



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Scienze biomediche

Corso di Laurea in Scienze motorie

Affaticamento neuromuscolare in giocatori e giocatrici di
basket

Relatore:

Laureando:

Prof. Martino Franchi

Davide Pedon

Matricola: 2118343

Anno Accademico 2025/2026

INDICE

ABSTRACT:.....	4
INTRODUZIONE ALLA FATICA NEUROMUSCOLARE	5
1.1 Premessa e Contesto Generale	5
1.2 La Fatica Muscolare, Meccanismi Periferici	5
1.2.1 Alterazioni dell'Accoppiamento Eccitazione-Contraazione	6
1.2.2 Bioenergetica e Accumulo di Metaboliti	7
1.2.3 Stress Ossidativo e Deplezione di Glicogeno	7
1.3 La Fatica Nervosa (Meccanismi Centrali dal Punto di Vista Muscolare)	7
1.3.1 Neurotrasmettitori e l'Ipotesi Serotoninergica	8
1.3.2 Il Modello del Feedback Afferente e il "Governatore Centrale"	8
1.4 La Fatica Neuromuscolare come Modello Integrato	9
1.4.1 La Giunzione Neuromuscolare (NMJ) e il Segnale Elettromiografico	9
1.4.2 Perdita del Controllo Motorio e Impatto sulla Performance	9
1.5. Differenze di Genere nella Fatica Neuromuscolare.....	10
1.5.1 Percezione Soggettiva e Fattori Biologici	10
1.5.2 Architettura Muscolare e Proprietà Contrattili	10
1.5.3 Neurofisiologia e Reclutamento	10
1.5.3 Perfusion Ematica e Metaboreflexo	10
1.5.4 Metabolismo Energetico	10
1.5.5 L'Influenza del Ciclo Mestruale	11
1.6 Scopo della Tesi	11
1.7 Protocolli e metodiche di applicazione	11
Variazioni dei marcatori di danno muscolare nella pallacanestro d'élite	13
2.1 Introduzione:	13
2.2 Gruppo Studio:	13

2.3 Metodi:	13
2.4 Risultati:	14
2.5 Contesto della Gara:	14
2.6 Conclusioni:.....	15
2.7 Limitazioni:	15
Valutazione dell'Affaticamento Neuromuscolare nel Basket attraverso il Countermovement Jump	17
3.1 Introduzione:	17
3.2 Gruppo di Studio:.....	17
3.4 Fasi del Countermovement Jump (CMJ):	17
3.5 Risultati:	18
3.6 Limiti:.....	18
3.7 Conclusioni:	19
Variazioni dei biomarcatori di stress anabolico-catabolico nella pallacanestro d'élite.....	20
4.1 Introduzione:	20
4.2 Gruppo di Studio:	20
4.3 Metodi:	21
4.4 Risultati:	21
4.5 Contesto della Gara:	22
4.6 Conclusioni:.....	23
4.7 Limitazioni:	24
Monitoraggio della Variabilità della Frequenza Cardiaca e Valutazione del Carico nella Pallacanestro	25
5.1 Introduzione:	25
5.2 Metodi e Disegno dello Studio:	26
5.4 Discussione:	28
5.7 Limiti:.....	30

Carico di allenamento percepito, dolori muscolari, stress, affaticamento e qualità del sonno nel basket professionistico: uno studio di un'intera stagione.	31
6.1 Introduzione.....	31
6.3 Materiali e metodi:	32
6.4 Risultati:	33
6.5 Discussione:.....	34
6.6 Implicazione pratiche per la Dinamica Pre-Gara:	34
6.7 Conclusioni ed applicazioni pratiche:	35
6.8 Limiti:.....	35
DISCUSSIONE:.....	37
7.1 Creatinichinasi (CK): Repeated Bout Effect, influenze ormonali e limiti applicativi	37
7.2 Monitoraggio neuromuscolare (CMJ): discordanza tra altezza di salto e tempi di recupero centrali e periferici.....	38
7.4 Variabilità della Frequenza Cardiaca (HRV): quantificazione del carico interno in esercitazioni a ranghi ridotti	40
7.6 Proposta di Protocollo Integrato per una squadra d'Élite	41
7.6.1 Countermovement Jump (CMJ) per la valutazione della Readiness neuromuscolare	41
7.6.2 Session-RPE per il monitoraggio del Conditioning metabolico	41
7.6.3 Variabilità della Frequenza Cardiaca (HRV) notturna	42
Bibliografia	44

ABSTRACT:

Nel moderno scenario del basket professionistico, caratterizzato da carichi di lavoro intensi e calendari agonistici estremamente densi, il monitoraggio del recupero si è imposto come una variabile critica per il successo sportivo. Un atleta che non recupera correttamente non solo subisce un calo della performance, ma è esposto a un rischio di infortuni sensibilmente più elevato, con conseguenti ricadute strategiche ed economiche per le società.

Il presente lavoro di tesi si propone di analizzare e confrontare i diversi marker di affaticamento neuromuscolare in soggetti di sesso sia maschile che femminile, fornendo una panoramica inclusiva e aggiornata dello stato dell'atleta. L'obiettivo centrale è identificare le metodologie più sensibili e comprendere come l'integrazione di più indicatori possa restituire un quadro diagnostico più fedele rispetto all'analisi di un singolo parametro. I risultati dell'indagine evidenziano che l'approccio multi-variato è il più affidabile per garantire la salute dell'atleta, sebbene sia necessario bilanciare costantemente il rigore scientifico con le possibilità economiche e logistiche dei club. Il lavoro si configura quindi come una guida operativa per i professionisti del settore, offrendo soluzioni scalabili e immediatamente applicabili sul campo.

INTRODUZIONE ALLA FATICA NEUROMUSCOLARE

1.1 Premessa e Contesto Generale

Nell'ambito della fisiologia dell'esercizio e delle scienze motorie, la fatica rappresenta uno dei fenomeni più complessi e dibattuti. Tradizionalmente, la definizione gold standard di Bigland-Ritchie e Woods cita: la fatica è una riduzione indotta dall'esercizio della capacità del sistema neuromuscolare di generare forza o potenza, indipendentemente dal fatto che il compito motorio possa o meno essere sostenuto.

Questa definizione è particolarmente importante perché evidenzia come l'affaticamento non sia soltanto un evento singolo che si manifesta con il task failure ma bensì un processo continuo che inizia già dalle prime contrazioni.

Per decenni, il modello esplicativo della fatica è stato dominato da una visione puramente meccanicistica e periferica, legata all'esaurimento dei substrati energetici e all'accumulo di metaboliti nel muscolo. Solo a partire dagli anni '90, grazie ai lavori pionieristici di autori come Simon Gandevia, la comunità scientifica ha formalizzato la divisione della fatica in due grandi macrocategorie eziologiche: la fatica periferica (o muscolare), che comprende le alterazioni a valle della giunzione neuromuscolare, e la fatica centrale (o nervosa), che ingloba tutti i processi a monte, dal cervello ai motoneuroni spinali.

La presente introduzione ha l'obiettivo di analizzare le basi fisiologiche di questo fenomeno analizzando sia i meccanismi intrinseci della componente muscolare sia quelli della componente nervosa ed infine trattare il fenomeno nella sua interezza come fatica neuromuscolare. Verranno trattati i sistemi di biofeedback tra encefalo e muscolo fornendo un quadro teorico di riferimento per comprendere i successivi capitoli.

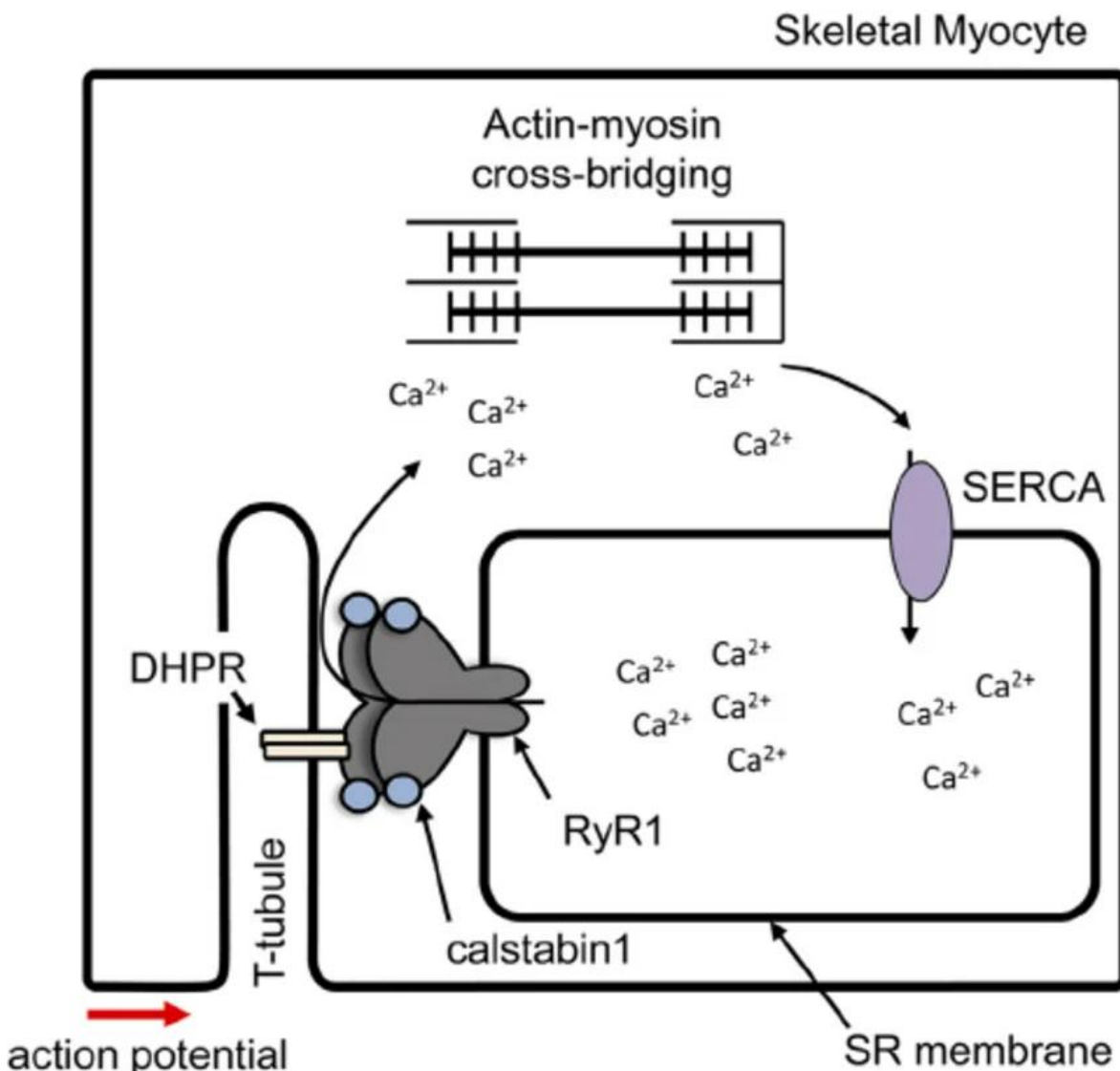
1.2 La Fatica Muscolare, Meccanismi Periferici

La fatica muscolare, o periferica, si riferisce al fallimento meccanico indotto dall'attività che si verifica attraverso processi situati all'interno della cellula muscolare, o comunque distali rispetto alla giunzione neuromuscolare. Questi meccanismi ostacolano l'accoppiamento eccitazione-contrazione (Excitation-Contraction Coupling, ECC) e la formazione dei ponti trasversali (cross-bridge) tra actina e miosina. Le cause principali possono essere raggruppate in tre categorie fondamentali: l'alterazione dell'omeostasi ionica, l'accumulo di sottoprodotti metabolici e l'esaurimento dei substrati energetici.

1.2.1 Alterazioni dell'Accoppiamento Eccitazione-ContraZIONE

L'ECC è il processo mediante il quale un potenziale d'azione che viaggia lungo il sarcolemma porta al rilascio di calcio (Ca^{2+}) dal reticolo sarcoplasmatico, innescando la contrazione. Durante l'esercizio intenso e prolungato, ripetuti potenziali d'azione causano un efflusso di ioni potassio (K^{+}) nel tubulo a T e un influsso di ioni sodio (Na^{+}) nel sarcolemma.

Questo squilibrio ionico locale depolarizza parzialmente la membrana, riducendo l'ampiezza dei successivi potenziali d'azione e, di conseguenza, compromettendo l'attivazione dei recettori diidropiridinici (DHPR). Questa insufficienza di segnale riduce l'apertura dei recettori rianodinici (RyR) situati sul reticolo sarcoplasmatico, comportando un minore rilascio di Ca^{2+} nel mioplasma. Una ridotta disponibilità di Ca^{2+} significa che meno siti di legame sull'actina vengono esposti, riducendo la forza di contrazione.



(Allen et al., 2008)

1.2.2 Bioenergetica e Accumulo di Metaboliti

Da un punto di vista biochimico, la rapida idrolisi di adenosina trifosfato (ATP) durante le contrazioni massimali e sub massimali porta all'accumulo di metaboliti intracellulari quali il fosfato inorganico (Pi) e gli ioni idrogeno (H⁺). Che sono tra i principali colpevoli dell'affaticamento periferico.

L'accumulo di Pi agisce direttamente sulle miofibrille: diminuisce la sensibilità delle miofibrille al calcio e ostacola il passaggio della miosina da uno stato di legame debole a uno forte con l'actina, riducendo così la forza erogata per singolo ponte trasversale.

Allo stesso tempo, la glicolisi anaerobica porta alla produzione di acido lattico, che si dissocia in lattato e ioni H⁺. La conseguente acidosi metabolica (con il pH intramuscolare che può crollare da 7.1 a circa 6.2–6.5) interferisce con molteplici enzimi glicolitici e riduce ulteriormente l'affinità della troponina C per il calcio.

