



## Attività fisica e pratica sportiva

# LARN

**Livelli di Assunzione di Riferimento di Nutrienti ed energia  
per la popolazione italiana**

**V Revisione**



**SINU, Società Italiana di Nutrizione Umana.**  
**LARN - Livelli di Assunzione di Riferimento di Nutrienti ed energia**  
**per la popolazione italiana. V Revisione.**  
**Biomedia, Milano 2024.**

---

Edizione  
Giugno 2024  
ISBN 978-88-86154-76-5

---

**Realizzazione editoriale - Sede legale**  
**BIOMEDIA srl**  
Via L. Temolo 4, 20126 Milano  
*www.biimedia.net*

**Direttore Responsabile**  
Raffaella Agosta  
**Coordinatore editoriale**  
Lucrezia Monterisi  
**Progetto grafico e Impaginazione**  
Nicoletta Ferri  
**Stampa**  
Grafica Briantea, Usmate (MI)

---

© SOCIETÀ ITALIANA DI NUTRIZIONE UMANA, SINU.  
TUTTI I DIRITTI SONO RISERVATI. NESSUNA PARTE DI QUESTA PUBBLICAZIONE PUÒ ESSERE FOTOCOPIATA, RIPRODOTTA, ARCHIVIATA, MEMORIZZATA O TRASMESSA IN QUALSIASI FORMA O CON QUALSIASI MEZZO – ELETTRONICO, MECCANICO, REPROGRAFICO, DIGITALE – SE NON NEI TERMINI PREVISTI DALLA LEGGE CHE TUTELA I DIRITTI D'AUTORE. PER EVENTUALI AUTORIZZAZIONI IL PERMESSO ANDRÀ RICHIESTO ALLA SOCIETÀ ITALIANA DI NUTRIZIONE UMANA (SINU, [www.SINU.IT](http://www.SINU.IT)).



# LARN V Revisione

## COMITATO DI COORDINAMENTO

Alessandra Bordoni, Furio Brighenti, Giulia Cairella, Andrea Ghiselli\*, Marisa Porriini, Laura Rossi, Luca Scalfi, Francesco Sofi, Pasquale Strazzullo e Paola Iaccarino-Idelson (*Rapporteur*)

## GRUPPO DI REVISIONE EDITORIALE

Salvatore Ciappellano, Francesca Garagnati, Paolo Simonetti, Pasquale Strazzullo, Aida Turrini

## GRUPPI DI LAVORO

### Acqua

*Coordinatrice:* Anna Maria Giusti  
Hellas Cena, Maria Vittoria Conti, Ilaria di Napoli, Gianni Pastore, Cinzia Ingallina, Luisa Mannina

### Energia

*Coordinatori:* Laura Rossi e Luca Scalfi  
Simona Bo, Iolanda Cioffi, Laura Censi, Angela Polito, Maurizio Marra, Pierluigi Pecoraro

### Carboidrati

*Coordinatore:* Furio Brighenti  
Gabriele Riccardi, Rosalba Giacco, Marina Carcea, Rita Acquistucci, Letizia Bresciani, Margherita Dall'Asta

### Lipidi

*Coordinatrice:* Alessandra Bordoni  
Walter Currenti, Mattia Di Nunzio, Fabio Galvano, Giuseppe Grossi, Livia Pisciotta, Angela Rivellese, Francesco Visioli, Marilena Vitale

### Proteine

*Coordinatori:* Luca Scalfi e Laura Rossi  
Sabina Sieri, Stefania Marconi, Maria Laura Scarino, Federica Grant, Luisa Marletta, Giuliana Valerio, Lorenzo Maria Donini, Mauro Zamboni

---

\* Nel corso della preparazione di questa revisione LARN è venuto a mancare il Prof. Andrea Ghiselli di cui ricordiamo il valore scientifico e l'impegno dedicato a questa pubblicazione.

## Vitamine Liposolubili

*Coordinatrice:* Patrizia Riso  
Donato Angelino, Veronica Abate, Cristian Del Bo', Lara Costantini, Nicolò Merendino, Domenico Rendina, Mauro Serafini

## Vitamine idrosolubili

*Coordinatrice:* Isabella Savini  
Giulia Cairella, Valeria Catani, Valeria Gasperi, Francesca Garbagnati, Stefania Ruggeri, Paolo Simonetti

## Minerali macro

*Coordinatore:* Pasquale Strazzullo  
Veronica Abate, Lanfranco D'Elia, Marika dello Russo, Paola Iaccarino Idelson, Paolo Emidio Macchia, Domenico Rendina

## Minerali micro

*Coordinatrice:* Daniela Erba  
Salvatore Ciappellano, Tommaso Filippini, Marcella Malavolti, Laura Rossi

## Composti bioattivi

*Coordinatrice:* Marisa Porrini  
Daniele Del Rio, Vincenzo Fogliano, Andrea Ghiselli\*, Daniela Martini, Nicoletta Pellegrini, Gianluigi Russo

## Età evolutiva

*Coordinatrice:* Giuliana Valerio  
Patrizia Calella, Angelo Campanozzi, Giampaolo De Filippo, Ornella Guardamagna, Claudio Maffei

## Età geriatrica

*Coordinatore:* Lorenzo Maria Donini  
Silvia Migliaccio, Eleonora Poggiogalle, Claudia Piciocchi, Valentina Frattina, Maria Risicato, Maria Vittoria Ievolella, Grazia Semeraro, Alice Di Stefano, Luca Ricci, Ilaria Zubba

## Gravidanza e allattamento

*Coordinatrici:* Irene Cetin e Elvira Verduci  
Francesca Parisi, Giuseppe Banderali, Elisabetta Di Profio, Vittoria Ercoli, Cristina Pederiva

## Fonti della dieta

*Coordinatrice:* Stefania Sette  
Marialaura Bonaccio, Emanuela Camilli, Francesco Cubadda, Chiara Donfrancesco, Marika Ferrari, Licia Iacoviello, Cinzia Le Donne, Luisa Marletta, Lorenza Mistura, Maria Parpinel, Alice Rosi, Emilia Ruggiero, Sabina Sieri, Aida Turrini

## Standard quantitativi delle porzioni

*Coordinatori:* Giulia Cairella e Andrea Ghiselli\*  
Valeria del Balzo, Francesca Garbagnati, Isabella Savini, Daniele Nucci, Raffaela Piccinelli, Umberto Scognamiglio, Salvatore Vaccaro

## Attività fisica

*Coordinatore:* Michelangelo Giampietro  
Iacopo Bertini, Erminia Ebner, Cinzia Ferraris, Danilo Gambarara, Marco Rufolo, Michele Sculati, Maria Lorena Tondi

## Documenti internazionali di riferimento

*Coordinatrice:* Daniela Martini  
Francesca Danesi, Garden Tabacchi

## Obiettivi nutrizionali per la prevenzione

*Coordinatore:* Francesco Sofi  
Monica Dinu, Vincenza Gianfredi, Licia Iacoviello, Giuditta Pagliai, Sabina Sieri



# Attività fisica e pratica sportiva

<b>Introduzione</b>	9
<b>Acqua</b>	17
<b>Energia</b>	33
<b>Carboidrati</b>	39
<b>Lipidi</b>	49
<b>Proteine</b>	59
<b>Vitamine</b>	73
<b>Minerali</b>	83
<b>Composti bioattivi della dieta</b>	95



# Introduzione

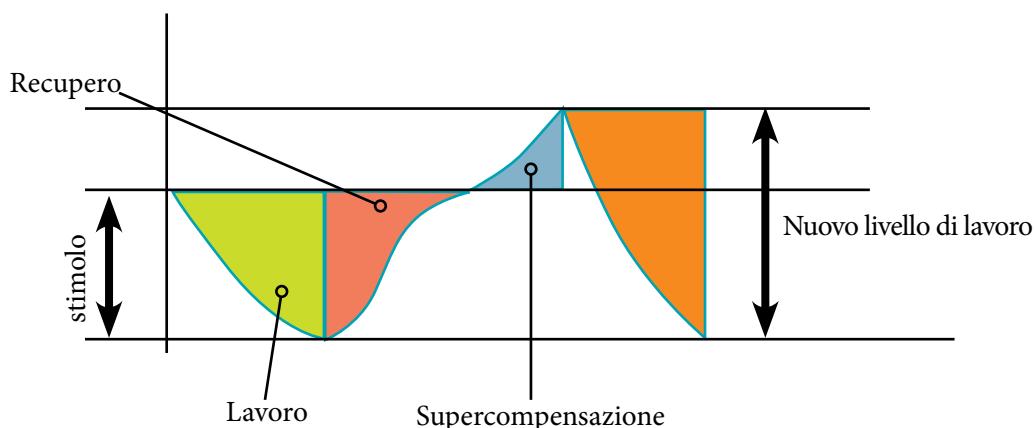
I termini attività fisica, esercizio fisico, allenamento e sport sono spesso usati indifferentemente, anche se, in realtà, sono diversi tra loro per molti aspetti che può essere utile precisare:

- l'attività fisica è “qualsiasi movimento del corpo (compreso quello effettuato mentre si lavora, si gioca, si svolgono le faccende domestiche, si viaggia e si praticano attività ricreative) realizzato dalla contrazione dei muscoli scheletrici, che ne aumenti la spesa energetica rispetto a quella spontanea dello stato di riposo”;
- l'esercizio fisico è, invece, una “sequenza pianificata, strutturata e, per certi versi, “ripetitiva” di movimenti finalizzati a migliorare o mantenere uno o più componenti della forma fisica (fitness) o di una o più specifiche capacità fisiche”;
- l'allenamento è un “processo dinamico, di progressiva evoluzione del carico di lavoro e di alternanza tra carichi e fasi di recupero, finalizzato al miglioramento della prestazione fisica e sportiva attraverso l'adattamento all'attività muscolare” (WHO, 2018).

Possiamo definire l'allenamento uno stimolo/stress, che deve interferire con il normale equilibrio fisiologico (omeostasi) dell'organismo in modo da indurre una sua reazione per ripristinare nuovamente l'equilibrio, andando però oltre il livello iniziale, secondo quello che viene definito il “principio della supercompensazione o legge di Weigert”.

