utenti di impostare le proprie soglie preferite. Tuttavia, questo richiama altri problemi, come l'utilizzo di

molte soglie diverse per gli stessi parametri. Inoltre, i valori accumulati (che sono quelli più utilizzati) forniscono un'immagine complessiva, ma spesso non è particolarmente utile in quanto rappresenta una media della partita. Una squadra può giocare complessivamente una partita di media intensità, ma in realtà eseguire un primo tempo molto intenso e un secondo tempo meno intenso. Questa informazione è molto importante, insieme all'analisi individuale dello sforzo di un particolare giocatore all'interno della partita. L'ispezione dell'intensità nel contesto dei gol segnati e subiti può fornire informazioni su quale giocatore potrebbe essere un sostituto migliore a seconda del punteggio della partita. Non tutte le partite sono uguali: ognuno fornisce requisiti unici. Pertanto, il carico di allenamento nella settimana precedente dovrebbe essere adeguato in base alla spesa nella partita precedente e la forma fisica dei giocatori deve essere monitorata regolarmente per valutare i meso e i macrocicli della stagione [11].

3.3 Rilevamento e prevenzione delle lesioni attraverso l'analisi del movimento

Nello sport, e in particolare nel calcio, si verificano un gran numero di infortuni. L'Unione delle associazioni calcistiche europee (UEFA) e la Fédération Internationale de Football Association (FIFA), nonché le federazioni sportive nazionali, hanno condotto numerosi studi che descrivono i fattori di rischio e i meccanismi di lesione. Ora che i meccanismi e i fattori che influenzano le varie lesioni tipiche nel calcio sono noti, i fattori di rischio corrispondenti e lo sviluppo di tali lesioni possono anche essere analizzati e presentati da test in laboratorio o sul campo. Esistono numerosi test di screening muscoloscheletrici, ma attualmente non consentono di fare una dichiarazione affidabile sul rischio di lesioni. Negli ultimi anni, vari test di screening sono stati sempre più affermati nel calcio; questo include il Functional Movement Screen (FMS™), ma anche test di forza e di corsa, che possono essere parzialmente eseguiti sul campo di gioco. Un'altra possibilità di test di screening è l'analisi del movimento 3D basata su marcatori in combinazione con misurazioni dell'attività muscolare (elettromiografia, EMG). I dati biomeccanici possono essere raccolti in modo obiettivo, valido e affidabile. Sebbene questi metodi di misurazione richiedano materiale e tempo, sono adatti per una vasta gamma di applicazioni. Di conseguenza, questa diagnostica biomeccanica può essere integrata nella pratica clinica quotidiana e nell'allenamento negli sport ad alte prestazioni.

A causa della natura specifica dello sport, gli infortuni nei giocatori di calcio colpiscono principalmente l'area degli arti inferiori. Con un'incidenza del 31%, le lesioni muscolari nel

calcio professionistico sono la ragione più comune per l'assenza di un atleta a causa di un infortunio.

Oltre all'ecografia come opzione più veloce, la risonanza magnetica (MRI) è l'attuale gold standard per la valutazione e la classificazione delle lesioni muscolari, specialmente negli sport professionistici. Con l'aiuto dell'esame MRI, può essere confermata una sospetta diagnosi clinica e può essere descritta l'estensione complessiva, la posizione esatta della lesione e quindi anche una prognosi per la convalescenza dell'atleta. Negli sport professionistici, i controlli MRI vengono effettuati non solo per diagnosticare un possibile infortunio, ma anche nel corso riabilitativo al fine di valutare il processo di guarigione della struttura interessata. In combinazione con l'esame clinico, il carico viene spesso aumentato o rilasciato per il rispettivo sport. Tuttavia, il ripristino morfologico della struttura non equivale alla piena resilienza, pertanto, si verificano spesso lesioni gravi. Per il rientro ottimale o tempestivo nel carico atletico, la valutazione biomeccanica della struttura lesa in varie forme di movimento specifiche dello sport (corsa, salto, cambio di direzione, ecc.) è quindi cruciale. Tali analisi funzionali del sistema muscolo-scheletrico possono anche rivelare possibili deficit in una fase precoce come parte di esami preventivi come test di base, che potrebbero portare a lesioni nel corso successivo della stagione. Ma anche dopo gli infortuni, le informazioni di questi screening possono essere utilizzate come valori comparativi per il corso riabilitativo. Poiché le capacità motorie sportive dei singoli atleti sono molto diverse, non ci sono valori di riferimento per questo. I dati ottenuti nei test di base possono documentare il livello iniziale e individuale di un atleta e quindi definire l'obiettivo della riabilitazione. Pertanto, le analisi funzionali rappresentano un modo per ridurre significativamente il rischio di lesioni primarie o ricorrenti e per introdurre il giocatore in modo ottimale e nel più breve tempo possibile al carico sportivo.

Esistono numerose procedure di test che controllano il sistema muscolo-scheletrico per quanto riguarda la sua stabilità, forza e coordinazione. Questi includono:

- FMST™
- Star Excursion Balance Test/Y Balance Test,
- Drop Jump Screening Test,
- Landing Error Scoring System,
- Tuck Jump Assessment.