1.2.3 Stress Ossidativo e Deplezione di Glicogeno

Anche la deplezione delle riserve di glicogeno muscolare gioca un ruolo cruciale, specialmente negli esercizi di endurance. Un basso livello di glicogeno non riduce solo la disponibilità di ATP, ma agisce anche come segnale inibitorio sul rilascio di Ca²⁺ dal reticolo sarcoplasmatico. Questo avviene principalmente a causa del glicogeno intramiofibrillare che una volta esaurito innesca un segnale inibitorio fermando la glicolisi locale e verificando un calo di ATP locale proprio attorno alle porte del calcio anche se la cellula possiede ancora energia derivante da grassi o da altri pool di glicogeno. Diminuendo l'ATP locale libera magnesio potente antagonista del calcio che si lega a specifici siti inibitori sui recettori RyR disinnescando la contrazione muscolare. Questo meccanismo è una rete di sicurezza che permette al corpo di evitare di consumare completamente l'ATP e ci protegge dal rigor mortis (vedi spiegazione in basso)

Inoltre, l'esercizio vigoroso aumenta la produzione di Specie Reattive dell'Ossigeno e dell'Azoto (ROS e RNS). Sebbene a basse dosi questi radicali liberi siano essenziali per l'adattamento cellulare (ormesi), in concentrazioni massive ossidano le proteine contrattili e alterano la funzione delle pompe ioniche (come la Na⁺/K⁺-ATPasi), accelerando l'insorgenza del fallimento meccanico periferico.

1.3 La Fatica Nervosa (Meccanismi Centrali dal Punto di Vista Muscolare)

La fatica centrale rappresenta una complessa alterazione dell'omeostasi del Sistema Nervoso Centrale (SNC) ed è definita come una riduzione progressiva dell'impulso neurale (neural drive) volontario diretto al muscolo. Tale deficit di output attenua la prestazione fisica e, nei casi più acuti,

può condurre all'arresto dell'attività motoria, influenzando i delicati processi inibitori ed eccitatori a livello della corteccia.

In altre parole, nonostante il muscolo possieda ancora la capacità biochimica di contrarsi, il sistema nervoso centrale (SNC) invia segnali elettrici di frequenza e ampiezza insufficienti al reclutamento ottimale delle unità motorie.

1.3.1 Neurotrasmettitori e l'Ipotesi Serotoninergica

I meccanismi neurochimici cerebrali subiscono profondi rimodellamenti durante l'esercizio. La teoria più nota in questo ambito è l'"Ipotesi della fatica centrale" legata alla serotonina (5-HT).

Durante l'esercizio prolungato, l'aumento dei livelli di acidi grassi liberi nel sangue sposta il triptofano (il precursore della serotonina) dai suoi siti di legame all'albumina. Questo porta a un aumento del triptofano libero che attraversa la barriera emato-encefalica. Il conseguente aumento della sintesi di serotonina in diverse aree cerebrali causa letargia, perdita di motivazione, aumento della percezione dello sforzo (RPE) e sonnolenza, deprimendo l'output motorio della corteccia.

Al contempo, un ruolo regolatore chiave è svolto dalla dopamina e dalla noradrenalina. Un aumento del rapporto tra serotonina e dopamina accelera l'insorgenza della fatica, mentre un alto livello di dopamina extracellulare ha effetti ergogenici, contrastando la letargia e mantenendo alti i livelli di eccitabilità corticale.

1.3.2 Il Modello del Feedback Afferente e il "Governatore Centrale"

Dal punto di vista strettamente muscolare-centrale, la fatica nervosa non è un "cedimento" del cervello, ma un meccanismo di protezione altamente sofisticato. I muscoli scheletrici sono riccamente innervati da fibre nervose afferenti di gruppo III (meccanocettori sensibili alla contrazione e allo stiramento) e di gruppo IV (metabocettori sensibili all'ipossia, al lattato, all'ATP extracellulare e agli H⁺).

Quando il muscolo lavora ad alte intensità, l'accumulo di metaboliti periferici attiva le fibre di gruppo III e IV, che inviano un segnale retrogrado (feedback afferente) al midollo spinale e alla corteccia motoria. Questo segnale inibisce l'eccitabilità dei motoneuroni spinali (inibizione presinaptica) e deprime il drive discendente dalla corteccia motoria primaria.

Questo meccanismo si allinea con la "Central Governor Theory" formulata dal fisiologo Timothy Noakes, la quale postula che l'encefalo riduca proattivamente il reclutamento muscolare per impedire che i sistemi biologici periferici raggiungano l'esaurimento assoluto (rigor mortis) o danni miocardici fatali.

1.4 La Fatica Neuromuscolare come Modello Integrato

Alla luce di quanto esposto, trattare la fatica unicamente come "periferica" o "centrale" è anacronistico ed eccessivamente riduzionistico. Il sistema biologico opera attraverso continui loop di feedback, motivo per cui è più corretto utilizzare il termine fatica neuromuscolare, definita come la risultante dell'interazione tra la modulazione nervosa (afferente ed efferente) e i processi di trasduzione biochimica muscolare.

1.4.1 La Giunzione Neuromuscolare (NMJ) e il Segnale Elettromiografico

Il punto di incontro fisico tra questi due mondi è la placca motrice (giunzione neuromuscolare). In condizioni di fatica severa, la capacità del terminale assonico di rilasciare l'acetilcolina (ACh) nella fessura sinaptica, o la sensibilità dei recettori nicotinici sulla membrana muscolare, può ridursi.

Questa "fatica di trasmissione" si interpone tra il comando centrale e la risposta periferica.

Nello studio della fatica neuromuscolare in vivo, lo strumento d'elezione è l'elettromiografia di superficie (sEMG). Il tracciato EMG fornisce una "finestra" sull'attivazione neuromuscolare. Con l'avanzare della fatica durante una contrazione sostenuta, si assiste fisiologicamente a un aumento dell'ampiezza del segnale (Root Mean Square, RMS) – dovuto al tentativo del SNC di reclutare unità motorie addizionali e più grandi per compensare la perdita di forza delle fibre esaurite – e a una contestuale diminuzione delle frequenze dello spettro elettromiografico (es. Mean Power Frequency, MPF). Questo "shift" verso le basse frequenze è causato dalla diminuzione della velocità di conduzione del potenziale d'azione muscolare lungo il sarcolemma, strettamente dipendente dall'acidosi lattica (caduta del pH) e dalle modificazioni del potenziale di riposo del sarcolemma.

1.4.2 Perdita del Controllo Motorio e Impatto sulla Performance

Un aspetto cruciale e spesso trascurato della fatica neuromuscolare è il suo impatto non solo sulla forza massimale esprimibile (MVC), ma sulla "forza di controllo" (force steadiness).

L'affaticamento induce una maggiore fluttuazione nell'erogazione della forza submassimale, riducendo la precisione del gesto e la complessità temporale della contrazione. Questa perdita di propriocezione e finezza motoria è mediata da un aumento del rumore sinaptico (common synaptic input) condiviso dai motoneuroni, ed è un fattore determinante per il calo della coordinazione e per l'aumentato rischio di infortuni (ad esempio nei legamenti e nelle strutture articolari) in contesti sportivi e clinici.

1.5. Differenze di Genere nella Fatica Neuromuscolare

L'analisi della letteratura scientifica evidenzia differenze significative tra uomini e donne nella manifestazione della fatica, sebbene permangano alcune ambiguità. Queste disparità derivano da un'integrazione di fattori psicologici, biologici e strutturali.

1.5.1 Percezione Soggettiva e Fattori Biologici

Le donne tendono a riportare una percezione soggettiva della fatica più elevata, influenzata da una diversa gestione dello stress e dei sintomi fisici, Ciclo mestruale, gravidanza, menopausa e contraccezione agiscono come potenti modulatori sia della prestazione che della sensazione di stanchezza.

1.5.2 Architettura Muscolare e Proprietà Contrattili

Nonostante gli uomini possiedano una forza assoluta maggiore, le donne si dimostrano generalmente meno affaticabili. Generalmente i maschi presentano sarcomeri e aree trasversali muscolari più ampie, con muscoli funzionalmente più veloci e potenti grazie all'azione degli androgeni, di contro nelle donne, la cinetica del calcio nel reticolo sarcoplasmatico è circa il 24% più lenta rispetto agli uomini. Questa caratteristica, unita all'attività della calcio-ATPasi, supporta l'ipotesi di un sistema muscoloscheletrico femminile più resistente alla fatica.

1.5.3 Neurofisiologia e Reclutamento

Le differenze nel sistema nervoso influenzano l'attivazione funzionale durante il compito motorio: L'affaticabilità dipende dal reclutamento neuromuscolare (tipo di contrazione, velocità, intensità), che varia tra i sessi in base alla quantità di unità motorie coinvolte e allo stato di eccitazione.

1.5.3 Perfusione Ematica e Metaboreflesso

Durante contrazioni a bassa intensità, le donne godono di una perfusione muscolare migliore. Negli uomini, il flusso sanguigno è più limitato a causa di una pressione arteriosa più elevata, inoltre le donne possiedono una percentuale maggiore di fibre di tipo I e una densità più alta di recettori beta-adrenergici, favorendo una risposta vasodilatatoria che riduce l'accumulo di metaboliti.

1.5.4 Metabolismo Energetico

Gli uomini si affidano maggiormente al meccanismo glicolitico, mentre le donne (grazie agli estrogeni) mostrano una capacità superiore nel metabolismo lipidico. Le donne accumulano meno lattato e inosina monofosfato, fattore che contribuisce a una minore fatica e a un recupero più rapido, specialmente negli esercizi di forza e potenza.

1.5.5 L'Influenza del Ciclo Mestruale

L'impatto del ciclo sulla fatica è oggetto di studio, la ricerca scientifica evidenzia principalmente due fasi principali:

- Fase Follicolare: Alcuni studi indicano un picco di stanchezza a metà ciclo (picco di estrogeni) dovuto a un'elevata attività simpatica.
- Fase Luteale: Altre ricerche evidenziano un tempo di esaurimento ridotto e una maggiore percezione dello sforzo (RPE) durante questa fase, accompagnati da un aumento della frequenza cardiaca e della ventilazione.

1.6 Scopo della Tesi

In conclusione, la fatica neuromuscolare non è da intendersi a compartimenti stagni, ma come una rete complessa di meccanismi fisiologici interconnessi.

Partendo da queste premesse teoriche, il presente elaborato di tesi andrà a indagare le principali metodiche utilizzate per la raccolta dati riguardante la fatica acuta e cronica nei giocatori e nelle giocatrici di pallacanestro cercando di indagare quali siano più efficaci e in che modo andare ad implementarle nel corso di una stagione sportiva tenendo conto di eventuali limitazioni presenti negli studi. L'elaborato terminerà con una proposta applicativa per andare ad integrare queste metodiche nel corso di una stagione sportiva.

1.7 Protocolli e metodiche di applicazione

Questi cinque articoli si svilupperanno attraverso una linea logica andando ad analizzare microcicli e/o macrocicli di allenamenti specifici e/o partite e cercheranno tramite biomarker e misure fisiche di analizzare l'andamento delle qualità fisiche di ciascun gruppo studio. In particolare, la ricerca fa riferimento all'uso della CK per individuare l'affaticamento neuromuscolare periferico, il CMJ per la componente neuromuscolare, l'utilizzo del testosterone e del suo rapporto con il cortisolo per le variazioni ormonali, l'HRV per le variazioni del sistema nervoso autonomo e per valutare la percezione soggettiva hanno utilizzato l'RPE. Questi indicatori ovviamente non sono sufficienti per determinare da soli lo stato di affaticamento di un'atleta ma se utilizzati insieme ed individualizzati nel singolo giocatore possono aiutarci a definire un quadro sensibile al singolo.

Andremo ora ad analizzare e chiarire alcune definizioni che incontreremo nel testo:

- 2.1 Recupero: È il processo dinamico di ripristino dell'omeostasi cellulare e sistemica a seguito della perturbazione causata dallo sforzo.

- 2.2 Fatica: la fatica è definita come un decremento transitorio, indotto dall'esercizio, della capacità del muscolo di generare forza o potenza, reversibile attraverso il riposo. Viene classicamente divisa in due domini principali: centrale o periferica
- 2.3 Readiness: È lo stato di preparazione neuro-fisiologica e psicologica dell'atleta nell'affrontare un nuovo stimolo allenante ottimale. Teorizzata all'interno del modello *Fitness-Fatigue* (Banister), la readiness è vista come il risultato dell'equilibrio tra gli adattamenti positivi guadagnati (fitness) e lo stress residuo ancora presente (fatica).
- 2.4 Carico interno: È la risposta biologica (fisiologica e psicologica) dell'organismo allo stress indotto dal carico esterno. A parità di carico esterno, il carico interno può variare enormemente tra due atleti in base alle loro caratteristiche individuali (livello di fitness, genetica, stato nutrizionale, stress pregresso). Secondo la fisiologia moderna, sembrerebbe essere il carico interno a determinare il reale adattamento (training outcome).
- 2.5 Carico esterno: È il lavoro fisico oggettivo svolto dall'atleta durante l'allenamento o la competizione, misurabile in modo indipendente dalle caratteristiche fisiologiche dell'individuo. Rappresenta lo stimolo meccanico e cinematico imposto all'organismo.

Variazioni dei marcatori di danno muscolare nella pallacanestro d'élite

2.1 Introduzione:

Il presente capitolo esplora gli effetti fisiologici di una competizione ufficiale di pallacanestro, descrivendo gli eventi documentati nello studio condotto da Moreira e colleghi del 2013.

L'osservazione si concentra sull'andamento della Creatinchinasi (CK) plasmatica come indicatore di danno muscolare, analizzando inoltre le caratteristiche del campione coinvolto e le metodologie di indagine adottate dai ricercatori.