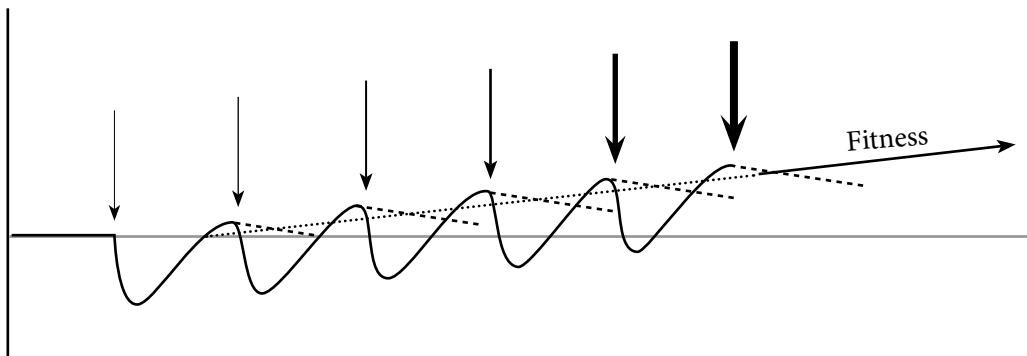
All'allenamento segue un periodo di recupero e quindi una “fase di supercompensazione”, necessaria affinché l'organismo, attraverso il riposo adeguato e gli opportuni interventi nutrizionali, possa riparare e ripristinare le alterazioni metaboliche e strutturali prodotte dal lavoro muscolare e creare gli adattamenti funzionali favorevoli a un miglioramento dell'omeostasi generale e delle capacità di prestazione.

L'organismo risponde ad ogni azione che ne modifichi l'equilibrio con una reazione che eccede l'azione stessa e sposta l'iniziale normalità a un livello più elevato di esercizio (**Figura 1**).



**Figura 1** La supercompensazione.  
Modificata da Brunetti (2010)

Quando i carichi crescenti vengono eseguiti con regolarità e intervallati dal necessario riposo, gli effetti positivi ottenuti dopo ciascun carico si sommano portando, nel tempo, a un adattamento positivo e stabile dell'organismo (**Figura 2**).



**Figura 2** Progressivo incremento del carico di lavoro per ottimizzare il miglioramento della capacità prestativa (Donati, 2021).

Secondo Donati (2021) “*l’allenamento sportivo* è un processo pedagogico-educativo complesso che presuppone la scelta degli esercizi fisici più adatti alle caratteristiche individuali e alle prospettive di specializzazione sportiva del soggetto e che si concretizza nell’organizzazione degli esercizi stessi ripetuti:

- secondo forme, combinazioni e gradi di difficoltà, tali da promuovere lo sviluppo delle abilità tecno-tattiche
- in quantità e intensità tali da favorire l’impiego efficace, in gara, delle abilità, anche in condizione di affaticamento” (Donati, 2021).

Lo sport, secondo la definizione della Commissione Europea, è “*qualsiasi forma di attività fisica che, attraverso una partecipazione organizzata o non, abbia per obiettivo l’espressione o il miglioramento della condizione fisica e psichica, lo sviluppo delle relazioni sociali o l’ottenimento di risultati in competizioni di tutti i livelli*”.

La parola atleta deriva dalla radice greca “*athlos*” che significa “risultato” o “gara”: come tale, è strettamente connessa alla partecipazione a eventi competitivi al fine di ottenere il migliore risultato possibile in termini assoluti e/o relativamente alle proprie individuali capacità prestative.

Per classificare e distinguere gli “sportivi” dagli “atleti” possiamo utilizzare i quattro parametri che, in qualche misura, definiscono i principi base dell’allenamento: frequenza, intensità, tempo e tipo (**Tabelle 1 e 2**).

Secondo McKinney et al (2019) lo scopo dell’allenamento dovrebbe essere considerato un criterio fondamentale per distinguere un atleta da uno sportivo, suggerendo di considerare il “volume di esercizio” (ore/settimana) come un criterio quantitativo che consente ulteriormente la classificazione degli atleti/sportivi e il loro “livello competitivo”:

- **Atleti di “élite”** si allenano >10 ore/settimana e le loro prestazioni atletiche raggiungono il più alto livello di competizione;
- **Atleti “competitivi”** si allenano >6 ore/settimana con particolare attenzione al miglioramento delle prestazioni;

- **Atleti “ricreativi” (“amatoriali”) si allenano >4 ore/settimana** per partecipare a competizioni non regolamentate;
- **Sportivi che praticano >2,5 ore/settimana di attività fisica** con l’obiettivo primario di mantenere lo stato di salute e di forma fisica.

L’Organizzazione Mondiale della Sanità, al pari di altre maggiori organizzazioni nazionali e internazionali che si occupano di salute pubblica, definisce **comportamento sedentario** “*ogni comportamento da svegli, in posizione seduta, reclinata o distesa, caratterizzato da un dispendio energetico inferiore a 1,5 MET (Metabolic Equivalent of Task, equivalente metabolico del lavoro)*”. Tra i comportamenti sedentari più comuni ci sono guardare la TV, giocare con i videogame, usare il computer, guidare l’automobile e leggere (WHO, 2018).

L’attività sportiva, solo se effettuata a livello agonistico-competitivo, deve essere considerata un’attività particolare da un punto di vista dietetico, in quanto in essa prevale significativamente, rispetto all’attività normale, il lavoro muscolare associato ad un altrettanto rilevante impegno psicologico.

La pratica sia pure regolare di una qualunque attività fisica e/o sportiva, che si limiti a 2-3 sedute settimanali per un totale inferiore alle 4-5 ore settimanali, non necessita, in generale, di particolari accorgimenti dietetici in quanto questo livello di attività, che possiamo definire moderata, nella maggioranza dei casi compensa, spesso non del tutto, la protratta sedentarietà della maggior parte della popolazione.

L’alimentazione rappresenta il “carburante” del nostro organismo che permette, attraverso processi chimici, di sostenere le normali azioni quotidiane e le funzioni vitali. Inoltre le abitudini alimentari sono in grado di influenzare in maniera significativa la capacità individuale di realizzare una determinata prestazione fisica.

La dieta fornisce, attraverso gli alimenti, le molecole utili per svolgere le funzioni fisiologiche, promuove un incremento della massa muscolare, ottimizza il lavoro fisico, e reintegra, infine, le perdite dovute allo stress fisico e mentale dell’atleta, senza la necessità di ricorrere all’uso indiscriminato degli integratori, tanto più se non supportato, come nella maggior parte dei casi, da una corretta validazione scientifica.

Non esistono alimenti magici o diete particolari che possano migliorare la prestazione atletica: solo una sana e adeguata alimentazione contribuisce a rendere l’organismo efficiente e in grado di affrontare gli impegni di allenamento e di gara.

La ratione alimentare giornaliera deve tenere conto delle maggiori necessità connesse alla pratica sportiva, sia in termini di energia sia per quanto riguarda i nutrienti non energetici, e deve far fronte alle molteplici esigenze nutrizionali dell’atleta al fine di promuovere e conservare un elevato livello di benessere psicofisico, indispensabile per affrontare i programmi di allenamento e gli eventi competitivi di qualsiasi disciplina sportiva.

In generale, è opportuno adottare una «dieta prudente», basata sui principi del “modello mediterraneo”, in grado di fornire comunque una ottimale protezione verso le malattie croniche non trasmissibili (di natura dismetabolica e/o degenerativa) anche negli anni seguenti all’interruzione dell’attività sportiva e/o competitiva.

Più specificamente, secondo il documento elaborato congiuntamente nel 2016 da Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada e American College of Sports Medicine (Thomas et al., 2016), “*le prestazioni e il recupero dalle attività sportive sono potenziati da strategie nutrizionali che tengano conto del tipo, della quantità e dei tempi appropriati di assunzione di cibo, liquidi ed eventualmente integratori per promuovere non solo la salute, ma anche prestazioni ottimali sia durante l’allenamento che*

durante le gare. Queste scelte nutrizionali vengono adattate ai singoli atleti per garantire loro uno stato di salute ottimale e per soddisfarne i fabbisogni nutrizionali, gli obiettivi di prestazione e le caratteristiche fisiche (ad es. dimensioni corporee, forma, crescita e composizione)”.

Per meglio definire le caratteristiche della proposta nutrizionale per la pratica sportiva, è opportuno richiamare alcuni punti fondamentali estrapolati dal documento sopracitato:

1. *Gli obiettivi e le richieste nutrizionali cambiano nel tempo, variando in base al programma degli allenamenti, in cui la preparazione per le gare si ottiene integrando diverse tipologie di allenamenti nell’ambito di un calendario opportunamente programmato. In questa situazione, anche il supporto nutrizionale deve essere realizzato tenendo conto delle esigenze delle sessioni giornaliere di allenamento (che possono comportare apporti energetici minori nel caso di allenamenti “leggieri” o più elevati nel caso di sessioni ad alta intensità o prolungate) e degli specifici obiettivi nutrizionali programmati (come ad es. la perdita di massa grassa o l’aumento di quella muscolare).*
2. *Le proposte nutrizionali devono essere personalizzate alle esigenze e caratteristiche dei singoli atleti tenendo conto della specificità e unicità dei vari eventi, degli obiettivi di rendimento e di allenamento e delle preferenze alimentari individuali.*
3. *Un obiettivo chiave dell’allenamento è quello di adattare l’organismo allo sviluppo dell’efficienza metabolica e della flessibilità, mentre le strategie nutrizionali per le competizioni devono fare in modo di garantire adeguate riserve dei substrati energetici necessari per soddisfare le richieste di energia durante l’evento e sostenere anche la funzione cognitiva.*
4. *La disponibilità energetica, o meglio ancora l’assunzione di energia, deve essere in relazione al dispendio energetico dell’esercizio: ciò è di fondamentale importanza per la salute dell’atleta e il successo delle strategie nutrizionali nello sport.*
5. *Le linee di indirizzo per la nutrizione sportiva dovrebbero considerare l’importanza dei tempi di assunzione dei nutrienti e il supporto nutrizionale nel corso della giornata anche in relazione allo sport piuttosto che a obiettivi quotidiani generali.*
6. *Un sufficiente apporto di liquidi prima, durante e dopo l’esercizio fisico è fondamentale per promuovere lo stato di salute e migliorare le capacità atletiche. La disidratazione, causata dalla sudorazione profusa, può aumentare la percezione soggettiva della fatica e influire negativamente sulla prestazione atletica. È consigliabile, pertanto, assumere abbondanti quantità di acqua e/o bevande contenenti carboidrati, anche senza deglutirle, in quanto anche utilizzandole semplicemente per “risciacquare” la bocca (mouth rinse) produce miglioramenti della capacità di prestazione (Jeukendrup et al., 2013).*

Al termine di questa introduzione è opportuno ribadire che le raccomandazioni formulate nei paragrafi successivi nascono dalla considerazione generale che specifici accorgimenti dietetici sono necessari solo nel caso in cui la pratica sportiva sia sufficientemente impegnativa e regolare, come per gli atleti che si allenano più di 2-3 ore al giorno, 5-7 giorni a settimana e per almeno 9-11 mesi all’anno. Se, invece, l’attività fisica e/o sportiva viene praticata, sia pure regolarmente, solo 2-3 volte a settimana, e meno di 4-6 ore settimanali, essa non necessita, in generale, di particolari accorgimenti dietetici: in tal caso sarà sufficiente seguire le indicazioni alimentari suggerite per la popolazione generale moderatamente attiva.