Alcune di queste analisi sono meno complesse e più facili da interpretare rispetto alle analisi strumentate del movimento 3D e possono essere eseguite sul campo di gioco. Tuttavia, i test funzionali frequentemente descritti in letteratura variano nel loro focus sul contenuto e sui cosiddetti criteri di qualità dei test: obiettività, affidabilità e validità. Una delle procedure di prova più conosciute e meglio studiate è FMS™. Ciò fornisce informazioni utili sulla qualità complessiva del movimento dell'atleta. I seguenti 7 esercizi sono utilizzati per cercare di scoprire differenze laterali (metà sinistra e destra del corpo) o disturbi nel movimento degli atleti:

- "Deep Squat",
- "Hurdle Step",
- "In-Line Lunge",
- "Shoulder Mobility",
- "Active Straight Leg Raise",
- "Push-up",
- "Rotary Stability".

Ciascuno degli esercizi viene valutato secondo criteri definiti con 0 o 3 punti (0 punti per il dolore o l'esecuzione insufficiente, da 1 a 2 punti per deviazioni significative o lievi e 3 punti per un'esecuzione efficiente molto buona). Il risultato complessivo con un massimo di 21 punti fornisce informazioni sugli squilibri muscolari e sulle singole aree problematiche. Sulla base dei deficit identificati, è possibile attuare un'ottimizzazione dell'allenamento individuale e, idealmente, misure di prevenzione degli infortuni. In uno studio [44] per valutare il rischio di lesioni per quanto riguarda le lesioni "senza contatto" nelle squadre di calcio internazionali (Premier League), FMS™ è stato descritto come il test più frequentemente utilizzato al momento [10].

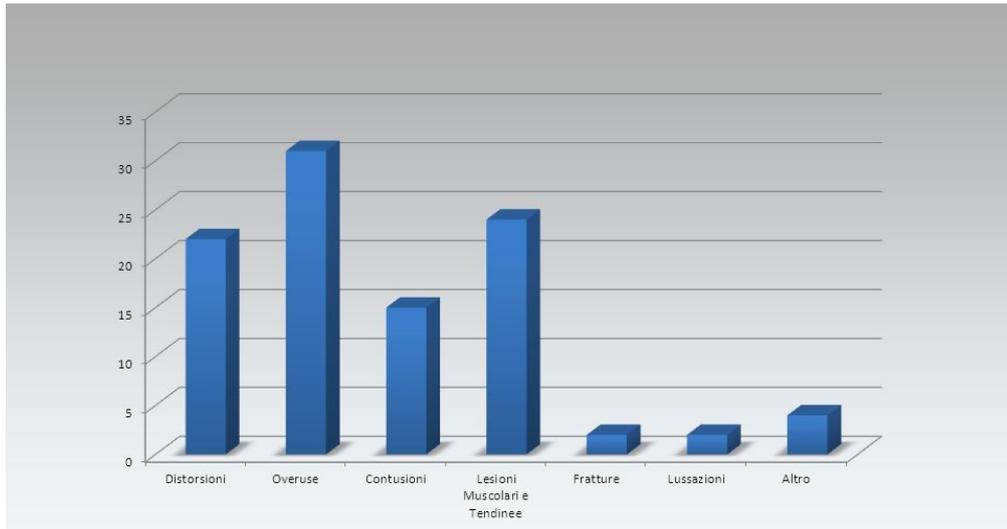


Fig. 3.2: Distribuzione della tipologia di infortunio in % [56].

Capitolo 4: Pubblicazioni scientifiche incluse nella revisione

Il diagramma a blocchi in figura 4.1 rappresenta il processo di ricerca e selezione della letteratura.

Le pubblicazioni scientifiche sopra discusse sono riportate in Tabella 4.1 e Tabella 4.2.