2.2 Gruppo Studio:

L'indagine ha preso in esame un campione composto da undici giocatrici professioniste di pallacanestro di livello d'élite. Dal punto di vista anagrafico e antropometrico, le atlete presentavano un'età media di 27,4 anni, un'altezza di 179,5 cm e un peso corporeo di 72,0 kg. Si trattava di un gruppo estremamente competitivo: tutte le partecipanti militavano nella stessa squadra che, nel corso del 2009, si era aggiudicata il Campionato Statale di San Paolo, il Campionato Nazionale Brasiliano e il Campionato Sudamericano. Ogni atleta possedeva un'esperienza minima di 5 anni a tali livelli agonistici e seguiva un regime di 10-12 sessioni di allenamento settimanali. Per garantire un adeguato confronto dei dati, è stato inoltre istituito un gruppo di controllo composto da cinque giovani donne in salute e fisicamente attive, alle quali è stato richiesto di astenersi da pratiche sportive durante il periodo di valutazione.

2.3 Metodi:

La raccolta dei dati è avvenuta in un contesto ecologico, ovvero durante la settima partita della stagione regolare del Campionato Nazionale Femminile Brasiliano. I ricercatori hanno monitorato il carico interno delle giocatrici registrando la frequenza cardiaca per tutta la durata del match e, a 30 minuti dal fischio finale, hanno valutato lo sforzo percepito tramite la scala di Borg (RPE). Per misurare l'indolenzimento muscolare è stata impiegata una scala visiva analogica (VAS), somministrata durante la palpazione e lo stiramento dei muscoli ischio crurali. Parallelamente, le prestazioni fisiche sono state misurate attraverso test di forza massimale (1RM per distensioni su panca e leg press) e un test di agilità (T test). Tali test, assieme ai prelievi ematici, sono stati effettuati in momenti precisi: prima della partita, immediatamente dopo, e durante la fase di recupero a 24 e 48 ore di distanza.

2.4 Risultati:

L'obiettivo centrale dell'analisi ematica è stato tracciare le fluttuazioni della Creatinchinasi (CK) un enzima intracellulare la cui immissione nel torrente ematico può fungere da marcatore diretto per quantificare il danno alle fibre muscolari, un fenomeno che nel basket è tipicamente innescato dalle continue contrazioni eccentriche richieste da salti, atterraggi e bruschi cambi di direzione.

Le analisi condotte sui campioni di sangue prelevati hanno mostrato un incremento statisticamente significativo dell'attività plasmatica della CK rispetto ai valori prepartita e rispetto al gruppo di controllo. Questo innalzamento dei valori si è manifestato in particolar modo a 24 ore dal termine dell'incontro.

Tuttavia, l'aspetto maggiormente descritto dagli autori riguarda l'entità di tale aumento. I dati riportano che la variazione media della CK si è attestata a 213,3 UI/L, nessuna delle atlete professioniste ha registrato un picco severo di questo enzima, mantenendo i livelli nettamente inferiori rispetto a quelli documentati in letteratura per soggetti non allenati o per atleti impegnati in sport di maggiore contatto fisico, come il rugby o il calcio. I ricercatori spiegano questo fenomeno principalmente con l'effetto protettivo derivato dall'abitudine cronica agli allenamenti: l'esposizione costante dei muscoli a carichi eccentrici ha reso le fibre muscolari delle giocatrici resilienti, limitando il rilascio di CK nel sangue.

2.5 Contesto della Gara:

Un ulteriore elemento per comprendere i modesti incrementi della CK risiede nell'analisi dello svolgimento della partita stessa. La gara esaminata si è infatti conclusa con una netta vittoria della squadra oggetto di studio, con uno scarto finale di 30 punti. Questo ampio margine ha influenzato in modo diretto l'intensità complessiva dello sforzo richiesto alle atlete. Analizzando la frequenza cardiaca, i ricercatori hanno documentato che il tempo di gioco si è distribuito in diverse fasce: il 27,3% nella zona 1, il 14,7% nella zona 2, il 17,5% nella zona 3, il 21,2% nella zona 4 e il 19,3% nella zona 5. Valutando il tempo trascorso nelle zone ad alta intensità e il livello di sforzo percepito moderato, gli autori notano che l'incontro non è risultato essere estremamente logorante per le giocatrici. Inoltre, la scarsa competitività del match dovuta al largo vantaggio ha permesso di non mantenere in campo le atlete principali per periodi prolungati, limitando così il loro minutaggio. La ricerca ipotizza pertanto che i bassi livelli di Creatinchinasi riscontrati siano legati anche a queste dinamiche: una partita più combattuta, che avesse costretto le atlete a giocare a intensità maggiori e

per un tempo superiore, avrebbe potenzialmente indotto variazioni più marcate dei marcatori di danno muscolare.

2.6 Conclusioni:

In conclusione, la ricerca mostra che una partita ufficiale di basket induce, nelle giocatrici professioniste analizzate, un danno muscolare di entità limitata. I dati indicano una generale tolleranza ai carichi meccanici eccentrici da parte delle cestiste d'élite, documentata da un incremento della Creatinchinasi (il cui picco si registra a 24 ore dalla conclusione dell'incontro) che risulta modesto se confrontato con quanto osservabile in soggetti non allenati o in altri sport di squadra. Lo studio evidenzia, inoltre, che l'entità di tale danno muscolare appare legata al contesto della gara. In situazioni come quella analizzata, in cui un ampio margine di vittoria ha permesso di limitare i minutaggi e contenere il tempo trascorso nelle zone di massima frequenza cardiaca, la risposta biologica si è mantenuta circoscritta. A livello applicativo, i risultati riportano che questo rilascio contenuto di enzimi muscolari si è associato a un effettivo mantenimento della performance fisica, senza cali significativi registrati nella forza e nell'agilità durante le successive 48 ore. La ricerca suggerisce infine che, a fronte di sforzi moderati e di un minutaggio controllato, una finestra di recupero di due giorni risulta sufficiente affinché le atlete professioniste possano ripristinare la propria condizione fisica in vista di successivi impegni agonistici.

2.7 Limitazioni:

Sebbene la letteratura ci indichi che l'esercizio ad alta intensità, in particolare quello a regime eccentrico, induca un danno muscolare transitorio (EIMD) che si manifesta con un picco sierico tra le 24-72 ore post-esercizio con alterazioni della permeabilità del sarcolemma portando all'efflusso di enzimi intracellulari, tra cui la CK nel circolo sanguigno. Tuttavia, nel presente studio non si sono registrate alterazioni significative. Questa mancata risposta è imputabile probabilmente, al Repeated Bout Effect (RBE) tipico dei soggetti allenati: gli adattamenti strutturali preesistenti nelle atlete hanno garantito una maggiore resistenza del sarcolemma allo stress meccanico.

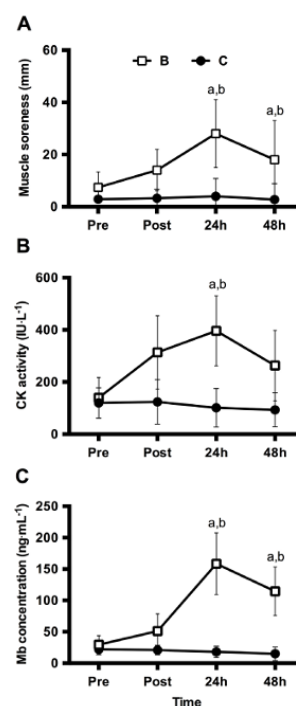


FIG. 1. CHANGES (MEAN $\pm$ SD) IN MUSCLE SORENESS OF THE HAMSTRING (1A), PLASMA CK ACTIVITY (1B), AND SERUM MYOGLOBIN CONCENTRATION (1C) BEFORE (PRE), IMMEDIATELY AFTER (POST), AND 24 AND 48 HOURS FOLLOWING THE BASKETBALL MATCH. Note: ^a - indicates a significant ($P < 0.05$) difference from the pre-match value. ^b - indicates a significant ($P < 0.05$) difference from the control group [C]. White square - Basketball team [B]. Black circle - Control group [C].

Inoltre, anche gli estrogeni (in particolare l'estradiolo) andrebbero considerati come un possibile fattore biologico in grado di influenzare la risposta enzimatica, contribuendo potenzialmente ad attenuare il danno muscolare nel sesso femminile.

Infine, ce da tener conto che il protocollo somministrato alle giocatrici non abbia raggiunto valori di CK particolarmente elevati; infatti, nessuna giocatrice ha avuto incrementi di picco prima e dopo la gara. Bisogna precisare comunque, che l'assenza di variazione significative di CK non garantisce un completo recupero fisico da parte delle atlete ma rimane comunque un indicatore utile nel monitoraggio dell'affaticamento neuromuscolare.

Valutazione dell'Affaticamento Neuromuscolare nel Basket attraverso il Countermovement Jump

3.1 Introduzione:

Lo studio di Yoshida e colleghi (2024) esplora gli effetti fisiologici di un protocollo di esercizio ad alta intensità specifico per la pallacanestro, descrivendo gli effetti dell'affaticamento neuromuscolare (NM) sulle caratteristiche della curva forza-tempo (F-T) durante l'esecuzione del Countermovement Jump (CMJ).

3.2 Gruppo di Studio:

L'indagine ha preso in esame un campione composto da undici giocatori di basket di livello collegiale maschile (NAIA). Dal punto di vista anagrafico ed antropometrico, gli atleti presentavano un'età media di 19,9 anni, un'altezza di 187,6 cm e un peso corporeo di 88,4 kg. Si trattava di soggetti sani e privi di infortuni agli arti inferiori che potessero precludere l'esecuzione dei test o alterare i risultati biomeccanici. Gli atleti erano già abituati all'esecuzione del Countermovement Jump, avendo effettuato valutazioni stagionali periodiche.

3.3 Metodi:

La raccolta dei dati è avvenuta in un contesto ecologico e controllato, strutturato per replicare il carico di una partita o di un allenamento. I ricercatori hanno sottoposto i soggetti a una sessione di esercizi ad alta intensità della durata di circa 60 minuti. Questo protocollo comprendeva esercizi di agilità in area (lane agility drill), sequenze di squat jump (SJ) e rebound jump (RJ) seguite da sprint, e infine sprint intermittenti a tutto campo. Il volume totale e l'intensità erano del tutto assimilabili a quelli di un match (2656 metri percorsi, 100 salti totali e una percezione dello sforzo, RPE, pari a 7,7). Per misurare le alterazioni neuromuscolari, i ricercatori si sono affidati al CMJ, eseguito su una pedana di forza biassiale, chiedendo agli atleti di mantenere un tubo in PVC dietro il collo per eliminare il contributo propulsivo delle braccia. Le valutazioni sono avvenute prima dell'esercizio (baseline), immediatamente dopo (0 ore) e a 2, 6, 24, 48 e 72 ore di distanza.

3.4 Fasi del Countermovement Jump (CMJ):

Per comprendere a fondo le dinamiche di affaticamento, la curva forza-tempo (F-T) registrata dalle pedane è stata segmentata per estrarre due macro-categorie di variabili. Le "Variabili Specifiche della Fase" (CMJ-Phase) hanno analizzato la durata e gli impulsi di momenti ben precisi: la Fase Eccentrica (dall'inizio della discesa fino alla potenza zero), la Fase di Scarico (quando la forza

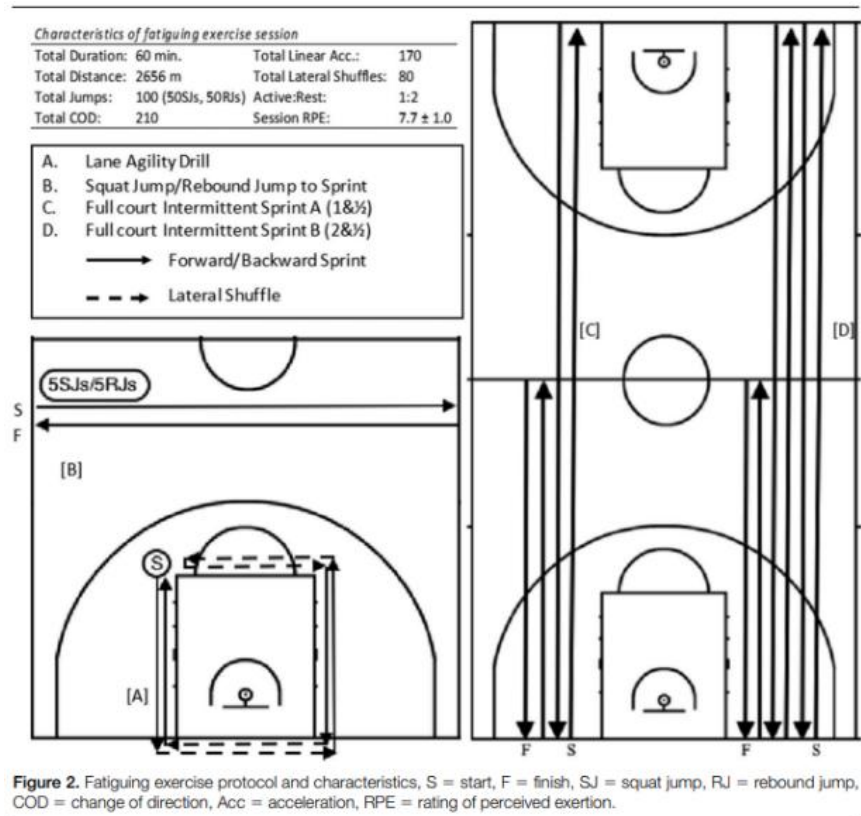
scende sotto il peso corporeo), la Fase di Frenata/Allungamento, la Fase Concentrica (dalla velocità zero al decollo) e le Fasi dell'Impulso Netto e Positivo. Parallelamente, le "Variabili Tipiche" (CMJ-TYP) hanno misurato gli output prestazionali complessivi standardizzati, quali l'altezza del salto basata sull'impulso netto (JH-NI), le forze e potenze relative di picco e medie, e il tasso medio di sviluppo della forza (avgRFD).