**Tabella 1** Parametri fondamentali per la prescrizione dell'esercizio fisico:  
principio FITT (Frequenza, Intensità, Tempo, Tipo di esercizio)

<b>Frequenza</b>	Numero dei giorni a settimana durante i quali si pratica esercizio fisico.
<b>Intensità</b> <b>(livello di difficoltà dell'esercizio praticato, vedi anche Tabella 2)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Lieve = da 1,6 a 2,9 METs, &lt; 40% della FCmax, &lt; 40-60% del VO<sub>2</sub>Max;</li> <li>■ Moderata = da 3,0 a 5,9 METs, 40-60 % della FCmax teorica, 40-60% del VO<sub>2</sub>max;</li> <li>■ Vigorosa = &gt; 6 METs, &gt; 60% della FCmax teorica, &gt; 60% del VO<sub>2</sub>max.</li> </ul>
<b>Tempo</b>	Durata delle singole sedute di allenamento.
<b>Tipo (forma di esercizio praticato)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Aerobico = coinvolgimento di grandi gruppi muscolari per migliorare la capacità aerobica (VO<sub>2</sub> e funzione cardiorespiratoria);</li> <li>■ Rafforzamento muscolare = incremento progressivo dei carichi per migliorare forza e potenza muscolare e per stimolare l'ipertrofia muscolare;</li> <li>■ Estensibilità e Flessibilità = per migliorare il Range di Mobilità Articolare (Range of Motion, ROM), la funzionalità motoria e la prestazione muscolare.</li> </ul>

FCmax: frequenza cardiaca massima

VO<sub>2</sub>max: massimo consumo di ossigeno

**Tabella 2** Intensità assoluta e relativa di diversi tipi di attività fisica

Intensità assoluta (quantità di energia spesa per minuto di attività, calcolata in base al consumo di ossigeno per unità di tempo (mL/min o L/min) o dall'equivalente metabolico (MET), che è stimato come la quantità di energia spesa stando seduti in condizione di riposo (3,5 ml O <sub>2</sub> /kg peso corporeo per minuto))			Intensità relativa (misurata con diversi criteri)		
Intensità	METs	Esempi	%FCmax	RPE (punteggio Scala di Borg)	Talk Test
Leggera	1,6-2,9	Camminare < 4,7 km/h, lavori domestici leggeri	50-63	10-11	Si riesce a cantare.
Moderata	3,0-5,9	Camminare velocemente (4,8-6,5 km/h), pedalare lentamente (<15 km/h), tennis (doppio), giocare a golf, ballare, fare giardinaggio leggero, pulire con l'aspirapolvere, dipingere	64-76	12-13	Respiro veloce che permette ancora di completare le frasi ed è compatibile con una conversazione a voce pacata. Non si riesce a cantare.
Vigorosa	≥ 6	Camminare a passo sostenuto, fare jogging o correre, pedalare (>15 km/h), tennis (singolo), fare giardinaggio impegnativo (scavare e piantare a lungo)	77-93	14-16	Respiro molto veloce, si riesce a pronunciare solo poche parole, incompatibile con una conversazione confortevole.

MET (*Metabolic Equivalent of Task*, equivalente metabolico del lavoro): stima del rapporto tra la spesa energetica per una data attività e la spesa a riposo restando in posizione seduta (1 MET = 3,5 ml O<sub>2</sub>/kg peso corporeo per minuto);

RPE (*Rate of Perceived Exertion*, percezione soggettiva dello sforzo): misurato mediante la Scala di Borg a 20 punti);

%FCmax: percentuale della frequenza cardiaca massima teorica, definita dalla formula: 220 - età (anni).

Tradotta e modificata da Piepoli et al (2016).

## Bibliografia

- Brunetti G. Allenare l'atleta. Roma: Edizioni Scuola dello Sport, 2010.
- Donati A. Lezione "Il modello dell'allenamento", 21° Corso Nazionale CONI. Tecnici di 4° livello europeo. 22 marzo 2021.
- Jeukendrup AE, Rollo I and Carter JM. Carbohydrate mouth rinse: performance effects and mechanisms. SSE 2013; 26: 1-8.
- McKinney J, Velghe J, Fee J, Isserow S and Drezner JA. Defining athletes and exercisers. Am J Cardiol 2019; 123: 532–535.
- Piepoli MF, Hoes AW, Agewall S, Albus C, Brotons C, Catapano AL, Cooney MT, Corrà U, Cosyns B, Deaton C, Graham I, Hall MS, Hobbs FDR, Løchen ML, Löllgen H, Marques-Vidal P, Perk J, Prescott E, Redon J, Richter DJ, Sattar N, Smulders Y, Tiberi M, van der Worp HB, van Dis I, Verschuren WMM, Binno S; ESC Scientific Document Group. 2016 European Guide-lines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: The Sixth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice (constituted by representatives of 10 societies and by invited experts) Developed with the special contribution of the European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation (EACPR). Eur Heart J 2016; 37: 2315-2381.
- Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. Nutrition and Athletic Performance. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine. Med Sci Sport Exer 2016; 48: 543-568.
- WHO, World Health Organization. Global action plan on physical activity 2018-2030: more active people for a healthier world. Geneva: WHO, 2018.



# Acqua

## ATTIVITÀ FISICA E BILANCIO IDRICO

Un'adeguata idratazione promuove uno stato di salute ottimale e migliora le prestazioni fisico-atletiche (*Thomas et al., 2016*). Per mantenere il bilancio idrico, oltre al riequilibrio delle perdite di acqua che si hanno ogni giorno attraverso la respirazione, la traspirazione cutanea e l'emissione di urine e feci, gli atleti devono prevedere una quota aggiuntiva di acqua per compensare la maggiore sudorazione funzionale alla termoregolazione durante l'esercizio fisico.

In condizioni di riposo e a temperatura ambiente, l'irraggiamento (emissione di raggi infrarossi) è il meccanismo principale (pari a circa il 60%) tramite il quale si elimina l'eccesso di calore corporeo, mentre solo il 20% della termodispersione avviene per evaporazione del sudore prodotto. I processi restanti sono rappresentati dalla conduzione e dalla convezione. Durante l'esercizio fisico, invece, la produzione del sudore e la conseguente evaporazione contribuiscono per più dell'80% alla dissipazione del calore corporeo, generato in maggior quantità rispetto alla condizione di riposo a causa del lavoro muscolare, particolarmente se eseguito in condizioni ambientali sfavorevoli (caldo/freddo umido).

Attraverso una cascata di eventi, il calore metabolico prodotto dalla contrazione muscolare durante l'esercizio può generare una condizione di ipovolemia (diminuzione del volume di plasma/sangue) e portare a un eventuale calo pressorio, all'incremento dell'uso di glicogeno come fonte energetica, ad alterazioni dell'attività metabolica e delle funzioni del sistema nervoso centrale, oltre che a un innalzamento della temperatura corporea.

Per mantenere l'omeostasi, la condizione fisica ottimale, le prestazioni atletiche e la percezione del benessere, gli atleti devono intraprendere strategie di assunzione di liquidi prima, durante e dopo l'esercizio fisico al fine di mantenere un'idratazione adeguata, tenendo presente che, oltre all'acqua, il sudore contiene quantità sostanziali ma variabili di sodio e minime quantità di potassio, calcio e magnesio (*American College of Sports Medicine, 2007a*).

A seconda delle caratteristiche dell'atleta, del tipo di lavoro e dell'ambiente in cui si svolge, variano le modalità attraverso le quali questo obiettivo può essere conseguito.

### Valutazione del bilancio idrico

Nell'ipotesi di un atleta in equilibrio energetico, lo stato giornaliero di idratazione può essere valutato in modo approssimativo tracciando le variazioni di peso corporeo (p.c., misurato al risveglio mattutino e dopo aver urinato ed eventualmente evacuato) in quanto i cambiamenti del peso a breve termine riflettono in genere l'aumento/perdita di acqua corporea. Anche il peso specifico delle urine e la loro osmolalità possono essere utilizzati per stimare lo stato di idratazione: se si valuta il primo campione di urina del mattino, un peso specifico inferiore o eguale a 1020 g/L è generalmente indicativo di idratazione adeguata, anche se viene considerato comunque accettabile un valore che non superi 1025 g/L (*Kenefick e Cheuvront, 2012*). Per quanto riguarda l'osmolalità urinaria, valori inferiori a 700 mOsmol/kg corrispondono ad uno stato di buona idratazione mentre il superamento delle 900 mOsmol/kg riflette una condizione di ipoidratazione (*American College of Sports Medicine, 2007a; Kenefick e Cheuvront, 2012*).

## Disidratazione e ipoidratazione

La disidratazione si riferisce al processo di perdita di acqua corporea che conduce all'ipoidratazione: questi termini sono utilizzati spesso come sinonimi, ma in realtà il primo si riferisce al processo e il secondo al risultato della disidratazione. Anche se la risposta dell'organismo alla condizione di disidratazione è complessa e soggetta ad ampia varianza individuale, è stato stimato che un deficit di liquidi tale da comportare un calo del p.c. maggiore del 2% può compromettere le prestazioni e la stessa funzione cognitiva durante l'esercizio aerobico, in particolare nella stagione calda (*American College of Sports Medicine, 2007a; Shirreffs e Sawka, 2011; Goulet, 2012; Jeukendrup et al., 2015*). Sebbene sia possibile essere ipoidratato ma non ipertermico (condizione in cui la temperatura corporea interna supera i 40°C), in alcune situazioni l'aumentata produzione di calore associata all'ipoidratazione può generare una condizione patologica la cui espressione più severa e potenzialmente letale è il "colpo di calore".

In ambienti freddi, viceversa, la riduzione della capacità di prestazione, in caso di attività anaerobiche o ad alta intensità, così come del rendimento e delle abilità tecniche specifiche di ogni disciplina in corso di esercizio aerobico si verificano più comunemente quando la perdita di peso associata alla disidratazione raggiunge il 3-5% (*American College of Sports Medicine, 2007a; Shirreffs e Sawka, 2011*). Un'ancor più accentuata ipoidratazione, con perdita di acqua pari al 6-10% del p.c., ha effetti ancor più rilevanti in termini di tolleranza all'esercizio, con diminuzione della gittata cardiaca nonché della produzione di sudore e del flusso ematico a livello cutaneo e muscolare (*American College of Sports Medicine, 2007b*).