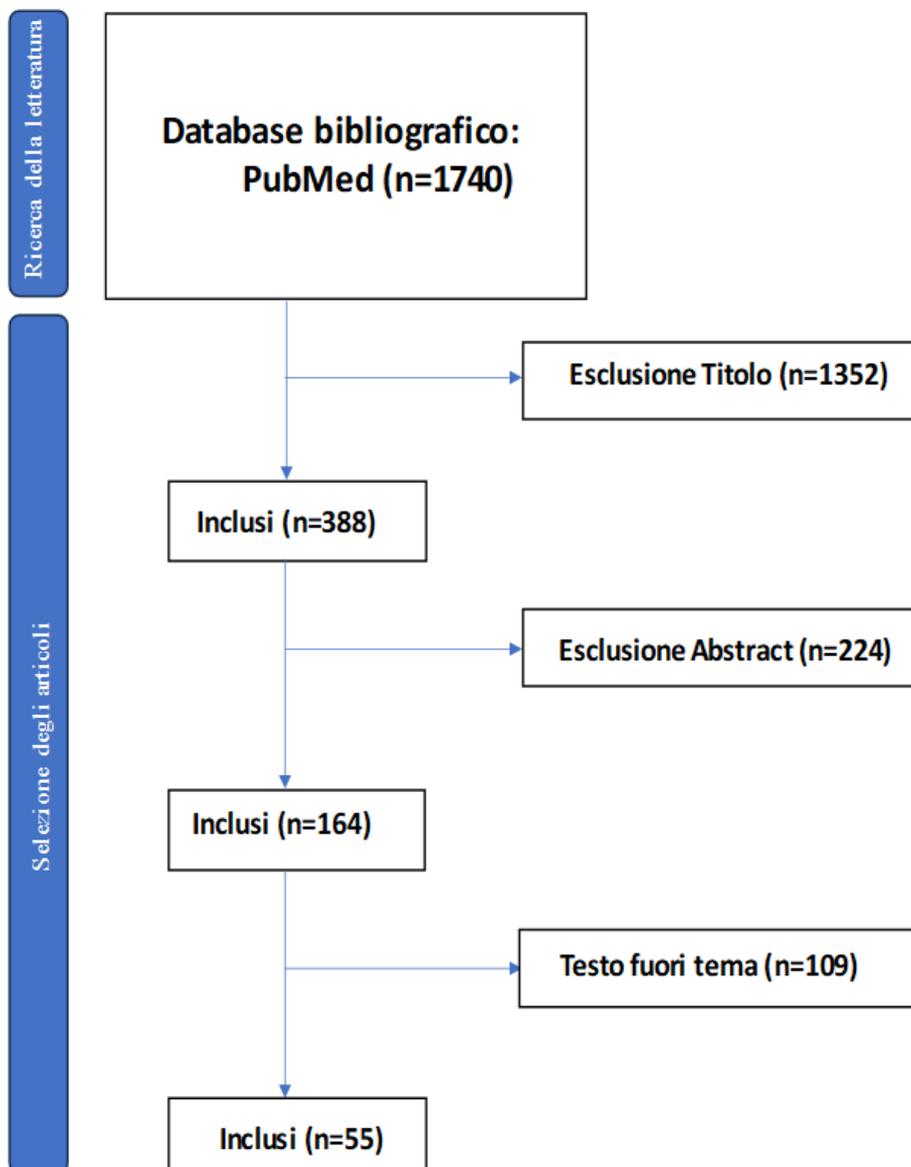


Fig. 4.1: Diagramma ad esclusione del processo di selezione della letteratura scientifica.

Tabella 4.1 Caratterizzazione delle review incluse nella revisione in base al tipo di studio, il numero di articoli selezionati, lo scopo e i risultati

Riferimento	Tipo di studio	Articoli selezionati	Scopo	Risultati
[2]	Revisione sistematica	82	Classificazione delle misure di carico interne ed esterne	Classificazione delle misure di carico interne ed esterne
[3]	Revisione sistematica	90	Classificazione dei principali marcatori fisiologici nel calcio	Classificazione di marcatori quali: frequenza cardiaca, variabilità della frequenza cardiaca, variabili biochimiche
[4]	Revisione sistematica	92	Valutazione dei vari metodi di analisi del movimento	Analisi dei dati sul tasso di lavoro complessivo, categorie di movimenti
[5]	Revisione sistematica	1276	Utilizzo del GPS per comprendere meglio le esigenze posizionali al fine di progettare i giusti programmi di allenamento	Descrizione dei profili di attività che caratterizzano il gioco, classificazione dei modelli di velocità
[6]	Revisione sistematica	144	Studiare le varie strategie di recupero	Strategie nutrizionali, immersione in acqua fredda, sonno, recupero attivo, stretching, indumenti a compressione, massaggio, stimolazione elettrica
[8]	Revisione sistematica	129	Analizzare, determinare e confrontare l'intensità dell'esercizio monitorata dall'HR nei calciatori professionisti, giovanili e ricreativi durante le partite e le sessioni di allenamento utilizzando una meta-analisi	La frequenza cardiaca può essere utilizzata per monitorare il carico di allenamento, l'intensità della partita può essere descritta come il 70-80% della frequenza cardiaca massima
[30]	Revisione sistematica	12	Determinare gli effetti dello stretching prima o dopo l'esercizio sullo sviluppo dell'indolenzimento muscolare a insorgenza ritardata	Lo stretching non produce riduzioni importanti dell'indolenzimento muscolare
[39]	Revisione sistematica	34	Valutare l'efficacia della stimolazione elettrica come modalità di recupero	Miglioramenti sulla rimozione del lattato e sull'attività della creatina chinasi; nessun risultato riguardo al ripristino della forza muscolare
[45]	Revisione sistematica	28	Valutazioni dei fattori ambientali e situazionali che influenzano le partite di calcio	Sono stati osservati cambiamenti banali nello svolgimento delle partite per quanto riguarda il possesso palla, la formazione della squadra e lo stato della partita
[47]	Revisione sistematica	70	Prevedere il tasso di sforzo percepito (sRPE) della sessione nel calcio e a determinare i principali indicatori predittivi dello sRPE	Il tasso di sforzo percepito può essere previsto in modo abbastanza accurato

Tabella 4.2 Caratterizzazione degli articoli di ricerca inclusi nella revisione in base al tipo di studio, la numerosità della popolazione, lo scopo e i risultati