3.5 Risultati:

L'obiettivo centrale dell'analisi è stato tracciare le fluttuazioni del recupero. La maggior parte delle variabili prestazionali tipiche (CMJ-TYP), tra cui l'altezza del salto, ha mostrato alterazioni sostanziali con un drastico calo immediatamente dopo l'esercizio, per poi tornare ai livelli originali di base già a 24 ore dal termine. Tuttavia, l'aspetto maggiormente descritto dagli autori riguarda le dinamiche neuromuscolari espresse dalle variabili temporali (CMJ-Phase). Queste ultime tendevano a presentare un calo ritardato nel tempo, con un picco negativo a 2 ore post-esercizio, rimanendo alterate anche a 24 ore con un completo ripristino che ha richiesto fino a 48 ore. L'analisi indica che a 24 ore di distanza gli atleti riescono a saltare alto come prima adottando però una strategia di movimento compensatoria (modificando i tempi delle fasi) che maschera un sistema ancora in affaticamento. Una volta superata questa fase, intorno alle 72 ore post-esercizio, è stata registrata una supercompensazione neurale con un miglioramento delle prestazioni.

3.6 Limiti:

Un ulteriore elemento per comprendere i risultati risiede nei limiti evidenziati dall'indagine. Non è stato riscontrato il tipico modello di recupero bifasico dell'affaticamento (doppio calo delle prestazioni nel tempo); i ricercatori ipotizzano che, seppur intenso, il volume di metri percorsi non fosse estenuante quanto i protocolli



di sola corsa. Inoltre, la ricerca ha valutato in modo esclusivo la biomeccanica, senza rilevare marcatori fisiologici del danno muscolare (quali enzimi ematici o metabolici) e senza indagare l'impatto dei livelli di forza assoluta preesistenti, i quali avrebbero potuto fornire un quadro biologico ancor più completo sul calo neuromuscolare.

3.7 Conclusioni:

In sintesi, la ricerca mostra che una sessione ad alta intensità specifica per la pallacanestro induce una compromissione misurabile sia delle prestazioni di salto sia delle funzioni neuromuscolari. I dati indicano una netta scissione nelle tempistiche di recupero: mentre le variabili prestazionali visibili (come l'altezza del salto) rientrano nella norma in circa 24 ore, l'effettiva capacità di espressione neurale impiega circa 48 ore per essere ripristinata, culminando in una supercompensazione a 72 ore. Lo studio evidenzia che valutare lo stato di forma di un atleta unicamente tramite l'altezza del salto è fuorviante, poiché strategie compensatorie di movimento possono nascondere un quadro di fatica residua. A livello applicativo, i risultati suggeriscono la necessità di monitorare parametri legati ai tassi di sviluppo della forza e alle specifiche fasi biomeccaniche del salto. A fronte di protocolli di tale intensità, gestire il carico e garantire finestre di recupero complete per permettere agli atleti di ritrovare pienamente le proprie qualità esecutive in vista delle competizioni, scongiurando il protrarsi dell'affaticamento cronico. La ricerca suggerisce che per protocolli particolarmente intensi i recuperi potrebbero arrivare fino alle 48-72 ore ma che questi andrebbero modulati in base al periodo della stagione e al singolo atleta.

Variazioni dei biomarcatori di stress anabolico-catabolico nella pallacanestro d'élite

4.1 Introduzione:

Il presente capitolo esplora gli effetti fisiologici di una stagione competitiva di pallacanestro, descrivendo dettagliatamente gli eventi documentati nello studio longitudinale di follow-up condotto da Schelling e colleghi. Nello specifico, lo studio indaga l'andamento del testosterone totale (T) e del cortisolo (C) plasmatici come indicatori primari dell'equilibrio anabolico-catabolico per indagare l'insorgenza dell'affaticamento neuromuscolare. L'articolo, inoltre, si pone lo scopo di indagare se questi indicatori possano essere sufficienti per monitorare l'affaticamento e per farlo valutano il cambiamento di questi indicatori nel Corso delle stagioni dal 2007-2011

4.2 Gruppo di Studio:

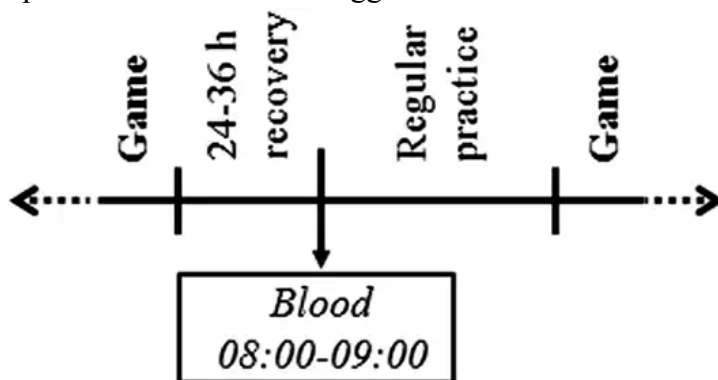
L'indagine ha preso in esame un campione composto da 20 giocatori professionisti di pallacanestro maschile militanti nel massimo livello spagnolo (ACB). Dal punto di vista anagrafico e antropometrico, gli atleti presentavano un'età media di $27,0 \pm 4,2$ anni, un'altezza di $195,7 \pm 7,4$ cm, un peso corporeo di $93,7 \pm 10,1$ kg e una percentuale di massa grassa stimata intorno al 14,0%. Si trattava di un gruppo estremamente competitivo e abituato a carichi di lavoro importante con giocatori al massimo livello da almeno quattro stagioni consecutive (dal 2007 al 2011). Per garantire un'adeguata contestualizzazione dei dati fisiologici rispetto le dinamiche di gioco, i ricercatori hanno suddiviso il campione in base al ruolo ricoperto in campo, includendo nel monitoraggio 5 playmaker (Point Guard), 6 guardie tiratrici (Shooting Guard), 3 ali piccole (Small Forward), 3 ali grandi (Power Forward) e 3 centri (Center) ed in base al minutaggio mediante una stratificazione temporale articolata in due differenti configurazioni: "PT-6", suddivisa in sei intervalli di cinque minuti ciascuno (0–5, 6–10, 11–15, 16–20, 21–25 e 26–30 minuti), e "PT-3", strutturata in tre intervalli di durata progressiva (0–12, 13–25 e 25–40 minuti).

4.3 Metodi:

La raccolta dei dati è avvenuta in un contesto ecologico e continuativo, seguendo gli atleti per quattro intere stagioni consecutive, dal ritiro pre-campionato nel mese di agosto fino al termine della regular season a maggio. I ricercatori hanno monitorato lo stato ormonale effettuando prelievi ematici periodici ogni 4-6 settimane, raccogliendo tra i 7 e i 9 campioni per giocatore ogni anno a seconda della densità del calendario agonistico. Il primo prelievo di agosto fungeva da baseline, venendo eseguito dopo una settimana di riposo completo da allenamenti e viaggi transcontinentali.

Per garantire la massima standardizzazione ed escludere i picchi ormonali acuti indotti dall'esercizio intenso, i campioni di sangue successivi sono stati prelevati esclusivamente a riposo, osservando una finestra di recupero di 24-36 ore dall'ultima gara ufficiale o sessione di allenamento. I prelievi sono stati eseguiti

sempre a digiuno, in un orario standard compreso tra le 8:00 e le 9:00 del mattino per aggirare le naturali fluttuazioni legate ai ritmi circadiani. Le concentrazioni plasmatiche di testosterone totale e cortisolo sono state poi quantificate attraverso metodo immunologico basato sull'elettrochemiluminescenza (ECLIA).



4.4 Risultati:

L'obiettivo centrale dell'analisi ematica è stato tracciare le fluttuazioni del rapporto Testosterone/Cortisolo (T/C), un indice riconosciuto per valutare il bilancio tra i processi di costruzione tissutale (anabolismo) e quelli di degradazione (catabolismo). Il testosterone e il cortisolo sono ormoni i cui livelli plasmatici fungono da eccellenti marcatori per quantificare lo stato metabolico, una loro alterazione cronica nello sport è tipicamente innescata dalla fatica che insorge dal fitto calendario agonistico. Le analisi condotte sui campioni di sangue hanno mostrato chiaramente che lo stato ormonale è significativamente dipendente dalla posizione di gioco.

Le Ali Grandi e le Ali Piccole hanno registrato i profili più stressati e catabolici in assoluto tra tutti i ruoli esaminati, manifestando i valori assoluti più bassi del rapporto T/C e i picchi maggiori di secrezione di cortisolo. I ricercatori spiegano questo fenomeno con l'altissima spesa neuromuscolare e metabolica imposta a questi specifici ruoli dalla pallacanestro moderna, caratterizzata da un estremo dinamismo, transizioni veloci e continui contatti fisici. Al contrario, i centri hanno mantenuto livelli nettamente superiori del rapporto T/C, evidenziando un profilo molto più

anabolico. Questo sembrerebbe essere sostenuto dalle richieste fisiologiche del loro ruolo con allenamenti più orientate alla forza massima e all'ipertrofia.

4.5 Contesto della Gara:

Un ulteriore elemento fondamentale per comprendere queste variazioni ormonali risiede nell'analisi del minutaggio medio per partita (Playing Time) e delle tempistiche relative alle diverse fasi della stagione sportiva. I ricercatori hanno documentato che i cestisti impiegati in una fascia intermedia, ovvero tra i 13 e i 25 minuti a partita, hanno mostrato i valori più alti e favorevoli di testosterone e del rapporto T/C.

Un minutaggio limitato inferiore a 13 minuti a partita non è risultato sufficiente a innescare un adeguato stimolo allenante di natura anabolica. Questo scarso impiego ha portato paradossalmente a livelli più alti di cortisolo, suggerendo un potenziale stress emotivo legato al basso coinvolgimento in gara e alla percezione da parte dell'atleta di un minor contributo ai risultati della squadra. Al contrario, i giocatori schierati in campo costantemente per oltre 25 minuti hanno subito i cali più drastici di testosterone, identificato come chiaro marcatore dell'accumulo di fatica meccanica e metabolica derivante dall'eccessivo carico di gioco. La ricerca evidenzia inoltre che tali scompensi si sono manifestati in modo particolarmente severo nell'ultimo terzo della stagione regolare, precisamente nei mesi tra marzo e aprile. In questo periodo cruciale, dopo intensi mesi di competizioni, tutto il campione ha registrato un massiccio innalzamento del cortisolo e il crollo della spinta anabolica (T/C ai minimi stagionali), esponendo inevitabilmente gli atleti a un aumentato rischio di over training e infortuni a causa degli effetti immunosoppressivi dello stesso cortisolo.

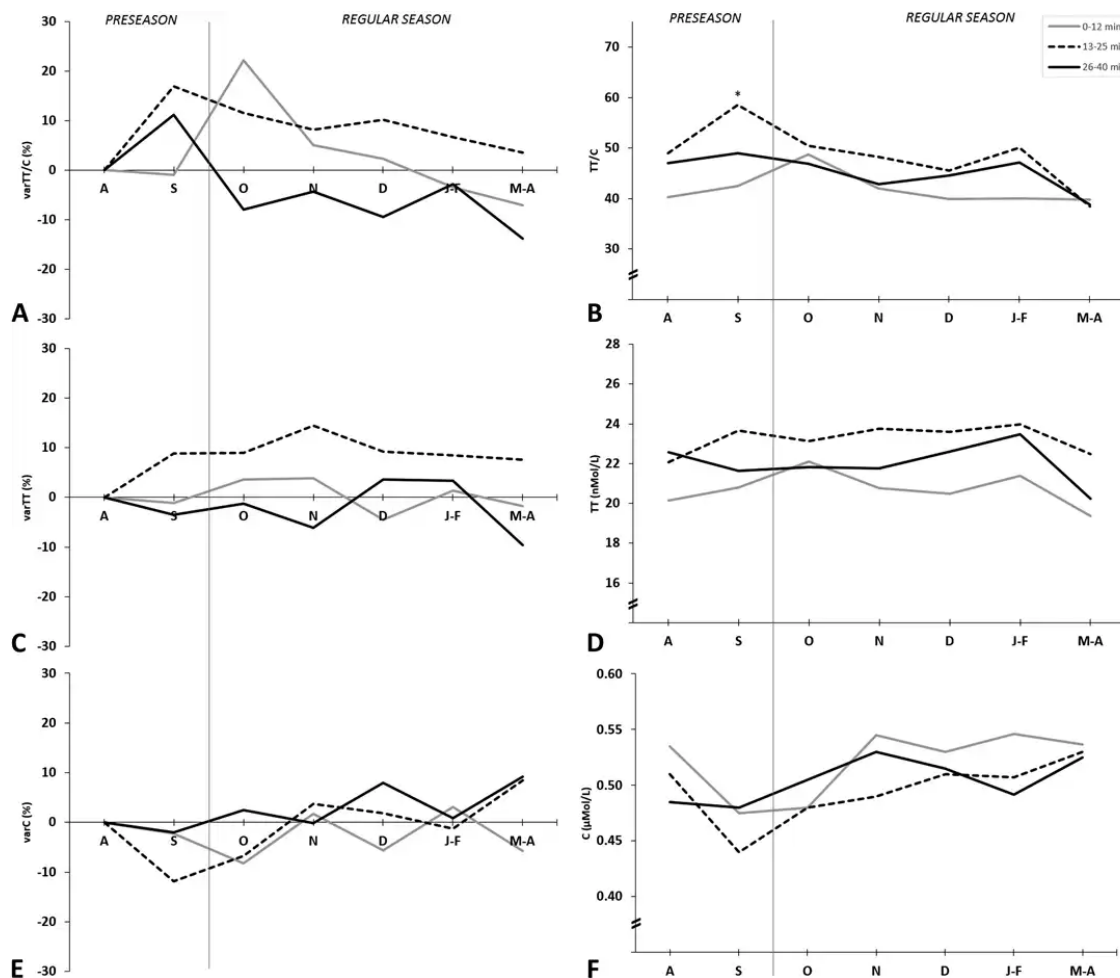


Figura 6 Analisi ormonale mensile in base al tempo di gioco. I valori sono mostrati come mediana. *Differenze significative (valore p , Δ di Cliff, interpretazione Δ): (B) S: 0-12 minuti vs. 13-25 minuti (0,045, 0,48, grande). TT = testosterone totale; C = cortisolo; TT/C = rapporto testosterone totale/cortisolo; varTT = percentuale di variazione di TT; varC = percentuale di variazione di cortisolo; varTT/C = percentuale di variazione di TT/C. A = agosto; S = settembre; N = novembre; D = dicembre; JF = gennaio-febbraio; MA = marzo-aprile.