## FABBISOGNO E STRATEGIE DI ASSUNZIONE DEI LIQUIDI

Esistono principalmente due scuole di pensiero riguardo la migliore strategia di assunzione di liquidi in caso di esercizio fisico: la prima prevede di programmare dei momenti dedicati con quantità definite da assumere prima, durante e dopo lo sforzo, mentre la seconda suggerisce di bere nel momento in cui si avverte la sete e ad libitum (*Kenefick, 2018*). Il dibattito è ancora aperto e vede confrontarsi da una parte le posizioni ufficiali dell'American College of Sports Medicine (*American College of Sports Medicine, 2007a; Thomas et al., 2016*) e dall'altra le dichiarazioni di consenso scaturite dalla Terza Conferenza Internazionale sull'Iponatriemia associata all'esercizio fisico (*Hew-Butler et al., 2015*). Queste posizioni relativamente divergenti hanno dato luogo a raccomandazioni per l'assunzione di liquidi che possono sembrare financo in contrasto tra loro sebbene entrambe le strategie abbiano l'obiettivo di prevenire l'ipo/iperidratazione e di garantire prestazioni ottimali. In ogni caso, il successo di entrambe le strategie dipende dalle caratteristiche dell'atleta (età, forma fisica, condizione atletica, tasso di sudorazione, grado di acclimatazione, livello di impegno fisico e prestativo), dagli obiettivi dell'allenamento/competizione, dal contesto dell'evento (tipo, durata, intensità del lavoro) e dall'ambiente in cui esso si svolge (temperatura, umidità, esterno/interno, altitudine).

In alcune situazioni l'assunzione di liquidi *ad libitum* ogni qual volta si percepisce sete può essere sufficiente per soddisfare il fabbisogno di acqua ovvero per mantenere il bilancio idrico entro valori pari a ± 2% del p.c.. Per gli sportivi meno interessati alle prestazioni o impegnati in attività a bassa intensità, in particolare se in condizioni climatiche più favorevoli, un piano di idratazione potrebbe non essere così importante perché le perdite di liquidi non si avvicinano al 2% di peso: queste situazioni includono attività o competizioni con durata di 1-2 ore, di bassa intensità e che si svolgono in un clima fre-

sco o temperato. In circostanze maggiormente impegnative invece si ritiene necessario bere in modo programmato per mantenere una corretta idratazione, adottando piani di idratazione personalizzati funzionali ad evitare danni alla termoregolazione e all'apparato cardiovascolare e a contrastare il calo delle prestazioni: queste situazioni includono attività o competizioni di durata più lunga, di maggiore intensità o che si svolgono in ambienti caldi o caldo-umidi, per le quali può essere d'aiuto anche un recupero glucos-energetico nel corso dell'evento (ad esempio, 1 g di carboidrati/minuto). La strategia di consumo programmato dovrebbe essere adattata alle diverse situazioni onde evitare perdite o aumenti di p.c. durante lo svolgimento di queste attività (Périard *et al.*, 2021).

## Frequenza, tipo e volume dell'apporto idrico

La frequenza, il tipo e il volume di liquidi da assumere dipendono da molteplici fattori. La strategia ottimale deve essere modulata soggetto per soggetto in rapporto alle diverse situazioni, sulla base delle caratteristiche dell'atleta e del tipo di sforzo che è chiamato/a a compiere (Thomas *et al.*, 2016).

È opportuno innanzitutto avere come riferimento l'AI (*adequate intake*, assunzione adeguata) per l'acqua prevista per la popolazione italiana sana (SINU, 2024). La quota aggiuntiva di liquidi da assumere per mantenere il bilancio idrico si dovrà distribuire prima, durante e dopo l'esercizio. Le principali indicazioni per gli adulti che svolgono esercizio fisico sono riassunte nella **Tabella 1** (Thomas *et al.*, 2016).

Atleti più giovani e i loro genitori sono spesso incerti circa il tipo più appropriato e le quantità corrette di acqua e bevande necessarie per mantenere un buono stato di idratazione prima, durante e dopo l'attività fisica (Bergeron, 2015). Una guida pratica con strategie utili per bambini e adolescenti è riportata in **Tabella 2** (American Academy of Pediatrics, 2020).

## Strategie di idratazione prima dell'allenamento/competizione

Non è raro che un atleta inizi le sessioni di allenamento in uno stato di ipoidratazione, la qual cosa può influenzare negativamente le prestazioni atletiche (Shirreffs e Sawka, 2011; Garth e Burke, 2013). Ciò si verifica spesso nelle discipline con categorie di peso, nelle quali gli atleti utilizzano la disidratazione per rientrare in una categoria di peso inferiore: questa pratica può provocare un significativo deficit di liquidi, molto difficile da ripristinare tra la 'pesata' e l'inizio della competizione. Allo stesso modo, gli atleti possono essere ipodratati all'inizio dell'esercizio fisico in caso di recenti e prolungate sessioni di allenamento svolte in ambiente caldo o caldo/umido oppure in occasione di tornei/competizioni che prevedono più eventi/gare/partite nello stesso giorno (American College of Sports Medicine, 2007a; Shirreffs e Sawka, 2011; Goulet, 2012; Garth e Burke, 2013).

Gli atleti possono raggiungere uno stato di idratazione adeguata prima dell'allenamento/eventi competitivi bevendo un volume di liquidi equivalente a 5-10 mL/kg di p.c. nelle 2-4 ore precedenti l'inizio della sessione per consentire di eliminare gli eventuali liquidi in eccesso tramite la produzione di urina che dovrà risultare di colore giallo pallido (American College of Sports Medicine, 2007a; Goulet, 2012). Si consiglia di bere regolarmente a piccoli sorsi, iniziando, quando l'orario lo consenta, almeno 4 ore prima dell'inizio della sessione di allenamento o della competizione. La quantità di acqua da assumere inizialmente sarà pari a 5-7 mL/kg di p.c.: se questa quantità non conduce alla produzione di una quantità sufficiente di urina o se l'urina risulta scura e particolarmente concentrata, si dovranno aggiungere altri 3-5 mL/kg di p.c. da bere sempre lentamente circa 2 ore prima dell'inizio dell'allenamento o della gara.

La pratica, a volte utilizzata in passato, di usare soluzioni isoosmotiche con funzione di plasma expander per iper-idratarsi in occasione di eventi competitivi svolti in condizioni ambientali sfavorevoli è attualmente vietata dall'Agenzia mondiale antidoping (*World Anti Doping Agency -WADA*).

Tutti gli atleti dovrebbero essere completamente idratati prima di iniziare qualsiasi sessione di allenamento e idealmente mantenere l'idratazione ottimale durante tutto il giorno (*Bergeron, 2015; American Academy of Pediatrics, 2020*). Tuttavia, questo può risultare complicato nei casi in cui gli allenamenti si susseguano in più giorni consecutivi, soprattutto se svolti in ambienti caldi, o quando più sessioni/eventi si verificano nella stessa giornata (“doppio allenamento” nel periodo di preparazione, come avviene in autunno negli sport di squadra oppure durante i tornei). In queste situazioni, si può andare più facilmente incontro a carenza idrica tra una sessione e la successiva o tra una gara e l'altra.

Quando lo stato di idratazione pre-esercizio è ottimale, diminuisce il rischio di disidratazione e di eventi traumatici muscolari durante gli allenamenti/eventi competitivi e si recupera più velocemente la migliore condizione fisica.

## Strategie di idratazione durante le sessioni di allenamento/ competizione

La quantità di sudore prodotto è uno dei principali determinanti del fabbisogno idrico durante l'esercizio: questa quantità nello sportivo adulto varia solitamente da 0,3 a 2,4 L/h in base all'intensità e alla durata del lavoro, al livello di preparazione fisico-atletica, al grado di acclimatazione, all'altitudine e ad altre condizioni ambientali (temperatura, umidità, ecc.) (*American College of Sports Medicine, 2007a; Kenefick e Cheuvront, 2012; Mountjoy et al., 2012; Koehle et al., 2014*).

Perdite di sudore dell'ordine di 300-700 mL/h sono state, invece, osservate in atleti di 9-12 anni che si allenano/competono in condizioni ambientali sfavorevoli (alta temperatura, elevata umidità): tuttavia, si possono raggiungere anche perdite di 2,5 L/h nel caso di attività estremamente faticose sempre in ambienti caldi/calido umidi (*Bergeron, 2015*). Gli adolescenti e gli atleti giovani di sesso maschile in genere tendono ad avere un tasso di sudorazione maggiore rispetto ai bambini più piccoli e alle atlete di pari età. In giovane età, la sensazione di sete spesso viene percepita solo quando la disidratazione raggiunge il 3-5% del p.c., ma la capacità aerobica, l'equilibrio e la prestazione mentale e cognitiva calano già con il 2% di disidratazione (*American Academy of Pediatrics, 2020*). Anche per questo, gli atleti dovrebbero bere a sufficienza durante l'attività fisica per far sì che il deficit di liquidi causato dalla sudorazione non superi il 2% del p.c. iniziale.

In effetti, la disponibilità di acqua e di bevande e la possibilità di consumarli nel corso dello svolgimento dell'attività dipendono da molteplici fattori che possono complicare il raggiungimento di questo obiettivo. Peraltro, in alcuni casi, soprattutto nelle competizioni che vedono affrontarsi atleti di alto livello, la velocità con cui vengono persi i liquidi con il sudore può risultare decisamente superiore alle possibilità di recuperare in corso (*Garth e Burke, 2013*).

Alcuni atleti lamentano nausea o altri disturbi gastrici quando provano a bere la quantità raccomandata di liquidi (*American Academy of Pediatrics, 2020*). Questo potrebbe dipendere, ad esempio, dalla ridotta capacità di svuotamento gastrico che si riscontra in quegli sport, soprattutto di squadra, che richiedono scatti o corsa intermittente ad alta intensità. In questi casi, la riduzione è dell'ordine del 50-70% rispetto alle attività di intensità più bassa per le quali gli atleti tollerano meglio le quantità raccomandate di acqua.

Al riguardo, è opportuno tener conto di alcune specifiche raccomandazioni: I) le bevande fredde o a temperatura ambiente lasciano lo stomaco più velocemente rispetto a quelle molto fredde e pertanto potrebbero essere maggiormente tollerate; II) è meglio bere con sorsi più piccoli e frequenti piuttosto che sorsi meno frequenti e di volume maggiore; III) potrebbe essere necessario testare la propria tolleranza individuale sperimentando differenti tipologie e combinazioni di bevande e di cibi per trovare quella che funziona meglio per sé (*Jeukendrup, 2017*).