Riferimento	Tipo di studio	Popolazione	Scopo	Risultati
[1]	Osservazionale	20	Monitoraggio frequenza cardiaca per misurare l'intensità dell'allenamento	Correlazioni tra il numero di accelerazioni e tempo trascorso con la frequenza cardiaca maggiore del 70% del massimo individuale
[7]	Caso-Controllo	32	Esaminare la validità del criterio e la sensibilità del recupero della frequenza cardiaca (HR_{Rec}) nel profilare l'idoneità cardiorespiratoria nei giocatori di calcio di sesso maschile nello stato non allenato e allenato	Non è stata trovata alcuna associazione significativa o di importanza pratica tra HR_{Rec} e fitness cardiorespiratorio sia negli stati non allenati che in quelli allenati
[9]	Articolo informativo	-	Prevenire e gestire l'arresto cardiaco improvviso	Sviluppo di linee guida mediche nel calcio
[10]	Caso-Controllo	177	Prevenire gli infortuni attraverso test biomeccanici	L'analisi del movimento 3D è un'opzione valida per valutare la qualità del movimento, esami biomeccanici complessi possono rivelare deficit funzionali e, quindi, riuscire a prevenire ri-lesioni
[11]	Osservazionale	38	Utilizzare i dati derivati dai dispositivi indossabili GPS per presentare un nuovo quadro per l'analisi delle prestazioni	Dispendio energetico dei giocatori durante l'intera durata di una partita di calcio, procedure per l'elaborazione e il raggruppamento dei dati allo scopo di verificare minuto per minuto le prestazioni fisiche dei giocatori
[12]	Osservazionale	22	Riconoscere modelli di movimento basati sui movimenti dei singoli giocatori	Distanza tra frammento studiato e frammento di riferimento attraverso il QTC (Qualitative Trajectory Calculus)
[14]	Osservazionale	44	Analizzare l'intensità dell'esercizio in diverse fasi della partita di calcio	Picchi di intensità, tempo trascorso sopra la soglia anaerobica
[15]	Caso-Controllo	19	Studiare gli effetti dell'allenamento aerobico sulle prestazioni durante le partite di calcio e su test specifici del calcio	Aumento del consumo massimo di ossigeno, della soglia del lattato, del numero di sprint e del numero di coinvolgimenti con la palla
[16]	Osservazionale	11	Confrontare l'analisi della partita e il carico fisiologico	Picchi di frequenza cardiaca e lattato nel sangue
[17]	Osservazionale	12	Valutazione attraverso test aerobici e anaerobici in giocatori anziani	Picchi di frequenza cardiaca, lattato nel sangue, prestazioni di corsa
[18]	Osservazionale	13	Quantificare il carico di allenamento entro cinque macrocicli	Differenza significativa in ogni parametro nel primo e nell'ultimo ciclo
[19]	Osservazionale	20	Analizzare quali statistiche della partita permettono di individuare le squadre vincenti	Picchi di tiri totali, tiri in porta, assist e fuorigioco commessi nelle squadre vincenti

Continuo Tabella 4.2

Riferimento	Tipo di studio	Popolazione	Scopo	Risultati
[20]	Osservazionale	25	Relazione tra temperatura del muscolo quadricipite e prestazione dello sprint	Correlazione diretta tra temperatura del muscolo quadricipite e prestazione dello sprint
[21]	Caso-Controllo	16	Valutare l'effetto di una dieta ricca di proteine e carboidrati sulla velocità di risintesi del glicogeno muscolare dopo una partita	La risintesi del glicogeno non viene aumentata seguendo una dieta ricca di proteine e carboidrati
[22]	Caso-Controllo	8	Determinare gli effetti dell'immersione in acqua fredda eseguita immediatamente o tre ore dopo una sessione di allenamento a intervalli ad alta intensità sulla prestazione fisica del giorno successivo	Miglioramento significativo della prestazione fisica
[23]	Caso-Controllo	6	Influenza della criomersione sui muscoli delle gambe e dell'avambraccio	Miglioramento della prestazione fisica
[24]	Caso-Controllo	16	Recupero delle prestazioni multitasking e della sonnolenza dalla deprivazione parziale acuta del sonno attraverso pause di riposo integrate nelle sessioni di prestazione e un'opportunità di recupero del sonno di otto ore la notte successiva	Prestazioni multitasking e sonnolenza fisiologica compromesse dal debito di sonno; miglioramento dopo il recupero del sonno
[25]	Osservazionale	153	Valutare la dipendenza tra quantità di sonno e suscettibilità al freddo	Aumento delle probabilità di sviluppare un raffreddore nei soggetti con basse quantità di sonno
[26]	Osservazionale	12	Studiare il ruolo dei carboidrati sull'induzione del sonno	Picchi del sonno dopo pasti ad alto contenuto di carboidrati
[27]	Caso-Controllo	10	determinare gli effetti del sonno post-pranzo sulla vigilanza soggettiva e sulle prestazioni in seguito alla parziale perdita di sonno	Miglioramento dell'attenzione e delle prestazioni mentali e fisiche
[28]	Osservazionale	10	Valutazione della risposta antinfiammatoria delle citochine dopo le partite	Picchi della risposta antinfiammatoria dopo la prima partita
[29]	Caso-Controllo	16	Valutazione dei cambiamenti negli antiossidanti plasmatici endogeni e alimentari e nei marcatori di stress ossidativo nel recupero attivo	La risposta antiossidante non è influenzata dall'allenamento di recupero attivo
[31]	Osservazionale	59	Indagare in che modo le variabili di carico esterno influenzano i marcatori di recupero	Effetti sostanziali sulla creatina e sulla mioglobina
[32]	Osservazionale	11	Indagare se indossare indumenti compressivi per la parte inferiore del corpo attenua gli indici di danno muscolare e il decremento delle prestazioni dopo l'allenamento	Picchi di creatina chinasi
[33]	Caso-Controllo	11	Valutazione dell'influenza degli indumenti compressivi nel recupero metabolico	Indossare indumenti compressivi nel recupero da esercizi eccentrici può alterare la risposta infiammatoria al danno e accelerare i processi di riparazione all'interno del muscolo