4.6 Conclusioni:

In sintesi, la ricerca mostra che i carichi fisiologici e psicologici imposti da una lunga stagione di basket inducono, nei giocatori professionisti, variazioni molto significative nell'equilibrio endocrino e neuromuscolare. I dati indicano una generale necessità di abbandonare approcci standardizzati in favore di una marcata individualizzazione degli stimoli fisici, documentata dalle enormi differenze ormonali riscontrate a seconda dello specifico ruolo in campo e dei minuti mediamente giocati

durante l'anno. Lo studio evidenzia, inoltre, che l'entità dell'affaticamento neuromuscolare appare legata al contesto temporale della stagione sportiva, raggiungendo picchi critici e pericolosi a ridosso dei mesi primaverili, momento in cui la fatica cronica si somma a quella acuta. A livello applicativo, i risultati suggeriscono che per prevenire il sovrallenamento è indispensabile applicare strategie compensatorie differenziate: risulta necessario aumentare il carico allenante e gli stimoli fisici supplementari per chi gioca poco al fine di riequilibrare il profilo ormonale, mentre sembrerebbe utile garantire protocolli di recupero estensivo, fisioterapia e scarico per giocatori impiegati per minutaggi più modesti. Sebbene questa ricerca ponga dei valori limite attraverso cui decidere se aumentare o ridurre il carico esterno è ancora presto per poter dare delle linee guida sicure agli esperti di forza e condizionamento fisico.

4.7 Limitazioni:

Sebbene la letteratura scientifica indichi che l'utilizzo del rapporto Testosterone/Cortisolo sia un marcatore validato per valutare l'asse ipotalamo-ipofisi-surrene/gonadi, lo studio presenta alcuni elementi da tenere in stretta considerazione nell'interpretazione dei dati. La principale limitazione risiede nel fatto che il cortisolo è un ormone la cui secrezione risponde in maniera molto sensibile non solo al danno muscolare o allo stress puramente fisico, ma anche allo stress emotivo, all'ansia e alla forte pressione psicologica derivante dalla competizione agonistica di alto livello. Gli stessi autori riconoscono che basarsi esclusivamente su parametri ematici, in assenza di parallele valutazioni psicometriche, impedisce di distinguere in modo netto la pura fatica fisiologica dal sovraccarico mentale. Per questo motivo, si suggerisce che le future indagini e i protocolli di monitoraggio nei team professionistici affianchino a questi prelievi ematici anche la somministrazione periodica di test standardizzati per lo stato d'animo (come questionari quali POMS, STAI o il RESTQ-Sport) e un'analisi quantitativa del carico esterno (tramite l'uso di sistemi GPS o accelerometri sia in allenamento che in partita) al fine di ottenere un quadro molto più olistico e definito della genesi multifattoriale dell'affaticamento.

Monitoraggio della Variabilità della Frequenza Cardiaca e Valutazione del Carico nella Pallacanestro

5.1 Introduzione:

La quantificazione precisa e affidabile del carico di allenamento per ciascun atleta riveste un'importanza fondamentale nello sport di alto livello, in quanto consente di valutare in maniera accurata la risposta fisiologica individuale alle stimolazioni proposte e di apportare i necessari adattamenti alla programmazione tecnica e fisica, al fine di scongiurare condizioni ad alto rischio come l'overtraining e accrescere l'efficienza complessiva del processo formativo.

Il presente articolo di Jin a et all. si pone l'obiettivo di quantificare in maniera oggettiva e non invasiva il carico di lavoro interno attraverso la somministrazione di cinque esercitazioni a ranghi ridotti e a diversa intensità. Per farlo viene comparato l'indice di variabilità della frequenza cardiaca rispetto ai classici marcatori di impulso formativo, percezione soggettiva dello sforzo e parametri cinematici di corsa, lo studio intende validare un nuovo approccio per il monitoraggio della tolleranza individuale e della fatica nel cestista professionista.

Nel contesto applicativo attuale, gli operatori sportivi impiegano numerose metodologie di monitoraggio sia del carico esterno sia del carico interno, pur scontrandosi abitualmente con specifici limiti strumentali. Dispositivi come il GPS offrono indagini in tempo reale su posizione, velocità e distanze coperte, ma risultano spesso inaccurati negli sport indoor e nei movimenti brevissimi ad altissima accelerazione e con frequenti cambi di direzione. Le tecniche di match-analysis video consentono valutazioni puntuali anche degli aspetti tecnici e tattici, ma richiedono tempi di elaborazione estesi e non permettono riscontri immediati durante la seduta. Sul versante biologico interno, il dosaggio del lattato ematico costituisce un valido indicatore di stress metabolico, tuttavia presenta criticità legate a invasività, costi e possibili errori operativi durante il prelievo. Il monitoraggio isolato della frequenza cardiaca, sebbene comodo e ampiamente diffuso, mostra una linearità affidabile con l'intensità del lavoro solo negli sforzi aerobici costanti, mentre nelle attività ad intervalli ed elevata componente neuromuscolare tende a sottostimare il reale impegno bioenergetico. In modo analogo, la percezione soggettiva dello sforzo (che verrà valutato con più interesse nel successivo capitolo) costituisce uno strumento agevole ma potenzialmente alterabile da fattori psicofisici individuali, mentre il calcolo dell'impulso di allenamento (TRIMP), basato sulla frequenza cardiaca media e sulla durata, fallisce nel differenziare stimolazioni continue da quelle intervallate aventi identica durata e media di pulsazioni.

Per superare queste limitazioni metodologiche, una crescente attenzione scientifica si è rivolta all'analisi della variabilità della frequenza cardiaca (HRV), intesa come metodo non invasivo per valutare l'equilibrio e il tono del sistema nervoso autonomo cardiaco. La radice quadrata della media dei quadrati delle differenze successive tra i battiti (RMSSD), marcatore nel dominio del tempo, si dimostra particolarmente sensibile alla rapida regolazione del ramo parasimpatico vagale. Durante l'esercizio fisico ad alta intensità, l'attivazione simpatica indotta dal rilascio di noradrenalina aumenta la contrattilità e la frequenza cardiaca mentre inibisce il nervo vago, provocando un crollo marcato dei valori di RMSSD. Nel successivo riposo o scarico, il rilascio vagale di acetilcolina riattiva il sistema parasimpatico, ristabilendo l'omeostasi biologica. Muovendo da tali basi fisiologiche, la ricerca di Jin e collaboratori si propone di verificare la validità e l'affidabilità di una formula parametrica normalizzata ovvero l'indice di variabilità della frequenza cardiaca, al fine di comprendere se tale parametro sia in grado di quantificare in modo coerente il carico reale durante diverse tipologie di esercitazioni di pallacanestro a campo ridotto.

5.2 Metodi e Disegno dello Studio:

La ricerca è stata condotta reclutando dieci giocatori di pallacanestro maschili di livello universitario ed élite nazionale, caratterizzati da un'età media di diciotto anni, un'altezza di oltre centottanta quattro centimetri, una massa corporea di circa ottanta chilogrammi e un'esperienza agonistica specifica di circa otto anni. I partecipanti sono stati sottoposti a un'indagine medica preliminare per escludere infortuni o patologie in corso, e tutte le procedure sperimentali hanno operato nel pieno rispetto dei principi etici della Dichiarazione di Helsinki con autorizzazione del comitato etico accademico dell'Università dello Sport di Pechino.

Il protocollo si è articolato lungo un periodo di due settimane, in cui gli atleti hanno preso parte a cinque esercitazioni giocate a metà campo, organizzate secondo regole simili al basket tre contro tre e graduate per intensità in base al numero di giocatori coinvolti: uno contro uno, due contro due, tre contro tre, quattro contro quattro e cinque contro cinque. Ciascuna esercitazione ha avuto una durata fissa di dieci minuti. Per evitare qualsiasi interferenza legata al ritmo circadiano o all'accumulo progressivo di fatica, le prove sono state distribuite in ordine randomizzato, somministrate alla stessa ora del giorno e separate da intervalli di due giornate complete, imponendo agli atleti l'estensione da allenamenti extra e l'astensione dall'assunzione di sostanze stimolanti prima di ogni sessione.

Per garantire una parità di confronto tecnico e atletico, i giocatori sono stati raggruppati in due formazioni bilanciate per ruoli ed esperienza competitiva, avvalendosi di atleti di riserva nelle fasi

di gioco a ranghi superiori affinché tutti svolgessero il medesimo minutaggio e le stesse coppie di marcature predefinite. Il monitoraggio ha combinato misurazioni di carico interno ed esterno: l'indice di variabilità della frequenza cardiaca è stato calcolato estrapolando tre blocchi da cinque minuti del parametro RMSSD tramite sensori professionali, rilevati rispettivamente a riposo prima del riscaldamento, tra il quinto e il decimo minuto del recupero post esercizio e tra il trentesimo e il trentacinquesimo minuto post-sessione. In parallelo sono stati calcolati l'impulso di allenamento secondo il metodo di Banister e il voto di percezione soggettiva dello sforzo a trenta minuti dalla fine del lavoro, mentre le distanze e le velocità medie di corsa sono state processate mediante ripresa video digitale e successiva analisi computazionale con software specializzato.

5.3 Risultati:

L'analisi quantitativa e la verifica di normalità dei dati hanno confermato la distribuzione gaussiana per l'indice HRV, il TRIMP e le distanze di corsa, mentre percezione soggettiva e velocità hanno richiesto procedure statistiche non parametriche. Il confronto delle risposte interne alle cinque esercitazioni ha fatto emergere differenze altamente significative su tutti i parametri analizzati.

La valutazione dell'indice HRV ha mostrato un decremento marcato del valore parametrico passando dalle situazioni a ranghi ridotti a quelle a campo completo. L'esercitazione uno contro uno ha prodotto il punteggio di carico HRV più alto della serie, dimostrandosi statisticamente differente da tutte le altre varianti di gioco. Nello specifico, si è registrata una differenza significativa del carico HRV tra l'uno contro uno e il due contro due, il tre contro tre, il quattro contro quattro e il cinque contro cinque, così come tra il due contro due e le esercitazioni a quattro e cinque elementi, mentre le differenze si sono assottigliate tra i formati a tre, quattro e cinque giocatori. In maniera coerente, il calcolo dell'impulso formativo TRIMP e il punteggio soggettivo RPE hanno confermato come le esercitazioni individuali e a coppie generino un impegno cardiovascolare e psicofisico marcatamente superiore rispetto al gioco a ranghi al completo.

Sul versante del carico meccanico esterno, la distanza totale percorsa nei dieci minuti di gioco ha mostrato valori di picco durante le esercitazioni due contro due e tre contro tre, le quali si sono rivelate statisticamente superiori alle distanze coperte nei formati a quattro e cinque giocatori. Al contrario, la velocità media di spostamento ha mantenuto valori elevati e prossimi ai quattro metri al secondo nelle modalità uno contro uno, due contro due e tre contro tre, crollando poi in maniera statisticamente rilevante verso i due metri e otto decimi al secondo durante la situazione di cinque contro cinque.

L'indagine ha messo in evidenza un'associazione positiva e significativa tra il nuovo indice di variabilità della frequenza cardiaca e le metriche di carico interno, mostrando coefficienti di correlazione moderati con l'impulso TRIMP e ampi con la percezione soggettiva dello sforzo RPE. Per quanto riguarda il carico esterno, l'indice HRV ha mostrato un forte legame significativo con la velocità media di corsa, mentre non è emersa alcuna associazione con la distanza chilometrica totale. Infine, l'analisi di concordanza statistica condotta attraverso i grafici di Bland e Altman ha dimostrato un eccellente accordo tra indice HRV, TRIMP e RPE, con un errore medio prossimo allo zero e il novantacinque per cento delle rilevazioni racchiuso all'interno dei limiti di tolleranza clinica.

TABLE 1 | The normality of the distribution of the five measurements.

Measures	Mean $\pm$ SD	Statistic	Df	Sig
TL _{HRV}	2.99 $\pm$ 0.5	0.971	50	0.262
RPE	6.12 $\pm$ 1.14	0.910	50	0.001
TRIMP	22.4 $\pm$ 5.35	0.961	50	0.098
Distance	797.39 $\pm$ 92.83	0.972	50	0.269
Speed	3.54 $\pm$ 0.73	0.678	50	0.000

TABLE 2 | Internal load assessment of five ball-drills.