Per stimare le perdite di sudore durante l'esercizio fisico e personalizzare i piani di idratazione, gli atleti dovrebbero controllare regolarmente la variazione di peso tra pre e post-allenamento, facendo attenzione anche al volume urinario e alla quantità di acqua/bevande consumate in occasione della misurazione (*American College of Sports Medicine, 2007a*). In assenza di altri fattori che possono causare perdita di peso (ad esempio, eventi molto prolungati), una riduzione di 1 kg di peso corrisponde all'incirca a 1 litro di acqua eliminata con il sudore: per questo, nella maggior parte dei casi, un apporto di 0,4-0,8 L/ora potrebbe andar bene, sebbene sia comunque preferibile personalizzare la quantità di acqua da assumere in base all'esperienza del singolo atleta nelle diverse situazioni. Nel caso di eventi svolti in condizioni climatiche che abbinano alte temperature ed elevata umidità, potrebbe essere utile sorreggiare bevande refrigerate per ridurre la temperatura corporea interna e quindi migliorare le prestazioni. La presenza di un aroma nella bevanda può migliorarne l'appetibilità e quindi aumentare l'assunzione volontaria di liquidi.

### **Iponatriemia associata all'esercizio fisico**

Sebbene la quasi totalità degli atleti sperimenti talvolta una condizione di disidratazione nel corso di uno sforzo fisico, negli ultimi 20 anni è aumentata sempre di più la consapevolezza che alcuni sportivi rischiano la cosiddetta "intossicazione da acqua", una condizione di iperidratazione meglio definita come "Iponatriemia associata all'esercizio fisico (*Exercise Associated Hyponatremia, EAH*)" (*Hew-Butler et al., 2015*). L'EAH dipende dall'ingestione di quantità eccessive di acqua o di altre bevande ipotoniche (*Jeukendrup et al., 2015*) sia durante lo sforzo fisico sia nelle ore e nei giorni che precedono l'evento. Casi di iperidratazione hanno riguardato, in genere, sportivi amatoriali con volumi di allenamento e tassi di sudorazione inferiori rispetto agli atleti agonisti, che avevano anche maggiori opportunità di bere, oltre a credere di averne maggiormente necessità.

Le donne, che hanno in genere dimensioni corporee più piccole e sudano meno rispetto agli uomini, sembrano essere a maggior rischio di iperidratazione e quindi di possibile iponatriemia (*American College of Sports Medicine, 2007a*).

È interessante evidenziare che, negli ultimi anni, la ricerca scientifica in genere, e in particolare quella relativa alla nutrizione nello sportivo, ha dedicato sempre più studi (*Devries e Jakobi, 2021; Kelly et al., 2023*) alle differenti necessità genere-specifiche delle atlete, in precedenza meno coinvolte e sottorappresentate rispetto ai colleghi uomini (*Hutchins et al., 2021*). Per quanto riguarda l'idratazione, fino a oggi non sono emerse tuttavia particolari indicazioni, al di là di quelle legate alle caratteristiche individuali (superficie corporea, tasso di sudorazione).

Sebbene l'iponatriemia sia per lo più asintomatica, conseguenze cliniche anche gravi possono verificarsi durante l'esercizio fisico se i livelli plasmatici di sodio scendono al di sotto di 130 mmol/L e includono gonfiore addominale, ritenzione idrica, aumento di peso, nausea, vomito, mal di testa, confusione, delirio, convulsioni, difficoltà respiratorie, perdita di coscienza e, in assenza di adeguato trattamento, perfino il coma e la morte.

Di fatto, sebbene la prevalenza di ipoidratazione con ipernatremia sia maggiore rispetto ai casi di iperidratazione e iponatriemia, queste ultime condizioni sono clinicamente più pericolose e richiedono pronta assistenza medica (*American College of Sports Medicine, 2007a; Kenefick e Cheuvront, 2012; Hew-Butler et al., 2015*).

Sono riportati in letteratura circa 250 casi rilevanti e in alcuni casi letali d'intossicazione da fluidi, generalmente per assunzioni di quantità tra i 10 e i 20 litri in periodi di tempo relativamente brevi (meno di 10 ore) (*Hew-Butler et al., 2015*): questi eventi si sono verificati soprattutto, se non esclusivamente, nel caso di atleti poco/male allenati o inesperti, impegnati in eventi di durata superiore a quattro ore. A più alto rischio di EAH sono le persone affette da fibrosi cistica, anoressia, bulimia o malattie renali (*Hew-Butler et al., 2015; El Ghoch et al., 2016*).

La necessità di aggiungere sodio nelle bevande da consumare durante l'attività fisica è un argomento molto discusso negli ultimi anni (*Shirreffs e Sawka, 2011; Kenefick e Cheuvront, 2012; Jeukendrup et al., 2015; McCubbin, 2023*): la presenza di sodio nelle bevande stimola gli osmocettori e favorisce un aumento dell'apporto idrico, ma va detto che, a differenza della comune percezione, la quantità in genere presente nelle bevande per lo sport (10-20 mmol/L = 230-460 mg/L) non è tale da coprirne le perdite in modo significativo.

Sebbene sia fortemente variabile, la concentrazione media di sodio nel sudore di un atleta adulto è approssimativamente pari a 50 mmol/L (~1 g/L) e negli adolescenti varia tra 40 e 70 mmol/L (pari a 0,9-1,6 g/L): dunque il sudore è ipotonico rispetto al plasma (*American Academy of Pediatrics, 2020*). La variabilità individuale dipende da fattori genetici, dal grado di acclimatazione, dal livello di allenamento (più si è allenati, minore sarà il quantitativo di sodio nel sudore) e dal tasso di sudorazione (più è alto, maggiore sarà la concentrazione di sodio). Nella maggior parte dei casi, le perdite di sodio che si verificano in una singola sessione di allenamento sono semplicemente ripristinate con l'alimentazione abituale.

Si consiglia di aggiungere sodio alle bevande soltanto agli atleti adulti con elevato tasso di sudorazione (superiore a 1,2/1,8 L/h) in occasione di sessioni di esercizio (allenamenti o competizioni) che si prolunghino oltre le 4 ore e nel caso in cui la quantità di acqua ingerita durante l'attività superi il 70% delle perdite (*McCubbin, 2023*).

Per quanto riguarda gli adolescenti, può essere utile laggiunta di sodio esclusivamente in occasione di attività particolarmente faticose, svolte in ambienti caldo-umidi, che comportano perdite dai 2 ai 5 g di sodio all'ora fino a 20 grammi al giorno, come può avvenire nel caso di allenamenti multipli o prolungati oppure di competizioni che durano più giorni (*Bergeron, 2015*).

Gli atleti che perdono molto sodio nel sudore spesso notano, al termine dell'attività, la formazione di una patina di sale bianco sulla pelle o sull'abbigliamento indossato durante gli allenamenti (“maglioni di sale”). Questi atleti sembrano essere più inclini alla comparsa di crampi muscolari a causa dell'ipereccitabilità delle giunzioni neuromuscolari causata dalla perdita di liquidi.

La sensazione di sete spesso si percepisce al modificarsi dell'osmolarità plasmatica e, in genere, è un buon segno della necessità di bere ma non dello stato di ipoidratazione negli atleti (*Goulet, 2012*). Gli atleti più anziani potrebbero sentire meno la sete perché la percezione diminuisce con l'avanzare dell'età: di conseguenza essi necessitano di maggior incoraggiamento a bere durante e dopo l'esercizio fisico (*American College of Sports Medicine, 2007a*).

I crampi muscolari che si verificano in corso di esercizio sono per lo più causati dalla fatica, ma gli atleti di tutte le discipline li avvertono con maggior frequenza in condizioni ambientali particolarmente sfavorevoli: è il caso dei cosiddetti “crampi da calore”, spes-

so associati a situazioni di ipoidratazione e squilibrio idroelettrolitico (*Bergeron, 2007; Maughan e Shirreffs, 2019*). Gli atleti che sudano copiosamente, soprattutto nel caso di sudore particolarmente ricco di sodio, rischiano maggiormente di andare incontro alla comparsa dei crampi, soprattutto quando non acclimatati in ambienti caldo-umidi.

## Recupero di acqua dopo l'allenamento/competizione

Un corretto stato di idratazione permette un recupero molto più rapido, in particolare dopo sforzi intensi (*Thomas et al., 2016*). La maggior parte degli atleti termina gli allenamenti con un deficit di acqua e quindi potrebbe essere necessario ripristinare uno stato di ottimale idratazione durante la fase di recupero (*American College of Sports Medicine, 2007a; Garth e Burke, 2013*). Le strategie di reidratazione dovrebbero comprendere il consumo di acqua e prevedere l'ingestione di piccole quantità di sodio onde ridurre le perdite urinarie (*Shirreffs e Sawka, 2011*): infatti la presenza di cloruro di sodio negli alimenti o nelle bevande nel post-allenamento aiuta a trattenere i liquidi ingeriti. Pertanto, si dovrebbe consigliare agli atleti di non ridurre eccessivamente l'apporto di sodio tramite l'alimentazione almeno limitatamente al periodo post esercizio, in particolare se si sono verificate importanti perdite di questo elettrolita (*Baker e Jeukendrup, 2014; Thomas et al., 2016*).

Poiché le perdite di liquidi tramite la sudorazione e la produzione di urina continuano durante la fase post esercizio, un'efficace reidratazione richiede l'assunzione di un maggior volume di liquidi rispetto a quanto perso nel corso dell'attività.

Considerata l'ampia variabilità individuale, le raccomandazioni sull'idratazione post-allenamento dovrebbero partire dal consiglio di una valutazione personale della perdita di liquidi che avviene durante una sessione di allenamento. Sulla base di questa valutazione si possono poi seguire le raccomandazioni riassunte in **Tabella 1** per gli atleti adulti e in **Tabella 2** per bambini e adolescenti.

Gli adulti dovrebbero reidratarsi con una quantità di acqua pari a circa il 125-150% dei liquidi persi (es. 1,25-1,5 L per ogni kg di peso perso durante l'attività), da sorseggiare nelle ore successive all'impegno fisico a partire dal termine della sessione fino a quella successiva (*Thomas et al., 2016*). Queste quantità sono probabilmente adeguate anche per gli adolescenti, mentre i più giovani potrebbero avere difficoltà ad assumere quantità così elevate di acqua, ma è possibile raggiungerle con un aumento graduale. Per semplificare, si può dire che per i più giovani è sufficiente assumere una quantità di acqua pari alla perdita di peso. Per i ragazzi più grandi si può aumentare gradualmente questa quantità fino a raggiungere una quota pari ad una volta e mezzo la perdita di peso, così come consigliato per gli atleti adulti (*Bergeron, 2015; American Academy of Pediatrics, 2020*).