Continuo Tabella 4.2

Riferimento	Tipo di studio	Popolazione	Scopo	Risultati
[34]	Osservazionale	28	Quantificare e confrontare il carico dei giorni di allenamento e delle partite di una squadra di calcio professionistica	Misure di accelerazione e decelerazione integrano le variabili di carico esterno più comunemente utilizzate in base alla distanza e alla velocità
[35]	Caso-Controllo	8	Studiare gli effetti di un massaggio terapeutico sull'indolenzimento muscolare a insorgenza ritardata	Il massaggio terapeutico può attenuare il dolore e la dolorabilità associati al dolore muscolare a insorgenza ritardata
[36]	Caso-Controllo	10	Testare l'ipotesi che il massaggio applicato dopo l'esercizio eccentrico allevierebbe efficacemente l'indolenzimento muscolare a insorgenza ritardata senza influenzare la funzione muscolare	Il massaggio è stato efficace nell'alleviare l'indolenzimento muscolare a insorgenza ritardata, ma non ha avuto effetti sulla funzione muscolare.
[37]	Osservazionale	8	Studiare l'effetto del massaggio sul recupero percepito e sulla rimozione del lattato nel sangue	Aumento della percezione di recupero ma livelli costanti di lattato nel sangue
[38]	Caso-Controllo	18	Indagare gli effetti fisiologici e psicologici del massaggio sull'indolenzimento muscolare a insorgenza ritardata	Nessun miglioramento della funzione del muscolo ma riduzione significativa dell'intensità del dolore
[40]	Osservazionale	170	Stimare il verificarsi di eventi cardiaci nel calcio e di indagare le misure preventive adottate dalle federazioni membri della FIFA	Percentuali significative di arresto cardiaco improvviso
[41]	Osservazionale	140	Indagare l'influenza del luogo della partita, del periodo della partita e della forza dell'avversario sulla prestazione fisica nei calciatori professionisti	Picchi nella distanza totale percorsa
[42]	Osservazionale	23	Analizzare gli effetti del luogo della partita, della qualità degli avversari e del risultato della partita sulle prestazioni in base alla posizione di gioco	Effetti significativi nella distanza percorsa e nella velocità dovuti alla diversa qualità degli avversari
[43]	Osservazionale	22	Indagare gli effetti indipendenti e interattivi delle variabili situazionali, della formazione della squadra avversaria e della posizione di gioco sulle prestazioni	Gli effetti interattivi non erano significativi per nessuno degli indicatori di prestazione, le prestazioni di corsa sono aumentate nelle partite giocate in casa
[44]	Osservazionale	570	Valutare gli effetti della posizione di gioco, della posizione del campo, dell'abilità della squadra e dell'abilità degli avversari sui profili di attività fisica dei giocatori di calcio della Premier League	Regressione a "u" tra la distanza totale percorsa e la differenza reti; le prestazioni di corsa differiscono a seconda delle posizioni in campo
[46]	Osservazionale	24	Esaminare il carico di allenamento dei giocatori junior rispetto ai giocatori professionisti	Evidenti differenze tra l'allenamento dei giocatori junior e quello dei professionisti

Continuo Tabella 4.2

Riferimento	Tipo di studio	Popolazione	Scopo	Risultati
[48]	Osservazionale	151	Fornire il profilo tempo-movimento e fisiologico delle sessioni di allenamento regolari eseguite durante la stagione agonistica da calciatori U-15, U-17, U-19	Carichi di allenamento più elevati per i calciatori di età più avanzata
[49]	Osservazionale	151	Descrivere i profili di prestazione fisiologica dei giocatori junior durante una settimana	Dati con valori superiori durante la settimana piuttosto che nel pre/post partita
[50]	Osservazionale	15	Valutare la relazione tra gli indicatori del carico di allenamento esterno ed interno e l'affaticamento	Correlazione diretta tra il carico di allenamento settimanale e l'affaticamento
[51]	Osservazionale	9	Descrivere il carico di allenamento interno delle sessioni di allenamento comuni eseguite durante una settimana tipica e determinare le relazioni tra i diversi indicatori comunemente impiegati nel calcio professionistico	Picchi di frequenza cardiaca nelle sessioni con allenamento a circuito
[52]	Osservazionale	15	Esaminare le risposte di sonno, viaggio e recupero dei calciatori d'élite durante e dopo il viaggio aereo internazionale a lungo raggio	Differenze evidenti tra viaggio d'andata e notte di recupero; efficienza del sonno ridotta
[53]	Osservazionale	33	Descrivere la distribuzione all'interno del microciclo del carico esterno, inclusa l'accelerazione, durante le settimane di gioco della prima stagione in una squadra di calcio di Premier League	Differenze giornaliere in diverse variabili, associazione tra distanza totale percorsa e posizione di gioco
[54]	Osservazionale	12	Esaminare gli effetti del carico di allenamento interno accumulato durante la preseason (4 settimane) sui cambiamenti nella prestazione intermittente, in una squadra di calcio professionistica	Non è stata trovata alcuna relazione tra le misure del carico di esercizio derivate dalla frequenza cardiaca e i cambiamenti nella forma fisica intermittente