Training Session (V)	TRIMP	TL _{HRV}	RPE
1V1	24.8 $\pm$ 4.5	3.7 $\pm$ 0.4	7.0 $\pm$ 1.2
2V2	24.8 $\pm$ 4.6	3.2 $\pm$ 0.5 ^a	6.6 $\pm$ 0.7
3V3	23.3 $\pm$ 4.7	2.8 $\pm$ 0.6 ^{ab}	6.3 $\pm$ 0.8
4V4	20.1 $\pm$ 4.8 ^{abc}	2.7 $\pm$ 0.4 ^{ab}	5.3 $\pm$ 0.5 ^{abc}
5V5	19 $\pm$ 4.9 ^{abc}	2.5 $\pm$ 0.8 ^{abc}	5.4 $\pm$ 1.2 ^{ab}

^ap < 0.05: different from 1V1.

^bp < 0.05: different from 2V2.

^cp < 0.05: different from 3V3.

^dp < 0.05: different from 4V4.

TABLE 3 | The running distance and speed of five ball-drills.

Training Session (V)	Distance (m)	Mean Speed (m/s)
1V1	795.6 $\pm$ 85.2	3.9 $\pm$ 0.1
2V2	846.9 $\pm$ 57.9	4.0 $\pm$ 0.1
3V3	858.9 $\pm$ 87.4	4.0 $\pm$ 0.1
4V4	728.3 $\pm$ 84.2 ^{bc}	3.3 $\pm$ 0.8 ^b
5V5	690.6 $\pm$ 62.5 ^{abc}	2.8 $\pm$ 0.4 ^{abc}

^ap < 0.05: different from 1V1.

^bp < 0.05: different from 2V2.

^cp < 0.05: different from 3V3.

^dp < 0.05: different from 4V4.

TABLE 4 | Correlation between TL_{HRV} and internal measured variables.

	TL _{HRV}	TRIMP	RPE
TRIMP	0.34*	1	0.47**
RPE	0.42**	0.47**	1
TL _{HRV}	1	0.34*	0.42**

*p < 0.05 was considered significant and **p < 0.01 highly significant.

5.4 Discussione:

L'obiettivo centrale dello studio di Jin e colleghi consisteva nel verificare la validità dell'indice HRV quale indicatore oggettivo del carico di allenamento nella pallacanestro, accertandone il grado di correlazione con i parametri validati di impulso cardiaco, percezione dello sforzo e cinematica di gioco. I risultati confermano come la formula normalizzata basata sull'RMSSD sia in grado di cogliere con eccellente sensibilità le variazioni fisiologiche e il diverso impegno neuro-vegetativo imposto dal cambiamento nel numero di giocatori sul campo di gara.

Il dato empirico di maggiore rilievo clinico e metodologico riguarda la graduale discesa dell'indice HRV al crescere del numero di atleti per squadra. Quando si riduce il numero di giocatori sul campo, l'intensità del confronto individuale e le richieste metaboliche per singolo atleta aumentano notevolmente, provocando una severa inibizione del tono vagale parasimpatico e una prolungata

attivazione simpatica al termine del lavoro. In una situazione di uno contro uno o due contro due, ogni giocatore possiede un'area relativa di gioco molto più vasta, tocca il pallone con una frequenza nettamente superiore, affronta continui contatti fisici e deve eseguire accelerazioni e decelerazioni ad altissima densità. Tali sollecitazioni di natura anaerobica lattacida innalzano la produzione di metaboliti e stimolano riflessi nervosi che ritardano il ripristino dell'omeostasi nel recupero, elemento che viene perfettamente catturato dalla misurazione del valore di RMSSD pre-esercizio, a cinque e a trenta minuti dal termine.

L'assenza di correlazione statistica tra l'indice HRV e la distanza chilometrica complessiva percorsa, contrapposta invece alla forte correlazione positiva con la velocità media di spostamento, offre una conferma alle teorie neuro-fisiologiche sull'adattamento cardiovascolare. Come già suggerito in letteratura per gli sport di resistenza e ad intervalli, il volume totale e la durata di un'attività non incidono significativamente sulla depressione del nervo vago se lo sforzo è condotto a intensità moderate o aerobiche. È al contrario l'intensità meccanica e metabolica del gesto, rappresentata dall'elevata velocità media di corsa e dall'attraversamento della soglia ventilatoria anaerobica, a determinare l'alterazione del sistema nervoso autonomo e a guidare la lentezza di recupero nel periodo post-allenamento.

5.5 Considerazione Metodologica:

La forte concordanza riscontrata tra indice HRV, TRIMP ed RPE dimostra che le tre metriche poggiano sul medesimo costrutto biologico in risposta allo sforzo; infatti, l'HRV potrebbe essere usata come misura fisiologica complementare all'RPE al fine di avere un quadro più specifico sullo stato di affaticamento del nostro atleta.

5.6 Conclusioni:

In conclusione, l'indagine condotta da Jin e collaboratori dimostra che l'indice normalizzato di variabilità della frequenza cardiaca costituisce uno strumento valido, affidabile e oggettivo per monitorare il carico di allenamento nei giocatori di pallacanestro di alto livello. Il metodo è sensibile alle variazioni organizzative dell'allenamento ed è in grado di distinguere nitidamente l'intensità di diverse esercitazioni di gioco a campo ridotto a parità di durata complessiva.

Dal punto di vista pratico e organizzativo per allenatori, preparatori fisici e staff sportivi, lo studio propone raccomandazioni di rilievo da attuare quotidianamente: gli staff tecnici possono impiegare regolarmente l'indice HRV al termine delle sedute allenanti per misurare con oggettività matematica il reale impatto infiammatorio e cardiovascolare subito dall'atleta, superando i limiti dei tradizionali questionari verbali. Inoltre, la modulazione del numero di giocatori nelle esercitazioni di gioco a

campo ridotto da uno contro uno fino a cinque contro cinque non rappresenta soltanto una scelta di natura tecnico-tattica, ma uno strumento di periodizzazione del carico biologico, permettendo al preparatore atletico di programmare sedute ad elevatissimo stress metabolico o sedute di compensazione in base allo stato di recupero vagale misurato nel singolo cestista.

5.7 Limiti:

Per quanto l'indice di variabilità cardiaca si dimostri un indicatore oggettivo del carico interno, la sua applicazione pratica presenta alcuni limiti rilevanti dal punto di vista metodologico e neurofisiologico che ne condizionano l'interpretazione.

Benché gli autori abbiano formulato il TL_{HRV} come rapporto normalizzato proprio per mitigare le fluttuazioni basali di sonno, dieta e stress, la formula non può escludere l'interferenza biologica, dal punto di vista neurovegetativo. La reattività vagale non è isolabile dalle sollecitazioni extra-sportive, se infatti un'atleta giungesse all'allenamento con un'igiene del sonno alterata o condizioni di stress, ansia aumentati andrebbero a presentare uno squilibrio di partenza verso l'attivazione simpatica

Tale quadro inficerebbe direttamente la fase pre-esaurimento e rallenterebbe la riattivazione parasimpatica nei trenta minuti successivi allo sforzo (*Post30*), producendo un indice di carico elevato e falsato, in pratica di campo, lo staff tecnico non possiede strumenti per discriminare oggettivamente in quale misura il valore osservato rifletta il carico meccanico-metabolico dell'esercitazione o l'accumulo di stress extra-sportivo del soggetto.

Carico di allenamento percepito, dolori muscolari, stress, affaticamento e qualità del sonno nel basket professionistico: uno studio di un'intera stagione.

6.1 Introduzione

L'ottimizzazione dell'allenamento nei giochi sportivi di squadra di alto livello richiede il monitoraggio costante dello stato fisico e fisiologico degli atleti. Negli ultimi anni, la scienza dello sport ha delineato una netta distinzione tra carico esterno e carico interno: se il primo quantifica in termini oggettivi e meccanici il lavoro svolto sul campo (distanze coperte, numero di accelerazioni e decelerazioni, velocità d'azione), il carico interno riflette la risposta biologica, cardiorespiratoria e psicofisica dell'organismo al medesimo stimolo.

Nella pallacanestro moderna i giocatori arrivano a coprire tra i 4 e i 5 chilometri in 40 minuti di gara, compiendo tra i 700 e i 1000 movimenti ad alta velocità, con cambi di direzione in media ogni due secondi. Tale sforzo comporta concentrazioni ematiche di lattato attorno a 4–6 mmol/L (con picchi fino a 12 mmol/L) e una frequenza cardiaca che permane per il 75% del tempo sopra l'85% del valore massimo individuale. Questo impegno energetico e cardiovascolare dimostra quanto sia importante valutare con precisione la tolleranza individuale alle sedute lavorative, indagare l'andamento settimanale permette di comprendere le strategie metodologiche da attuare per scongiurare condizioni avverse di sovraccarico funzionale, overreaching e sovrallenamento (overtraining).

Clemente e il suo team utilizzano il Session-RPE, uno strumento clinico non invasivo, come metodo di percezione dello sforzo originato dalla scala CR-10 di Borg moltiplicata per la durata della seduta in minuti. Il Session-RPE si correla in modo eccellente con indicatori fisiologici interni (ad esempio il carico di Edwards basato sulla frequenza cardiaca) e con parametri esterni di carico meccanico. Accanto al carico di lavoro, la sorveglianza del benessere generale (wellness status) tramite l'Indice di Hooper consente di monitorare costantemente quattro dimensioni psicofisiche d'allarme: dolore muscolare a insorgenza ritardata (DOMS), stress psicologico, sensazione di fatica e qualità del sonno. La combinazione di queste metriche è particolarmente preziosa nel confrontare le settimane normali con quelle congestionate da più impegni agonistici.

6.2 Gruppo studio:

La ricerca ha coinvolto un campione di 15 cestisti professionisti di una squadra militante nella Prima Divisione europea. Il gruppo presentava un profilo d'élite elevato, con un'età media di 27.1 ± 5.2 anni, un'altezza media di 195.3 ± 9.9 cm, una massa corporea di 97.2 ± 13.1 kg e un'anzianità di carriera sportiva ai massimi livelli pari a 7.6 ± 5.6 anni. Ai fini dell'affidabilità statistica, l'analisi ha preso in considerazione solo i giocatori con idoneità medica ad inizio settimana e una frequenza di partecipazione uguale o superiore all'80% delle sedute totali. L'intero protocollo ha rispettato i principi etici sanciti dalla Dichiarazione di Helsinki.

6.3 Materiali e metodi:

Lo studio viene eseguito in modo longitudinale condotto lungo le 42 settimane di una stagione agonistica completa (da agosto 2016 a giugno 2017), senza interferenze nelle scelte tecniche dell'allenatore. Le 42 settimane sono state suddivise in 16 settimane "regolari" (con una sola partita ufficiale in 7 giorni) e 26 settimane "congestionate" (con due o più gare ufficiali ravvicinate). Il monitoraggio ha contato un totale di 235 sedute di allenamento e 69 partite. I giorni della settimana sono stati classificati rispetto al match ufficiale ("M"): da 4 giorni prima (M-4) alla vigilia (M-1), classificando le sedute di rifinitura o attivazione il giorno stesso della gara come M-0.

Il carico percepito (Session-RPE) è stato misurato circa 30 minuti dopo il termine di ogni allenamento o gara, utilizzando la scala CR-10 di Borg moltiplicata per il minutaggio effettivo di attività.

Lo stato di benessere (Questionario di Hooper) è stato valutato 30 minuti prima dell'inizio della seduta su quattro scale da 1 a 7: per DOMS, stress, fatica e sonno i punteggi estremi indicano 1 = "molto, molto basso" e 7 = "molto, molto alto"; (per il sonno, 1 = "molto, molto buona" e 7 = "molto, molto pessima"). L'Indice di Hooper complessivo deriva dalla somma delle quattro scale, dove un punteggio inferiore attesta una forma psicofisica superiore. La somministrazione è avvenuta su tablet dedicati (Microsoft Surface Pro 3) per garantire privacy nelle risposte.

I dati sono stati espressi con media $\pm$ deviazione standard. È stata applicata un'ANOVA mista con test post-hoc di Tukey per analizzare le interazioni tra i fattori dei soggetti (giorni di allenamento da M-4 a M) e tra i soggetti (settimana regolare vs. congestionata), calcolando l'età quadro parziale (η_p^2) per la dimensione dell'effetto. I confronti diretti tra tipologie di settimana sono stati valutati con test t di Student indipendente ed effect size di Cohen (d), con significatività a $p \leq 0.05$.

6.4 Risultati:

- Carico di allenamento percepito (session RPE)

I risultati mostrano che le settimane regolari presentano un carico percepito mediamente superiore rispetto a quelle congestionate, con un effetto moderato seppur non significativo ($p = 0.201$; $d = 2.15$). L'analisi infrasettimanale rivela variazioni fortemente significative sia in settimana regolare ($p = 0.001$; $\eta_p^2 = 0.619$) che congestionata ($p = 0.001$; $\eta_p^2 = 0.761$). Le gare (M) registrano valori d'intensità percepita significativamente superiori ai giorni M-4, M-1 e M-0, mentre i giorni centrali M-3 e M-2 non differiscono dalla gara in alcuna settimana. In entrambe le configurazioni di calendario si osserva una marcata diminuzione del carico nei giorni M-1 e M-0 (tapering prepartita). Nelle settimane congestionate, inoltre, il giorno M-4 presenta un carico significativamente inferiore rispetto a M-3 e M-2, favorendo il recupero metabolico dal match precedente.

- Benessere psicofisico (Indice di Hooper)

L'Indice di Hooper totale non mostra differenze significative tra settimane regolari e congestionate ($p = 0.870$; $d = 0.27$). Tuttavia, scomponendo il dato empirico nelle quattro categorie specifiche emergono differenze cliniche e di campo rilevanti:

- Qualità del Sonno e Fatica: Le settimane congestionate presentano una qualità del sonno moderatamente peggiore (punteggio medio più alto: $p = 0.421$; $d = 1.320$) e un livello di fatica generale moderatamente superiore ($p = 0.468$; $d = 1.401$) rispetto alle settimane regolari, a fronte di un carico totale minore.
- DOMS e Stress: Sono state rilevate differenze minime o assenti tra i due modelli di calendario per dolore muscolare ($p = 0.136$; $d = 0.410$) e stress psicologico ($p = 0.967$; $d = 0.001$).
- Andamento Infrasettimanale: Fatica e stress raggiungono i picchi massimi in M-4 e M-1 (in seguito a partite o sedute pesanti), e la qualità del sonno è la peggiore su M-4. Nei giorni M-0 e nel giorno della gara (M), al contrario, si osserva in maniera consistente la riduzione dei valori dell'Indice di Hooper e una sensazione generale di maggior benessere.