L'uso di bevande alcoliche durante il recupero post-esercizio va assolutamente scoraggiato (anche per i noti effetti diuretici dell'alcol). Per quanto concerne le bevande contenenti caffeina, le avvertenze che in passato ne hanno sconsigliato l'uso per lo stesso motivo sono state recentemente riviste, soprattutto quando il consumo di bevande a basso-moderato contenuto di caffeina (inferiore a 180 mg) è abituale e non controindicato (*American College of Sports Medicine, 2007a; Grgic et al., 2020*).

Gli atleti giovani spesso non conoscono la differenza tra *energy drink* e *sport drink* per cui si ritiene necessario fare una distinzione. I primi vengono proposti per il miglioramento delle prestazioni, i secondi per la semplice reidratazione. Anche se non esiste una definizione ufficiale per il termine di *energy drink*, in genere si tratta di bevande aromatizzate con elevata quantità di caffeina, guaranà o altre sostanze nervine/stimolanti.

Il più delle volte, le campagne pubblicitarie di questi prodotti sono aggressive, si rivolgono anche a bambini e adolescenti e molte aziende utilizzano atleti famosi come testimonial. Gli *energy drink* non devono essere presenti nell'alimentazione di bambini e adolescenti (Schneider et al., 2011): le informazioni disponibili riguardo la sicurezza di questi prodotti per gli adolescenti (12-18 anni) sono infatti limitate. A maggior ragione gli *energy drink* non sono indicati per i bambini (2-12 anni) e neppure per le donne in gravidanza o che allattano, per quelle in attesa di gravidanza e per tutti coloro che sono sensibili alla caffeina (Jagim et al., 2023).

## Accorgimenti specifici per condizioni ambientali estreme

Allorché l'esercizio fisico viene svolto in condizioni climatiche o ambientali estreme (caldo, freddo, umido o ad alta quota) è necessario porre in atto alcuni accorgimenti specifici (American College of Sports Medicine, 2007b; Meyer et al., 2011; Cheuvront et al., 2013; Burke et al., 2019).

### **Allenamenti/competizioni in ambiente molto caldo**

Quando la temperatura ambientale supera la temperatura corporea il calore non può più essere dissipato tramite irraggiamento; inoltre, quando l'umidità relativa è elevata si riduce anche la capacità di disperdere il calore tramite l'evaporazione del sudore (Cheuvront et al., 2013; Jeukendrup et al., 2015; Trangmar e González-Alonso, 2019; Kenney et al., 2021). I disturbi causati da un'esposizione prolungata in ambiente caldo-umido, variano di gravità: dalla riduzione dell'appetito fino alla seria compromissione dello stato di salute, come nel caso dell'esaurimento da calore o del "colpo di calore". L'esaurimento da calore è caratterizzato dall'incapacità di sostenere la gittata cardiaca in relazione allo sforzo fisico e ciò causa un aumento della temperatura superficiale, con o senza ipertermia (temperatura superiore a 38°C). I sintomi possono includere ansia, vertigini, perdita di coscienza. Il colpo di calore è la condizione più grave di ipertermia (temperatura corporea interna superiore a 40°C) e comporta una disfunzione multiorgano con edema cerebrale, anomalie sintomatiche del sistema nervoso centrale, delirio, convulsioni; può quindi essere pericoloso per la vita. Sono a maggior rischio gli atleti impegnati a lungo in eventi competitivi che si svolgono in ambienti molto caldi (ad esempio, tornei di tennis o maratone) oppure che indossano un abbigliamento tecnico poco traspirante (es. giocatori di football americano o ciclisti BMX). In queste situazioni di rischio lo stato di idratazione degli atleti deve essere regolarmente monitorato e vanno messe in atto strategie atte a ridurre la temperatura corporea e le abbondanti perdite di liquidi ed elettroliti per limitare lo sforzo cardiovascolare e l'eventualità di ipertermia con conseguenze negative anche sulla prestazione. Tali strategie comprendono piani di idratazione personalizzati che comprendono una condizione di adeguata idratazione pre-allenamento/gara, il consumo di bevande fresche durante l'esercizio e l'eventuale aggiunta di elettroliti alle bevande utilizzate (Racinais et al., 2015; Saunders et al., 2019). Si consiglia, ad esempio, di consumare, 2-3 ore prima degli allenamenti o delle competizioni in condizioni caldo-umide, 5-6 mL di acqua per chilogrammo di p.c., dopo aver però testato questa strategia prima di partecipare a una gara importante per stabilire le reali esigenze. Durante l'esercizio è bene contrastare l'eccessiva perdita di peso dovuta alla sudorazione, ma allo stesso tempo è necessario usare la massima cautela per evitare di bere in eccesso. Da un punto di vista pratico, è stato recentemente evidenziato che l'esercizio ad alta intensità in cui il tasso di sudore è elevato, soprattutto in caso di attività che durano più di 90 minuti, dovreb-

be essere accompagnato da strategie di idratazione pianificate (Kenefick, 2018). Infatti, bere solo quando si avverte sete può essere sufficiente solo a compensare le perdite di liquidi durante esercizi a bassa intensità e di durata più breve (inferiore ai 90 minuti), soprattutto se svolti in climi freddi. Il recupero di quantità significative di liquidi persi durante e dopo l'esercizio è favorito dal ripristino contemporaneo di elettroliti tramite, ad esempio, l'uso di bevande gluco-saline, che consentono un'idratazione più completa rispetto alla sola acqua, in quanto hanno concentrazioni ottimali di zuccheri e di sodio che rendono più rapido l'assorbimento dell'acqua e ne riducono l'eliminazione per via urinaria. Oltre che ai fini della reidratazione, combinare bevande e cibi solidi in questa fase è ovviamente vantaggioso anche per il reintegro delle perdite di elettroliti (Saunders *et al.*, 2019).

Recentemente è oggetto d'interesse la possibilità che, durante l'esposizione prolungata ad ambienti caldi, una "disidratazione controllata" o un consumo limitato di liquidi possa migliorare la risposta adattiva (ad esempio, l'espansione del volume plasmatico): ulteriori studi sono necessari per valutare se questa pratica è realmente efficace in alcune specifiche situazioni (ad esempio, carichi di lavoro più bassi) e se è o meno potenzialmente pericolosa (Burke *et al.*, 2019; Saunders *et al.*, 2019).

### ***Allenamenti/competizioni in ambiente particolarmente freddo***

Le discipline sportive praticate in ambienti freddi sono numerose e molto diverse tra loro: si va da sport di lunga durata (*endurance*) come lo sci nordico fino a sport estetici come il pattinaggio artistico o lo sci acrobatico. Inoltre, in occasione di eventi che generalmente si svolgono in ambienti caldo/temperati, possono aver luogo repentinamente cambiamenti climatici che trovano gli atleti impreparati a competere a temperature molto più basse del previsto (es. gare di mountain bike o di triathlon). In queste situazioni, la difficoltà maggiore è mantenere quanto più possibile costante l'idratazione e la temperatura corporea. La produzione di calore indotta dall'esercizio e un abbigliamento appropriato sono generalmente sufficienti per limitare la dispersione del calore e la conseguente riduzione della temperatura corporea (Meyer *et al.*, 2011; Cheuvront *et al.*, 2013).

Gli atleti con minor superficie corporea e quelli più magri sono a maggior rischio di ipotermia perché devono produrre più calore per mantenere la temperatura corporea interna a causa del ridotto isolamento termico dovuto alla minore quantità di grasso corporeo. Dal punto di vista metabolico, il fabbisogno energetico da fonti glucidiche aumenta soprattutto nel caso di brividi, funzionali alla produzione di calore e al mantenimento della temperatura corporea interna.

Diversi fattori possono aumentare il rischio di ipoidratazione quando ci si allena o si compete al freddo: la diuresi indotta dal freddo, un'alterata/ridotta percezione della sete, la minore disponibilità di acqua e altre bevande, un'assunzione auto-limitata di liquidi mirante a ridurre al minimo la necessità di minzione, maggiori perdite di sudore dovute a *overdressing* (abbigliamento eccessivo) e aumento della respirazione in caso di allenamenti/eventi in alta quota.

Perdite di peso del 2-3% in condizioni di freddo incidono meno negativamente sulle prestazioni di lunga durata rispetto alle stesse perdite se queste hanno luogo in ambienti caldi. In ogni caso, gli atleti devono essere educati a modificare i loro apporti energetici e di carboidrati in situazioni meteorologiche e climatiche estreme e devono ricevere specifici consigli pratici per la preparazione e la selezione di alimenti e bevande più appropriate per resistere al freddo.

### ***Allenamenti/competizioni ad alta quota***

Svolgere esercizio fisico in alta quota (con esposizione giornaliera o intermittente a quote oltre i 2000 m) può essere una strategia pianificata all'interno di un programma di allenamento sportivo in condizioni di ipossia con l'obiettivo di aumentare l'eritropoiesi e favorire l'adattamento a situazioni di stress. Anche in questa situazione particolare o comunque quando l'ambiente in cui si svolgono gli allenamenti si trova in altura, un'alimentazione adeguata è essenziale per ottimizzare l'effetto che si vuole raggiungere con l'allenamento in quota e per sostenere un'esposizione prolungata in tale situazione ambientale.

In alta quota, l'aumento del rischio di disidratazione è associato all'iniziale aumento della diuresi causato dal freddo, all'incremento della ventilazione e alla bassa umidità oltre che a maggiore sudorazione. Alcuni esperti suggeriscono un fabbisogno giornaliero di liquidi fino a 4-5 litri in caso di allenamenti/competizioni ad alta quota, mentre altri incoraggiano un monitoraggio individuale dello stato di idratazione per determinare le richieste individuali specifiche, caso per caso, situazione per situazione (Koehle *et al.*, 2014; Stellingwerff *et al.*, 2019). Le strategie di idratazione mirano a controbilanciare l'aumentata perdita di liquidi, pur evitando il consumo di grandi volumi di acqua e/o bevande nel corso della sera per evitare la probabilità di notti insonni (Burke *et al.*, 2019; Saunders *et al.*, 2019).