Conclusion

Nella ricerca di metodi avanzati per ottimizzare le prestazioni degli atleti nel calcio e garantire al tempo stesso il loro benessere, il monitoraggio cardiaco e biomeccanico si sono dimostrati elementi imprescindibili. Questa tesi ha indagato l'intersezione tra queste due aree di studio e ha evidenziato come il loro utilizzo congiunto possa aprire nuove prospettive nel campo dell'allenamento sportivo. I risultati e le discussioni presentate nella ricerca sottolineano l'importanza di integrare le informazioni fornite dal monitoraggio cardiaco e biomeccanico per ottenere una comprensione completa delle prestazioni degli atleti nel calcio.

Attraverso la revisione della letteratura, è emerso che il monitoraggio cardiaco, in particolare l'analisi della frequenza cardiaca, riveste un ruolo cruciale nel determinare l'intensità dell'attività fisica e l'adattamento fisiologico degli atleti. La capacità di misurare e interpretare le variazioni della frequenza cardiaca durante l'allenamento e le partite offre un vantaggio significativo nella personalizzazione degli allenamenti, nell'individuazione precoce dei segnali di sovrallenamento e nell'ottimizzazione delle strategie di recupero.

Dall'altro lato, il monitoraggio biomeccanico ha rivelato informazioni preziose sulle dinamiche muscoloscheletriche coinvolte nei movimenti calcistici. L'analisi approfondita di parametri come la velocità, l'angolo delle articolazioni e le forze applicate ha fornito una visione dettagliata della tecnica individuale e dei modelli di movimento. Questi dati possono guidare gli allenatori nell'affinare le abilità tecniche dei giocatori, migliorando l'efficacia dei movimenti e riducendo il rischio di infortuni legati a difetti di tecnica.

Nell'ambito di una prospettiva più ampia, l'integrazione di queste due metodologie di monitoraggio ha il potenziale per trasformare l'approccio all'allenamento nel calcio. Gli allenatori possono prendere decisioni più informate sulla progettazione di allenamenti individualizzati e strategie di recupero mirate, basate su dati oggettivi anziché su intuizioni soggettive. Questo approccio basato su dati contribuirà all'ottimizzazione complessiva delle prestazioni degli atleti e potrebbe contribuire alla riduzione dei rischi di lesioni a lungo termine.

Tuttavia, è importante riconoscere che il monitoraggio cardiaco e biomeccanico rappresenta solo una parte dell'ecosistema dell'allenamento nel calcio. Gli aspetti mentali, nutrizionali e di recupero svolgono un ruolo altrettanto cruciale nel plasmare le prestazioni degli atleti. Pertanto, la futura ricerca dovrebbe cercare di integrare queste dimensioni in un quadro più completo.

In sintesi, la ricerca condotta in questa tesi ha rivelato il valore inestimabile del monitoraggio cardiaco e biomeccanico nell'ottimizzazione delle prestazioni degli atleti nel calcio. Questo approccio basato su dati offre un'opportunità di affinare la progettazione dell'allenamento, migliorare la tecnica individuale e minimizzare il rischio di infortuni. Con un'attenzione continua e un'impostazione multidisciplinare, il calcio può accogliere un nuovo capitolo in cui le prestazioni atletiche sono elevate a nuovi livelli attraverso la sinergia di conoscenze scientifiche e pratica sportiva.