Tabella 1 — Confronto settimanale dei punteggi medi del Questionario di Hooper (Adattato da Clemente et al., 2019)

Parametro	Tipologia Settimana	M-4	M-3	M-2	M-1	M-0	M (Match)
DOMS (1–7)	Regolare	2.56	2.67	2.75	2.56	2.29	2.52
	Congestionata	2.49	2.50	2.52	2.54	2.49	2.33
Fatica (1–7)	Regolare	2.70	2.61	2.62	2.66	2.30	2.49
	Congestionata	2.69	2.60	2.62	2.71	2.51	2.49
Stress (1–7)	Regolare	1.83	1.72	1.79	1.81	1.72	1.77
	Congestionata	1.79	1.70	1.77	1.81	1.77	1.79
Sonno (1–7)	Regolare	2.60	2.49	2.37	2.45	2.29	2.47
	Congestionata	2.67	2.50	2.49	2.58	2.49	2.28

6.5 Discussione:

I dati della ricerca mostrano come preparatori e allenatori applichino una fase di tapering (scarico predosato) nelle sedute immediatamente precedenti la partita ufficiale (M-1 e M-0), a prescindere dal numero di match programmati in settimana. Questa scelta metodologica mira ad assicurare una rigenerazione praticamente completa del potenziale neuromuscolare degli atleti in vista dell'impegno agonistico. I ricercatori evidenziano una sorta di paradosso per il quale la percezione complessiva del carico nelle settimane congestionate risulti minore, questo sarebbe dovuto, secondo i ricercatori per effetto di una fase di doppio scarico pre-gara. Benché questa percezione gli atleti evidenziano di fatto livelli superiori di fatica accumulata e un peggioramento della qualità del sonno. Ciò evidenzia un chiaro effetto cumulativo delle partite: lo stress psicofisico, i contrasti di gioco, i traumi di media entità, nonché l'alterazione dei ritmi stagionali legati a trasferte e viaggi nel calendario fitto, impongono un carico biologico più severo rispetto all'allenamento ordinario. Un ulteriore elemento della discussione concerne la gestione del carico tra i giocatori del quintetto titolare e le riserve. Nelle settimane congestionate, il tempo disponibile per allenamenti ad alta intensità diminuisce drasticamente per lasciare spazio al recupero post-partita. Tale contesto rischia di favorire un decondizionamento fisico nei giocatori con scarso minutaggio competitivo, i quali non ricevono sufficienti stimoli allenanti. Risulta perciò necessario progettare sedute di compensazione ad alta intensità specificamente rivolte alle riserve, parallelamente al lavoro rigenerativo per i titolari.

6.6 Implicazione pratiche per la Dinamica Pre-Gara:

La riduzione programmata del Session-RPE nelle 24–48 ore prepartita si accompagna a un miglioramento concreto dei punteggi di benessere dell'Indice di Hooper nel giorno effettivo di gara.

Ciò conferma che il tapering protegge l'atleta dall'overreaching e ottimizza la prontezza psicofisica all'impegno di campionato.

6.7 Conclusioni ed applicazioni pratiche:

Lo studio dimostra che le settimane congestionate nel basket professionistico di alto livello comportino un carico settimanale complessivo inferiore rispetto alle settimane regolari, ma al tempo stesso determinano un incremento moderato della fatica percepita e una peggiore qualità del sonno. La risposta infiammatoria e la fatica biologica post-gara richiedono un attento monitoraggio continuativo.

Sotto il profilo applicativo, i risultati forniscono due direttrici essenziali per la conduzione tecnica e atletica nella pallacanestro:

- Valorizzazione Strategica del Tapering: Ridurre sistematicamente i volumi di allenamento in M-1 e M-0 rappresenta una necessità imprescindibile per garantire la rigenerazione psicofisica e massimizzare la prestazione nel giorno della partita ufficiale.
- Definizione di Soglie Individuali di Allarme (Cut-off Points): È necessario superare la sola valutazione delle medie generali di squadra. Stabilire soglie di allarme personalizzate sull'Indice di Hooper del singolo cestista consente allo staff tecnico e medico di assumere decisioni oggettive sul dosaggio di intensità e volume, prevenendo il sovrallenamento e personalizzando le stimolazioni pre e post-gara.

6.8 Limiti:

Nonostante lo studio fornisca indicazioni pratiche per la gestione degli atleti, è opportuno evidenziare alcune limitazioni metodologiche intrinseche alla ricerca. In primo luogo, l'intero monitoraggio si è basato esclusivamente su strumenti di autovalutazione, impiegando il Session-RPE per quantificare il carico di lavoro e il Questionario di Hooper per indagare lo stato di benessere psicofisico. Sebbene gli autori stessi sottolineino che il carico esterno permette di misurare in termini oggettivi e meccanici il lavoro svolto sul campo, rilevando parametri come le distanze coperte e il numero di accelerazioni, in questa ricerca i dati raccolti non sono stati integrati con alcuna metrica oggettiva. L'assenza di dispositivi strumentali rende quindi la valutazione interamente dipendente dalla percezione e dalla soggettività degli atleti. In secondo luogo, bisogna considerare la natura osservazionale della ricerca: trattandosi di uno studio longitudinale condotto lungo le 42 settimane di un'intera stagione agonistica senza alcuna interferenza nelle scelte tecniche dell'allenatore, il gruppo di ricerca non ha preso in considerazione diverse variabili esterne. Fattori

quotidiani fondamentali per il recupero, come ad esempio l'alimentazione individuale degli atleti, non sono stati né tracciati né controllati. In un arco temporale così esteso, l'impossibilità di monitorare queste variabili si somma all'impatto fisiologico dato dall'alterazione dei ritmi stagionali legati ai viaggi e alle trasferte, rendendo più complesso isolare in maniera assoluta l'effetto del solo allenamento sulle risposte di affaticamento dei giocatori.

DISCUSSIONE:

Il presente elaborato ha analizzato i principali metodi soggettivi e oggettivi per la valutazione dell'affaticamento neuromuscolare nei giocatori professionisti di pallacanestro, basandosi sulla revisione di cinque studi presenti in letteratura. L'obiettivo di tali ricerche è comprendere le manifestazioni dell'affaticamento e utilizzare queste informazioni per mitigare il rischio di infortuni e prevenire le sindromi da sovrallenamento (overtraining).

È tuttavia necessario sottolineare che i cinque marker individuati non sono sufficienti, se presi singolarmente, per determinare in modo assoluto una condizione di affaticamento centrale e/o periferico. Essi rappresentano, in ogni caso, strumenti preziosi a disposizione del preparatore fisico e dello staff tecnico per una corretta modulazione dei carichi di allenamento.

Nelle sezioni successive questi parametri verranno discussi singolarmente, per poi procedere alla valutazione di un protocollo che li integri all'interno di un'intera stagione sportiva.

7.1 Creatinchinasi (CK): Repeated Bout Effect, influenze ormonali e limiti applicativi

Nel primo articolo analizzato, i ricercatori hanno esaminato le fluttuazioni della creatinchinasi (CK) in seguito a un incontro ufficiale di campionato in giocatrici di pallacanestro d'élite, monitorando l'andamento anche durante la fase di recupero. I risultati hanno evidenziato che, a fronte di uno sforzo agonistico moderato e di un minutaggio controllato, una finestra di 48 ore risulta sufficiente per garantire un completo ripristino della condizione fisica e il mantenimento delle performance di forza e agilità.

Tuttavia, dall'analisi generale dello studio emerge che la misurazione della CK non si è dimostrata un parametro del tutto efficace per quantificare oggettivamente il livello di fatica reale delle atlete. Questa ridotta sensibilità del marcatore è imputabile principalmente a due fattori fisiologici:

- **Repeated Bout Effect (RBE):** le giocatrici professioniste possiedono adattamenti strutturali preesistenti derivanti dall'esposizione cronica ai carichi eccentrici, i quali garantiscono una maggiore resistenza del sarcolemma allo stress meccanico. Di conseguenza, il carico imposto dalla partita non è stato sufficiente a superare questa soglia di adattamento e a raggiungere il *cut-off* di 900 U/L, valore che avrebbe innescato un efflusso massiccio di enzimi nel torrente ematico.

- Fattore ormonale: gli estrogeni (in particolare l'estradiolo) svolgono un ruolo fondamentale nel sesso femminile, contribuendo con la loro azione protettiva a stabilizzare le membrane cellulari e limitando ulteriormente la dispersione enzimatica post-esercizio.

Alla luce di queste evidenze, dal punto di vista pratico e applicativo, l'utilizzo della creatin chinasi per monitorare l'affaticamento neuromuscolare nella pallacanestro femminile presenta criticità rilevanti. Oltre ai limiti fisiologici intrinseci legati al genere e all'elevato livello di allenamento del campione, vi sono evidenti limitazioni logistiche. La necessità di effettuare prelievi ematici multipli rappresenta una procedura invasiva che rischia di stressare inutilmente le atlete, rendendo questo marcatore di difficile applicazione nella routine sportiva. Pertanto, per una valutazione accurata e oggettiva del reale stato di affaticamento, risulta necessario rivolgere l'attenzione verso metodologie d'indagine meno invasive e maggiormente sensibili alle fluttuazioni della performance nel contesto ecologico degli sport di squadra.

7.2 Monitoraggio neuromuscolare (CMJ): discordanza tra altezza di salto e tempi di recupero centrali e periferici

Nel secondo studio, Yoshida e colleghi (2024) hanno analizzato le alterazioni neuro muscolari post-esercizio tramite il Countermovement Jump (CMJ), evidenziando una netta scissione temporale nel recupero. Mentre le variabili prestazionali visibili, come l'altezza del salto, tornano ai valori basali in circa 24 ore, il completo ripristino dell'efficienza neuromuscolare (valutata tramite le variabili temporali) richiede fino a 48 ore, culminando in una supercompensazione a 72 ore post-esercizio. Questo divario temporale dimostra che valutare lo stato di forma di un atleta basandosi unicamente sull'altezza del salto risulta fuorviante, infatti, a 24 ore di distanza gli atleti riescono a eguagliare le prestazioni pre-esercizio adottando strategie di movimento compensatorie, le quali mascherano un quadro di fatica residua ancora presente a livello centrale e periferico.

Dal punto di vista pratico, questi risultati sottolineano la necessità di monitorare parametri biomeccanici più profondi, come le specifiche fasi propulsive del salto e i tassi di sviluppo della forza. Di conseguenza, a seguito di allenamenti o partite ad alta intensità, rimane utile garantire finestre di recupero di 48-72 ore. Risulta perciò evidente che per valutare la Readiness nella pallacanestro moderna sia necessario adottare approcci che tengano conto di questi limiti.

7.3 Monitoraggio ormonale (rapporto T/C): fluttuazioni stagionali in base al ruolo e al minutaggio

Nel terzo studio analizzato, Schelling e colleghi hanno monitorato longitudinalmente le fluttuazioni del testosterone, del cortisolo e del loro rapporto (T/C) in cestisti d'élite durante un'intera stagione agonistica, al fine di valutare l'equilibrio anabolico-catabolico e l'insorgenza della fatica cronica. I risultati evidenziano che il profilo endocrino è influenzato dal ruolo ricoperto in campo e dal minutaggio.

Nello specifico, le ali grandi e le ali piccole mostrano i profili maggiormente catabolici (bassi livelli di T/C e picchi di cortisolo) a causa dell'altissima spesa neuromuscolare imposta dal loro ruolo, mentre i centri riescono a mantenere un quadro più anabolico. Per quanto riguarda il minutaggio, la ricerca mostra che un impiego intermedio (13-25 minuti) garantisce un equilibrio ormonale ottimale. Al contrario, giocare per oltre 25 minuti causa un drastico calo del testosterone a causa dell'accumulo di fatica meccanica, mentre un impiego inferiore ai 13 minuti innalza paradossalmente il cortisolo, suggerendo sia una mancanza di stimolo allenante sia un elevato stress emotivo derivante dal basso coinvolgimento in gara. Questo deterioramento generale culmina in un picco critico nei mesi primaverili (marzo-aprile), esponendo gli atleti a un alto rischio di sovrallenamento e infortuni.

Dal punto di vista metodologico, tuttavia, basarsi esclusivamente su parametri ematici presenta dei limiti: il cortisolo è infatti un ormone estremamente sensibile anche all'ansia e allo stress psicologico derivante dalla competizione. A livello applicativo, questi dati rendono necessario l'abbandono di protocolli standardizzati in favore di un'estrema individualizzazione dei carichi: risulta utile fornire stimoli fisici supplementari a chi gioca meno di 13 minuti, garantendo parallelamente finestre di recupero estensivo a chi supera i 25 minuti di impiego. Infine, per ottenere un quadro realmente olistico e distinguere la fatica fisiologica dal sovraccarico mentale, il monitoraggio biologico deve essere necessariamente integrato con valutazioni psicometriche (es. questionari POMS o RESTQ-Sport) e con un'analisi quantitativa del carico esterno tramite accelerometri o sistemi GPS.