**Tabella 1** Strategie di assunzione di liquidi per gli adulti che svolgono esercizio fisico.

<b>Prima dell'esercizio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Iniziare a bere 5-7 mL/kg di p.c., quando possibile almeno 4 ore prima dell'esercizio fisico.</li> <li>■ Se questa quantità non conduce alla produzione di urine o se l'urina risulta scura e particolarmente concentrata nelle due ore che precedono l'allenamento/competizione, si aggiungeranno altri 3-5 mL/kg di p.c.</li> </ul>
<b>Durante l'esercizio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Realizzare piani di idratazione personalizzati che sfruttino tutte le opportunità per bere durante l'allenamento e/o competizione al fine di recuperare la maggior quantità possibile di acqua per compensare le perdite e contrastare la disidratazione (perdita di peso superiore al 2%).</li> <li>■ Entro 60' è sufficiente sorreggiare solo acqua circa ogni 15-20 minuti.</li> <li>■ Per sessioni più lunghe o intense, gli atleti potrebbero avere benefici dal bere acqua con l'aggiunta di piccole quantità di carboidrati (3-8 g/100 mL) e sodio (460-1150 mg/L).</li> <li>■ Durante gare di lunga durata (maratona, marcia, ecc.), è bene che i rifornimenti siano pari a 1,5-2 mL/kg di p.c. ogni 15-20 minuti.</li> </ul>
<b>Dopo l'esercizio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nelle ore successive all'esercizio, reintrodurre una quantità di acqua pari al 125-150% della perdita di p.c.</li> </ul>

Tradotto e modificato da Thomas et al (2016).

**Tabella 2** Strategie di idratazione per giovani atleti in relazione all'esercizio fisico.

<b>Prima dell'esercizio</b>	<p>Ripristinare le eventuali perdite di acqua dovute ad allenamenti o competizioni precedenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Il colore delle urine dovrebbe essere giallo paglierino</li> <li>■ Recuperare il peso corporeo abituale (pre-esercizio)</li> <li>■ Prendere in considerazione una strategia di pre-idratazione a partire da 2-4 ore prima dell'esercizio con 5-10 mL di liquidi/kg di p.c. (questa strategia consente un tempo sufficiente per lo svuotamento gastrico e l'assorbimento dei liquidi)</li> <li>■ Utilizzare bevande contenenti carboidrati (30-60 g in 1 L) e sodio (circa 460 mg in 1 L) favorisce un più rapido assorbimento e la ritenzione di acqua</li> </ul> <p>Va bene sia l'acqua sia qualsiasi altra bevanda ben tollerata/gradita dall'atleta (es. succhi/spremute/ centrifughe di frutta e/o ortaggi; infusi/tisane/tè deteinato/orzo; latte).</p> <p>Le "bevande per lo sport" che si trovano in commercio presentano mediamente una concentrazione di zuccheri di 6-8 g/100 mL e un contenuto di sodio pari a circa 500-600 mg/L: così composte, non presentano alcun vantaggio rispetto alle altre tipologie di bevande.</p>
<b>Durante l'esercizio</b>	<p>In questa fase, le perdite di acqua che si verificano tramite la sudorazione sono molto variabili. Le strategie di idratazione devono essere personalizzate in relazione anche alla situazione specifica di allenamento/ competizione.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Un buon punto di partenza, in caso di attività di intensità vigorosa, prevede:           <ul style="list-style-type: none"> <li>• per giovani adolescenti: 100-250 mL ogni 20 minuti</li> <li>• per adolescenti più grandi: fino a 350 mL ogni 20 minuti</li> </ul> </li> </ul> <p>Vanno evitate sia l'ipoidratazione (riduzione di peso superiore al 2%) sia l'eccessiva ingestione di acqua o altre bevande.</p> <p>Il fabbisogno di acqua può essere calcolato facendo riferimento alla variazione di peso degli atleti stessi tra il peso misurato immediatamente prima e subito dopo gli allenamenti, con l'accorgimento di rimuovere gli indumenti sudati. Quindi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bere circa 500 mL per ogni mezzo kilogrammo di perdita di peso</li> <li>■ Gli atleti devono poi modificare la propria strategia per evitare:           <ul style="list-style-type: none"> <li>• perdite di acqua superiori al 2% del p.c. iniziale</li> <li>• qualsiasi aumento di peso</li> </ul> </li> </ul> <p>Nella maggior parte dei casi, l'acqua è la scelta migliore per idratarsi durante l'esercizio fisico:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Quando la durata degli allenamenti/competizioni supera 60 minuti di attività di intensità sostenuta, la scelta di bevande contenenti carboidrati alla concentrazione di 6-8 g/100 mL può favorire l'idratazione e, al tempo stesso, fornire energia. Una concentrazione simile si trova nelle "bevande per lo sport" o si può ottenere diluendo con acqua un succo di frutta (non acido), in genere 50:50</li> <li>■ In alcuni atleti, bevande con concentrazioni più basse di zuccheri (3-6 g/100 mL) possono essere più gradevoli e creare meno fastidi a livello gastrico rispetto anche alla semplice acqua. Anche in questo caso è possibile confezionarle con un succo di frutta diluito con acqua (es. 250 ml di succo di frutta al 70-100% di frutta + 750 mL di acqua)</li> </ul>

**Tabella 2** Strategie di idratazione per giovani atleti in relazione all'esercizio fisico. (*Continua...*)

<b>Dopo l'esercizio</b>	<p>Recuperare le perdite idriche prima dell'allenamento successivo:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ Circa 450-600 mL per ogni 0,5 kg di peso perso durante l'attività (pari al 100% del peso perso)</li></ul> <p>In questa fase, il volume della bevanda è più importante rispetto al tipo di bevanda scelta.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ Gli atleti giovani di norma bevono e mangiano nel post-allenamento. Evans et al (2009) ricordano che, nel caso in cui non sia disponibile del cibo solido, potrebbe essere utile il ricorso a soluzioni ipertoniche (carboidrati al 10% e 25 mmol/L di sodio) che mostrano un vantaggio in termini di ritenzione nel recupero post-esercizio rispetto a soluzioni ipotoniche. Un modo semplice per raggiungere queste concentrazioni è quello di aggiungere un grammo di sale da cucina (un quinto di un cucchiaiino) in 1 L di bevanda ottenuta diluendo con acqua un succo di frutta al 70-100% di frutta</li><li>■ Una bevanda con latte e cioccolato è una buona scelta per il recupero post-allenamento/gara per il suo contenuto in carboidrati, sodio, potassio e proteine</li></ul> <p>Anche in questa fase, come nel pre-esercizio, le bevande per lo sport non mostrano vantaggi specifici rispetto ad altre bevande e, consumate da sole, non contengono abbastanza carboidrati per il recupero.</p>
-------------------------	---

Tradotto e modificato da American Academy of Pediatrics (2020).

## Bibliografia

- American Academy of Pediatrics Committee on Nutrition. Sport Nutrition. In: Kleinman RE, Greer FR. Pediatric nutrition. 8th ed. Itasca, IL, US: American Academy of Pediatrics; 2020; 332-336.
- American College of Sports Medicine, Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ, Stachenfeld NS. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sport Exer* 2007a; 39: 377-390.
- American College of Sports Medicine; Armstrong LE, Casa DJ, Millard-Stafford M, Moran DS, Pyne SW, Roberts WO. American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition. *Med Sci Sport Exer* 2007b; 39: 556-572.
- Baker LB, Jeukendrup AE. Optimal composition of fluid-replacement beverages. *Compr Physiol* 2014; 4: 575-620.
- Bergeron MF. Exertional heat cramps: recovery and return to play. *Journal of sport rehabilitation* 2007; 16: 190-196.
- Bergeron MF. Hydration in the pediatric athlete – how to guide your patients. *Curr Sport Med Rep* 2015; 14: 288-293.
- Burke LM, Castell LM, Casa DJ, Close GL, Costa RJS, Desbrow B, Halson SL, Lis DM, Melin AK, Peeling P, Saunders PU, Slater GJ, Sygo J, Witard OC, Bermon S, Stellingwerff T. International association of athletics federations consensus statement 2019: nutrition for athletics. *Int J Sport Nutr Exe* 2019; 29: 73-84.
- Cheuvront SN, Ely BR, Wilber RL. Environment and exercise. In: Maughan RJ, editor. *The Encyclopaedia of Sports Medicine*. 1st Edition. Wiley, 2013; 425-438.
- Devries MC, Jakobi JM. Importance of considering sex and gender in exercise and nutrition research. *Appl Physiol Nutr Me* 2021; 46: III-VII.
- El Ghoch M, Calugi S, Dalle Grave R. Management of severe rhabdomyolysis and exercise-associated hyponatremia in a female with anorexia nervosa and excessive compulsive exercising. *Case Rep Med* 2016; 2016: 8194160.
- Evans GH, Shirreffs SM, Maughan RJ. Postexercise rehydration in man: the effects of osmolality and carbohydrate content of ingested drinks. *Nutrition* 2009; 25: 905-913.
- Garth AK, Burke LM. What do athletes drink during competitive sporting activities? *Sports Med* 2013; 43: 539-564.
- Goulet EDB. Dehydration and endurance performance in competitive athletes. *Nutrition Reviews* 2012; 70(Suppl 2): S132-S136.
- Grgic J, Grgic I, Pickering C, Schoenfeld BJ, Bishop DJ, Pedisic Z. Wake up and smell the coffee: caffeine supplementation and exercise performance - an umbrella review of 21 published meta-analyses. *Brit J Sport Med* 2020; 54: 681-688.
- Hew-Butler T, Rosner MH, Fowkes-Godek S, Dugas JP, Hoffman MD, Lewis DP, Maughan RJ, Miller KC, Montain SJ, Rehrer NJ, Roberts WO, Rogers IR, Siegel AJ, Stuempfle KJ, Winger JM, Verbalis JG. Statement of the 3rd International Exercise-Associated Hyponatremia Consensus Development Conference, Carlsbad, California, 2015. *Clin J Sport Med* 2015; 25: 303-320.
- Hutchins KP, Borg DN, Bach AJE, Bon JJ, Minett GM, Stewart IB. Female (under) representation in exercise thermoregulation research. *Sports Med - Open* 2021; 7: 43.
- Jagim AR, Harty PS, Tinsley GM, Kerksick CM, Gonzalez AM, Kreider RB, Arent SM, Jaeger R, Smith-Ryan AE, Stout JR, Campbell BI, VanDusseldorp T, Antonio J. International society of sports nutrition position stand: energy drinks and energy shots. *J Int Soc Sport Nutr* 2023; 20: 2171314.
- Jeukendrup AE, Carter J, Maughan RJ. Competition fluid and fuel. In: Burke L, Deakin V, eds. *Clinical Sports Nutrition*. 5th ed. North Ryde NSW, Australia: McGraw-Hill Australia Pty Ltd; 2015: 377-419.
- Jeukendrup AE. Training the gut for athletes. *Sports Med* 2017; 47(Suppl 1): 101-110.
- Kelly MK, Bowe SJ, Jardine WT, Condo D, Guy JH, Snow RJ, Carr AJ. Heat adaptation for females: a systematic review and meta-analysis of physiological adaptations and exercise per-