Bibliografia

1. Silva, Santos, Grishin, Rocha. Validity of Heart Rate-Based Indices to Measure Training Load and Intensity in Elite Football Players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 32(8):p 2340-2347; 2018.
2. Miguel, Oliveira, Loureiro, Garcia-Rubio, Ibanez. Load Measures in Training/Match Monitoring in Soccer: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18(5), 2721; 2021
3. Djaoui, Haddad, Chamari, Dellal. Monitoring training load and fatigue in soccer players with physiological markers. *Physiology & Behavior*, Volume 181; 2017.
4. Carling, Bloomfield, Nelsen, et al. The Role of Motion Analysis in Elite Soccer. *Sports Med* 38, 839–862; 2008.
5. Cummins, Orr, O'Connor, West. Global Positioning Systems (GPS) and Microtechnology Sensors in Team Sports: A Systematic Review. *Sports Medicine* volume 43, pages1025–1042; 2013.
6. Nédélec, McCall, Carling, et al. Recovery in Soccer. *Sports Med* 43, 9–22; 2013
7. Póvoas, Krstrup, Castagna; Validity and sensitivity of field tests' heart-rate recovery assessment in recreational football players. *PLoS ONE* 18(3): e0282058; 2023.
8. Dellal, da Silva, Hill-Haas, Wong, Natali, De Lima, Filho, Marins, Garcia, Chamari. Heart Rate Monitoring in Soccer: Interest and Limits During Competitive Match Play and Training, Practical Application. *Journal of Strength and Conditioning Research* 26(10):p 2890-2906; 2012.
9. Kramer, Dvorak, Schmied, et al F-MARC: promoting the prevention and management of sudden cardiac arrest in football *British Journal of Sports Medicine*; 2015.
10. Dewitz, Yildirim, Klein. Biomechanisches Screening zur Verletzungsprävention. *Unfallchirurg* 121, 455–462; 2018.
11. Skoki; Rossi; Cintia; Pappalardo; Štajduhar. Extended Energy-Expenditure Model in Soccer: Evaluating Player Performance in the Context of the Game. *Sensors*, 22, 9842; 2022.
12. Beernaerts, De Baets, Lenoir, Van de Weghe. Spatial movement pattern recognition in soccer based on relative player movements. 15(1): e0227746; 2020
13. Mirescu, Stefan-Claudiu & Harden, Scott. NONLINEAR DYNAMICS METHODS FOR ASSESSING HEART RATE VARIABILITY IN PATIENTS WITH RECENT MYOCARDIAL INFARCTION. *Romanian Journal of Biophysics*. 22. 117-124; 2016
14. Coelho. Determination of the activity's intensity of soccer players during official match play according to the heart rate monitoring. Doctoral thesis, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil, 2005
15. Helgerud, Engen, Wisloff, Hoff. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1925–1931, 2001.
16. Capranica, Tessitore, Guidetti, Figura. Heart rate and match analysis in pre-pubescent soccer players. *J Sports Sci* 19: 379–384, 2001.
17. Tessitore, Meeusen, Tiberi, Cortis, Pagano, Capranica. Aerobic and anaerobic profiles, heart rate and match analysis in older soccer players. *Ergonomics* 48: 1365–1177, 2005.
18. Oliveira, Brito, Martins, Mendes, Calvete; Carriço; Ferraz; Marques. In-Season Training Load Quantification of One-, Two- and Three-Game Week Schedules in a Top European Professional Soccer Team. *Physiol. Behav.*, 201, 146–156: 2019
19. Lago-Penas, Lago-Ballesteros, Dellal. Game-related statistics that discriminated winning, drawing and losing teams from the Spanish soccer league. *J Sports Sci Med* 9: 288–293, 2010.

20. Mohr, Krstrup, Nybo, Nielsen, Bangsbo. Muscle temperature and sprint performance during soccer matches: Beneficial effect of re-warm-up at half-time. *Scand J Med Sci Sports* 14: 156–162, 2004.
21. Gunnarsson, Bendiksen, Bischoff, et al. Effect of whey protein- and carbohydrate-enriched diet on glycogen resynthesis during the first 48 h after a soccer game. *Scand J Med Sci Sports*. 2011.
22. Brophy-Williams, Landers, Wallman. Effect of immediate and delayed cold water immersion after a high intensity exercise session on subsequent run performance. *J Sports Sci Med.*; 10:665–70; 2011
23. Yamane, Teruya, Nakano, et al. Post-exercise leg and forearm flexor muscle cooling in humans attenuates endurance and resistance training effects on muscle performance and on circulatory adaptation. *Eur J Appl Physiol.*;96(5):572–80; 2006
24. Sallinen, Holm, Hirvonen, et al. Recovery of cognitive performance from sleep debt: do a short rest pause and a single recovery night help? *Chronobiol Int.*;25(2):279–96; 2008
25. Cohen, Doyle, Alper, et al. Sleep habits and susceptibility to the common cold. *Arch Intern Med.*;169(1):62–7; 2009
26. Afaghi, O'Connor, Chow. High-glycemic-index carbohydrate meals shorten sleep onset. *Am J Clin Nutr.*;85(2):426–30; 2007
27. Waterhouse, Atkinson, Edwards, et al. The role of a short post-lunch nap in improving cognitive, motor, and sprint performance in participants with partial sleep deprivation. *J Sports Sci.*;25(14):1557–66; 2007
28. Andersson, Bøhn, Raastad, et al. Differences in the inflammatory plasma cytokine response following two elite female soccer games separated by a 72-h recovery. *Scand J Med Sci Sports.*;20(5):740–7; 2010
29. Andersson, Karlsen, Blomhoff, et al. Active recovery training does not affect the antioxidant response to soccer games in elite female players. *Br J Nutr.*;104(10):1492–9; 2010
30. Herbert, de Noronha, Kamper. Stretching to prevent or reduce muscle soreness after exercise. *Cochrane Database Syst Rev.*; (7):CD004577; 2011
31. Wiig, Raastad, Luteberget, Ims, Spencer. External Load Variables Affect Recovery Markers up to 72 h After Semiprofessional Football Matches. *Front. Physiol.*, 10, 689; 2019
32. Davies, Thompson, Cooper. The effects of compression garments on recovery. *J Strength Cond Res.*;23(6):1786–94; 2009
33. Trenell, Rooney, Sue, et al. Compression garments and recovery from eccentric exercise: a 31P-MRS study. *J Sports Sci Med.* 5:106–14; 2006
34. Stevens, de Ruyter, Twisk, Savelsbergh, Beek. Quantification of In-Season Training Load Relative to Match Load in Professional Dutch Eredivisie Football Players. *Sci. Med. Footb.*, 1, 117–125; 2017
35. Farr, Nottle, Nosaka, et al. The effects of therapeutic massage on delayed onset muscle soreness and muscle function following downhill walking. *J Sci Med Sport.*;5(4):297–306; 2002
36. Zainuddin, Newton, Sacco, et al. Effects of massage on delayed-onset muscle soreness, swelling, and recovery of muscle function. *J Athl Train.*; 40(3):174–80; 2005
37. Hemmings, Smith, Graydon, et al. Effects of massage on physiological restoration, perceived recovery, and repeated sports performance. *Br J Sports Med.*; 34(2):109–14; 2000
38. Hilbert, Sforzo, Swensen. The effects of massage on delayed onset muscle soreness. *Br J Sports Med.*; 37(1):72–5; 2003