7.4 Variabilità della Frequenza Cardiaca (HRV): quantificazione del carico interno in esercitazioni a ranghi ridotti

Nel quarto studio, Jin e collaboratori dimostrano che l'indice normalizzato di variabilità della frequenza cardiaca (HRV) è uno strumento oggettivo per quantificare il carico interno nella pallacanestro d'élite. L'analisi evidenzia come questo marcatore colga con precisione le variazioni di intensità nelle esercitazioni a ranghi ridotti: al diminuire del numero di giocatori (es. 1vs1 o 2vs2), il maggiore impegno metabolico inibisce drasticamente il tono vagale rispetto alle simulazioni a campo completo. Pur avendo una forte concordanza con parametri classici come il TRIMP e l'RPE, l'HRV offre il vantaggio metodologico di valutare lo stress in modo oggettivo, superando le distorsioni tipiche delle scale psicometriche e le imprecisioni del TRIMP negli sforzi intermittenti.

A livello applicativo, variare il numero di giocatori si conferma un vero e proprio strumento di periodizzazione del carico biologico, permettendo di modulare lo stress metabolico. Tuttavia, l'impiego dell'HRV presenta criticità pratiche. Oltre a richiedere tempistiche di misurazione più lunghe rispetto all'RPE e a mancare di validazione incrociata con marcatori biochimici (es. lattato), l'HRV è fortemente influenzabile da fattori di stress extra-sportivi come sonno alterato o ansia. Tali interferenze esterne possono sbilanciare il sistema nervoso autonomo ancor prima dell'allenamento, rendendo complesso per lo staff tecnico isolare la reale fatica acuta indotta dall'esercizio.

7.5 Monitoraggio soggettivo (Session-RPE e Indice di Hooper): gestione del carico psicofisico e strategie di tapering

Nel quinto studio, Clemente e colleghi dimostrano come il monitoraggio del carico interno (Session-RPE) e del benessere psicofisico (Indice di Hooper) riveli dinamiche inaspettate durante le settimane agonistiche congestionate. Nonostante il carico di allenamento percepito risulti inferiore rispetto alle settimane regolari, a causa dei necessari giorni di scarico pre-gara (tapering), i giocatori registrano livelli superiori di fatica accumulata e un peggioramento della qualità del sonno. Questo paradosso evidenzia il marcato effetto cumulativo dello stress psicofisico e dei traumi da partita, che impongono un logorio biologico nettamente più severo rispetto al solo allenamento ordinario. A livello applicativo, i risultati confermano l'efficacia del tapering (nei giorni M-1 e M-0) per ottimizzare la prestazione e sottolineano la necessità sia di programmare sedute compensatorie per i giocatori con scarso minutaggio, sia di stabilire soglie di allarme individualizzate sull'Indice di Hooper. Tuttavia, questo approccio presenta chiari limiti metodologici. Basandosi esclusivamente su scale di autovalutazione soggettiva, lo studio manca di una validazione incrociata con parametri

oggettivi di carico esterno (come i GPS). Inoltre, la natura osservazionale della ricerca non ha permesso di isolare la fatica indotta dall'allenamento dalle molteplici variabili esterne non controllate, quali lo stress da trasferta e l'alimentazione individuale, fattori che incidono pesantemente sull'omeostasi dell'atleta nell'arco di un'intera stagione.

7.6 Proposta di Protocollo Integrato per una squadra d'Élite

A conclusione di questo lavoro di revisione sull'affaticamento neuromuscolare nella pallacanestro, risulta utile tradurre le evidenze scientifiche analizzate in un'applicazione pratica, è importante specificare che questo protocollo non viene validato dai precedenti studi e può essere inteso solo come un modello preliminare che la ricerca scientifica dovrà andare a testare ed eventualmente ad approvare. Si propone pertanto un'ipotesi di protocollo di monitoraggio integrato, concepito specificamente per una squadra professionistica dotata delle necessarie risorse economiche e logistiche per sostenere un'indagine quotidiana approfondita. Questo modello si fonda sulla combinazione di tre differenti metodologie, scelte per indagare in modo complementare i diversi sistemi biologici sollecitati dall'allenamento.

7.6.1 Countermovement Jump (CMJ) per la valutazione della Readiness neuromuscolare

Il primo pilastro del protocollo prevede l'utilizzo del CMJ su pedane di forza per misurare la Readiness quotidiana, da somministrare obbligatoriamente prima delle sedute in sala pesi. Come evidenziato in precedenza, l'analisi delle variabili temporali e della curva forza-tempo permette di smascherare strategie compensatorie e fatica silente a carico del sistema nervoso centrale e periferico. Conoscere il reale stato di efficienza neurale pre-allenamento risulta cruciale per autoregolare il carico permettendo allo staff di quantificare quanto l'atleta sia pronto a spingere in termini di forza e potenza senza somministrare carichi eccessivi come potrebbero essere carichi massimali o eccentrici pesanti ad un sistema nervoso già depresso permettendo allo staff di avere dei dati su cui strutturare le sedute successive. Questo tipo di test diventa particolarmente utile con il proseguimento della stagione quando i giocatori hanno poco tempo da dedicare alla sala pesi e che quindi diventa decisiva la selezione di carichi appropriati.

7.6.2 Session-RPE per il monitoraggio del Conditioning metabolico

Per la quantificazione del carico interno derivante dalle sedute di condizionamento e tecnico-tattiche sul campo, il protocollo si affida al Session-RPE. È fondamentale attuare una netta distinzione fisiologica rispetto al lavoro di forza, se l'allenamento con i sovraccarichi induce un profondo stress meccanico e neurale che non innalza prolungatamente la frequenza cardiaca, rendendo la percezione globale dello sforzo un parametro spesso poco sensibile per quantificare la

pura fatica neuromuscolare al contrario del conditioning che impone un sovraccarico sistemico, cardiovascolare e metabolico. In questo scenario, il Session-RPE si dimostra uno strumento eccellente e validato per riassumere l'impatto globale della seduta, permettendo di quantificare il carico interno globale percepito e la tolleranza del giocatore ai volumi di corsa e ai cambi di direzione.

7.6.3 Variabilità della Frequenza Cardiaca (HRV) notturna

A fare da tramite e unire il monitoraggio meccanico (CMJ) a quello percettivo-metabolico (RPE), viene inserita la valutazione dell'HRV. Rispetto alla sola misurazione post-esercizio TL_{HRV} , in un contesto d'élite si propone l'implementazione del monitoraggio dell'HRV notturno, facilmente eseguibile tramite l'adozione di fasce cardio di ultima generazione o dispositivi *wearable* (es. smart ring) forniti agli atleti. La rilevazione durante il sonno offre un vantaggio non indifferente: riduce le interferenze acute del post-allenamento e dello stress quotidiano, fornendo un'immagine più pulita del tono vagale parasimpatico. Questo permette di valutare con oggettività come l'organismo stia assorbendo e recuperando il carico combinato (forza + conditioning) delle giornate precedenti e quanto la qualità del sonno stia effettivamente contribuendo al ripristino dell'omeostasi.

7.7 Proposta di un protocollo integrato per un team semi-professionistico

Sebbene il modello di monitoraggio appena descritto risulti ideale per una squadra d'élite, la sua applicazione pratica può rivelarsi complessa all'interno di un contesto semiprofessionistico privo delle risorse necessarie per dotare le proprie strutture di strumentazioni avanzate. Per ovviare a tali limitazioni logistiche ed economiche, è possibile strutturare un protocollo semplificato che riesca comunque a garantire elevati standard qualitativi nella gestione della fatica e nella programmazione dei carichi.

In primo luogo, si suggerisce l'esclusione del monitoraggio della variabilità della frequenza cardiaca (HRV). Sebbene l'HRV rappresenti una valida risorsa per il monitoraggio a qualsiasi livello agonistico, i costi della strumentazione necessaria potrebbero risultare insostenibili per le società con limitate disponibilità economiche. Inoltre, il rilevamento sistematico di questo parametro richiede un'elevata aderenza (compliance) al protocollo, un impegno che non tutti i giocatori sono in grado di garantire con costanza. Infine, un ulteriore fattore limitante risiede nelle competenze richieste allo staff per l'analisi dei dati: un'interpretazione errata di questi valori potrebbe portare a scelte metodologiche controproducenti, compromettendo l'adeguata programmazione degli allenamenti.

Un'ulteriore soluzione pratica consiste nell'utilizzo di pedane di contatto in sostituzione alle piattaforme di forza biassiali. Pur fornendo esclusivamente il dato relativo al tempo di volo e non consentendo una scomposizione dettagliata della curva forza-tempo o delle singole fasi biomeccaniche, questi strumenti si confermano scientificamente validati e del tutto appropriati per la registrazione dei parametri temporali e la stima dell'altezza di salto utile per calcolare l'RSI. Infine, si suggerisce di mantenere invariata la raccolta della *Session RPE* per il monitoraggio delle sedute sul campo. Trattandosi di un metodo completamente gratuito e di semplice somministrazione, esso rappresenta con ogni probabilità il miglior compromesso tra costi ed efficacia pratica. Questa scelta garantisce infatti allo staff tecnico un tracciamento affidabile e continuo del carico interno, permettendo di monitorare, anche se in maniera soggettiva, eventuali stati di sovraffaticamento senza gravare sulle risorse economiche della società.

Per completare il protocollo si propone di inserire il Questionario di Hooper, che i giocatori andranno a compilare prima della seduta. Questo strumento si basa sulla valutazione di quattro parametri (DOMS, stress, fatica e qualità del sonno) attraverso una scala i cui punteggi estremi indicano 1 per "molto, molto basso" e 7 per "molto, molto alto". I risultati raccolti saranno poi trasformati in deviazioni standard dallo staff, così da individualizzare il dato e avere un quadro più completo della condizione dell'atleta.

Tale compromesso garantisce allo staff tecnico la possibilità di mantenere un controllo costante e affidabile sulla condizione neuromuscolare e sul carico interno degli atleti prima della successiva seduta, ottimizzando l'allenamento e prevenendo gli infortuni anche in assenza di grandi disponibilità finanziarie.

Bibliografia

1. Changes in muscle damage markers in female basketball players.

Autori: Moreira A.1, Nosaka K.2, Nunes J.A.3, Viveiros L.4, Jamurtas A.Z.5, Aoki M.S.3

DOI: 10.5604/20831862.1083272

Data di pubblicazione: 04.06.2013

2. Muscle Damage and Recovery During a Basketball Competition

Autori: Tahir Kilic, Department of School of Physical Education, Akdeniz University, Turkey

DOI: 10.19080/JPFMTS.2018.05.555659

Data di pubblicazione: 04.09.2018

3. Central and Peripheral Fatigue in Physical Exercise Explained: A Narrative Review

Autori: José Francisco Tornero-Aguilera, Jorge Jimenez-Morcillo, Alejandro Rubio-Zarapuz 1,2 and Vicente J. Clemente-Suárez

DOI: 10.3390/ijerph19073909

Data di pubblicazione: 25.03.2022

4. The Effect of Protein Supplementation and Playing Time on Recovery Kinetics During a Congested Basketball Schedule

Autori: Dimitrios Pantazis, Alexandra Avloniti, Maria Protopapa, Draganidis Dimitrios, Christos Kokkotis, Dimitrios Balampanos, Theodoros Stampoulis, Sotirios Arsenis, Athanasios Poullos Konstantinos Papanikolaou, Vassiliki C. Laschou, Nikolaos Papaspanos, Nikolaos Zaras, Panagiotis

Tsimeas, Georgios Vitkas, Asimenia Gioftsidou, Paraskevi Malliou, Maria Michalopoulou, Athanasios Z. Jamurtas

DOI: 10.3390/nu17010128

Data di pubblicazione: 31.12.2024

5. Perceived Training Load, Muscle Soreness, Stress, Fatigue, and Sleep Quality in Professional Basketball: A Full Season Study

Autori: Filipe Manuel Clemente, Bruno Mendes, Sarah da Glória Teles Bredt, Gibson Moreira Praça, André Silvério, Sandro Carriço, Emanuel Duarte

DOI: 10.2478/hukin-2019-0002

Data di pubblicazione: 05.07.2019

6. Repeat sprint fatigue and altered neuromuscular performance in recreationally trained basketball players

Autori: Nicolas M. Philipp, C. Fry, Dimitrije Cabarkapa1, DrakeA.EserhautID, DanielYu, Andrew

DOI: 10.2478/hukin-2019-0002

Data di pubblicazione: 17.07.2023

7. Using testosterone and cortisol as biomarker for training individualization in elite basketball: A 4-year follow-up study

Autori: Xavi Schelling, Julio Calleja-gonzalez, Lorena Torres-Ronda, Nicola's Terrados

DOI: 10.1519/JSC.0000000000000642

Data di pubblicazione: 29.02.2015

8. Long-Term Analyses of the Rate of Perceived Exertion as an Indicator of Intensity in Women's Basketball during a Relegation Play-off

Autori: Abraham Batalla-Gavaldà, Jose Vicente Beltran-Garrido, Gerson Garrosa-Martín, Pau Cecilia-Gallego, Raul Montoliu-Colás and Francisco Corbi.

DOI: 10.3390/biology11111592

Data di pubblicazione: 30.10.2022

9. A Validation Study of Heart Rate Variability Index in Monitoring Basketball Training Load

Autori: Naijing Jin , Jie Tian , Yue Li , Jing Mi

DOI: 10.3389/fphys.2022.881927

Data di pubblicazione: 25.03.2022

10. Why is countermovement jump height greater than squat jump height?

Autori: M F Bobbert¹, K G Gerritsen, M C Litjens, A J Van Soest

DOI: 10.1097/00005768-199611000-00009

Data pubblicazione: 28.11.1996

LIBRI:

1. Fisiologia dell'esercizio

Autori: McArdle, Katch, Katch a cura di Antonio Paoli

Data di pubblicazione: 05.2024

2. Manuale di condizionamento e di allenamento della forza

Autori: NSCA a cura di Calzetti, Mariucci

Data di pubblicazione: 07.2020