39. Babault, Cometti, Maffiuletti, et al. Does electrical stimulation enhance post-exercise performance recovery? *Eur J Appl Physiol.*;111(10):2501–7; 2011
40. Schmied, Drezner, Kramer, et al Cardiac events in football and strategies for first-responder treatment on the field *British Journal of Sports Medicine*; 47:1175-1178; 2013
41. García-Unanue, Pérez-Gómez, Giménez, Felipe, Gómez-Pomares, Gallardo, Sánchez-Sánchez. Influence of contextual variables and the pressure to keep category on physical match performance in soccer players. *PLoS ONE*, 13, e0204256; 2018
42. Teixeira, Leal, Ferraz, Ribeiro, Cachada, Barbosa, Monteiro, Forte. Effects of Match Location, Quality of Opposition and Match Outcome on Match Running Performance in a Portuguese Professional Football Team. *Entropy*, 23, 973; 2021
43. Aquino, Carling, Palucci Vieira, Martins, Jabor, Machado, Santiago, Garganta, Puggina. Influence of Situational Variables, Team Formation, and Playing Position on Match Running Performance and Social Network Analysis in Brazilian Professional Soccer Players. *J. Strength Cond. Res.*, 34, 808–817; 2020
44. Redwood-Brown, O'Donoghue, Nevill, Saward, Dyer, Sunderland. Effects of situational variables on the physical activity profiles of elite soccer players in different score line states. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 28, 2515–2526; 2018
45. Trewin, Meylan, Varley, Cronin. The influence of situational and environmental factors on match-running in soccer: A systematic review. *Sci. Med. Footb.*, 1, 183–194; 2017
46. Wrigley, Drust, Stratton, Scott, Gregson. Quantification of the Typical Weekly In-Season Training Load in Elite Junior Soccer Players. *J. Sports Sci.*, 30, 1573–1580; 2012
47. Geurkink, Vandewiele, Lievens, de Turck, Ongenaes, Matthys, Boone, Bourgois. Modeling the Prediction of the Session Rating of Perceived Exertion in Soccer: Unraveling the Puzzle of Predictive Indicators. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 14, 841–846; 2019
48. Abade, Gonçalves, Leite, Sampaio. Time–Motion and Physiological Profile of Football Training Sessions Performed by Under-15, Under-17, and Under-19 Elite Portuguese Players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 9, 463–470; 2014
49. Coutinho, Gonçalves, Figueira, Abade, Marcelino, Sampaio. Typical Weekly Workload of under 15, under 17, and under 19 Elite Portuguese Football Players. *J. Sports Sci.*, 33, 1229–1237; 2015
50. Zurutuza, Castellano, Echeazarra, Casamichana. Absolute and Relative Training Load and Its Relation to Fatigue in Football. *Front. Psychol.*, 8, 878; 2017
51. Campos-Vazquez, Mendez-Villanueva, Gonzalez-Jurado, León-Prados, Santalla, Suarez-Arrones. Relationships between Rating-of-Perceived-Exertion- and Heart- Rate-Derived Internal Training Load in Professional Soccer Players: A Comparison of On-Field Integrated Training Sessions. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 10, 587–592; 2015
52. Fullagar, Duffield, Skorski, White, Bloomfield, Kölling, Meyer. Sleep, Travel, and Recovery Responses of National Footballers During and After Long-Haul International Air Travel. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 11, 86–95; 2016
53. Akenhead, Harley, Tweddle. Examining the External Training Load of an English Premier League Football Team With Special Reference to Acceleration. *J. Strength Cond. Res.*, 30, 2424–2432; 2016
54. Campos-Vazquez, Toscano-Bendala, Mora-Ferrera, Suarez-Arrones. Relationship between Internal Load Indicators and Changes on Intermittent Performance After the Preseason in Professional Soccer Players. *J. Strength Cond. Res.*, 31, 1477–1485; 2017

55. McLaren, Macpherson, Coutts, Hurst, Spears, Weston. The Relationships between Internal and External Measures of Training Load and Intensity in Team Sports: A Meta-Analysis. *Sports Med.*, 48, 641–658; 2018
56. Nanni G. Le lesioni muscolari. *Atti XVI Congresso Isokinetic 2007*

Ringraziamenti