- formance in the heat. *Sports Med* 2023; 53: 1395-1421.
- Kenefick RW, Cheuvront SN. Hydration for recreational sport and physical activity. *Nutr Rev* 2012; 70(Suppl 2): S137-S142.
- Kenefick RW. Drinking strategies: planned drinking versus drinking to thirst. *Sports Med* 2018; 48(Suppl 1): S31-S37.
- Kenney WL, Wolf ST, Dillon GA, Berry CW, Alexander LM. Temperature regulation during exercise in the heat: Insights for the aging athlete. *J Sci Med Sport* 2021; 24: 739-746.
- Koehle MS, Cheng I, Sporer B. Canadian Academy of Sport and Exercise Medicine Position Statement: athletes at high altitude. *Clin J Sport Med* 2014; 24: 120-127.
- Maughan RJ, Shirreffs SM. Muscle cramping during exercise: causes, solutions and questions remaining. *Sports Med* 2019; 49(Suppl 2): 115-124.
- McCubbin AJ. Modelling sodium requirements of athletes across a variety of exercise scenarios - Identifying when to test and target, or season to taste. *European Journal of Sport Science* 2023; 23: 992-1000.
- Meyer NL, Manore MM, Helle C. Nutrition for winter sports. *J Sport Sci* 2011; 29(Suppl 1): S127-S136.
- Mountjoy M, Alonso J-M, Bergeron MF, Dvorak J, Miller S, Migliorini S, Singh DG. Hyperthermic-related challenges in aquatics, athletics, football, tennis and triathlon. *Brit J Sport Med* 2012; 46: 800-804.
- Périard JD, Eijsvogels T, Daanen HAM, Racinais S. Hydration for the Tokyo Olympics: to thirst or not to thirst? *Brit J Sport Med* 2021; 55: 410-411.
- Racinais S, Alonso JM, Coutts AJ, Flouris AD, Girard O, González-Alonso J, Hausswirth C, Jay O, Lee JKW, Mitchell N, Nassis GP, Nybo L, Pluim BM, Roelands B, Sawka MN, Wingo JE, Périard JD. Consensus recommendations on training and competing in the heat. *Scand J Med Sci Spor* 2015; 25(Suppl 1): 6-19.
- Saunders PU, Garvican-Lewis LA, Chapman RF, Périard JD. Special environments: altitude and heat. *Int J Sport Nutr Exe* 2019; 29: 210-219.
- Schneider MB, Benjamin HJ, Committee on Nutrition and the Council on Sports Medicine and Fitness. Sports drinks and energy drinks for children and adolescents: are they appropriate? *Pediatrics* 2011; 127: 1182-1189.
- Shirreffs SM, Sawka MN. Fluid and electrolyte needs for training, competition and recovery. *J Sport Sci* 2011; 29(Suppl 1): S39-S46.
- SINU, Società Italiana di Nutrizione Umana. LARN-Livelli di Assunzione di Riferimento di Nutrienti ed energia per la popolazione italiana. V Revisione 2024. Milano: Biimedia Editore, 2024.
- Stellingwerff T, Peeling P, Garvican-Lewis LA, Hall R, Koivisto AE, Heikura IA, Burke LM. Nutrition and altitude: strategies to enhance adaptation, improve performance and maintain health: a narrative review. *Sports Med* 2019; 49(Suppl 2): 169-184.
- Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. American College of Sports Medicine Joint Position Statement. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sport Exer* 2016; 48: 543-568.
- Trangmar SJ, González-Alonso J. Heat, Hydration and the human brain, heart and skeletal muscles. *Sports Med* 2019; 49(Suppl 1): S69-S85.



# Energia

Il fabbisogno energetico è influenzato da numerosi fattori, come descritto nel relativo capitolo del testo base dei LARN: di questi, l'attività fisica rappresenta, senza dubbio, la componente maggiormente variabile, fortemente condizionata dalla volontà di ogni singolo individuo.

L'unica vera caratteristica distintiva dell'alimentazione di un atleta, se impegnato in precisi programmi di allenamento, è rappresentata da un aumentato fabbisogno di energia direttamente correlato all'effettivo aumento del dispendio energetico. Più energia viene spesa per eseguire l'attività programmata, più calorie sono necessarie per raggiungere l'equilibrio energetico.

A sua volta il dispendio energetico per i diversi tipi di esercizio dipende da molti differenti fattori quali durata, frequenza e intensità dell'esercizio, sesso e stato nutrizionale, ma anche fattori genetici, età, caratteristiche antropometriche e composizione corporea.

Va inoltre considerato che, a seconda della fase di allenamento e di gara all'interno del ciclo annuale e anche della singola determinata settimana (macro, meso e microcicli di allenamento), gli atleti possono pianificare la durata e l'intensità delle sessioni di allenamento in modi molto diversi tra loro in termini tanto "inter" che "intra" individuali.

## FABBISOGNO ENERGETICO IN RAPPORTO ALL'ATTIVITÀ FISICA

L'efficacia della proposta nutrizionale dipende dall'adeguatezza dell'apporto energetico, dalla sua composizione in nutrienti, dalla distribuzione oraria in funzione degli impegni sportivi e dalla modulazione degli apporti nutrizionali nelle varie fasi del programma sportivo: la preparazione atletica, la gara, il recupero.

I risultati di numerosi studi per determinare il dispendio energetico, attraverso la misurazione del consumo di ossigeno ( $\text{VO}_2$ ) durante differenti attività fisiche, sono riassunti nel "Compendium of Physical Activities" (Ainsworth *et al.*, 2011) e vengono aggiornati regolarmente sul sito web del Compendium stesso (Ainsworth *et al.*, 2020; Herrmann *et al.*, 2024).

Il Compendio si è affermato negli ultimi decenni come una fonte riconosciuta e ampiamente utilizzata per la stima del dispendio energetico, che è espresso in MET (*Metabolic Equivalent of Task*, equivalente metabolico del lavoro): quest'ultimo è il rapporto tra la quantità di energia spesa per svolgere una data attività e la quantità di energia richiesta per stare seduti in condizioni di riposo (spesa energetica a riposo, *Resting Metabolic Rate*, RMR).

Il MET così calcolato è utilizzabile in individui con differente peso corporeo (p.c.) e consente di confrontare le diverse attività indipendentemente dall'individuo che le svolge. Esso è abitualmente espresso come volume di ossigeno consumato nell'unità di tempo (mL/minuto):

$$\begin{aligned} 1 \text{ MET} &= 3,5 \text{ ml O}_2/\text{kg di p.c. per minuto} \\ &= \sim 0,01768 \text{ kcal/kg di p.c. per minuto} \\ &= \sim 1 \text{ kcal/kg di p.c. per ora} \\ &\quad (\text{considerando l'equivalente calorico di } 1 \text{ L di O}_2 \sim 5 \text{ kcal}) \\ &\quad (\text{CREA, 2018}) \end{aligned}$$

Alcuni autori hanno proposto, nel tempo, differenti equazioni di predizione della spesa energetica a riposo, specifiche per la popolazione sportiva e per gli atleti, partendo dal presupposto, peraltro corretto, che la massa corporea magra influenzi significativamente il dispendio energetico a riposo e sia generalmente maggiore (*Lean Body Mass, LBM*) negli atleti rispetto ai non atleti. Un esempio di queste è l'equazione di Cunningham (1980):  $RMR \text{ [kcal/die]} = 500 + 22 \times \text{kg LBM}$ , i cui dati tuttavia non sono risultati sempre coerenti con i valori ottenuti dalla misura del dispendio energetico a riposo.

## Il concetto di disponibilità energetica

Il concetto di “disponibilità energetica” (*Energy Availability, EA*) è utilizzato soprattutto nell’area di ricerca dedicata alla nutrizione umana applicata alla pratica delle discipline sportive e si riferisce meno al bilancio energetico tradizionalmente utilizzato per la popolazione generale. L’EA, infatti, prende in considerazione i dati relativi alla quantità di energia fornita con l’alimentazione e l’energia utilizzata durante la pratica sportiva/attività fisica, ma tiene conto anche della LBM.

Ancora più recentemente, il Comitato Olimpico Internazionale (*Mountjoy et al., 2023*) ha ulteriormente aggiornato la propria posizione in merito presentando una sintesi delle Linee guida cliniche per la valutazione della LEA (*Low Energy Availability, ridotta disponibilità energetica*) e la valutazione accurata della composizione corporea.

Nel nuovo documento la LEA viene definita come “una qualsiasi discrepanza tra l’apporto energetico e l’energia spesa durante l’esercizio fisico che impedisca di coprire il fabbisogno energetico totale necessario per sostenere le funzioni richieste dall’organismo per garantire salute e prestazioni ottimali”.

La LEA si presenta come un continuum tra situazioni in cui alcuni effetti sono favorevoli (LEA adattabile) e altre che comportano compromissioni sostanziali e potenzialmente a lungo termine dello stato di salute e delle prestazioni (LEA problematica).

La LEA “adattabile” è l’esposizione a una riduzione della disponibilità di energia che si associa però a effetti favorevoli, quali cambiamenti lievi e rapidamente reversibili nei biomarcatori di vari sistemi corporei che segnalano una ripartizione adattativa dell’energia e una plasticità della fisiologia umana. In alcuni casi, le situazioni che sono alla base della ridotta disponibilità di energia (ad esempio, interventi monitorati e consapevoli sulla composizione corporea o periodo programmato più intenso dell’allenamento o delle competizioni) potrebbero essere associate a effetti positivi acuti per la salute o per le prestazioni (ad esempio, aumento del  $\text{VO}_{2\text{max}}$  relativo). La LEA adattabile è in genere un’esperienza di breve durata con un impatto minimo (o assente) a lungo termine sulla salute, sul benessere o sulle prestazioni. Fattori moderatori possono anche alterare l’espressione dei risultati.

La LEA “problematica” è invece l’esposizione a una bassa disponibilità energetica associata a un’alterazione maggiore e potenzialmente persistente di vari apparati dell’organismo, che spesso si manifesta con segni e/o sintomi, espressione di una risposta disadattiva. Le caratteristiche della LEA problematica (ad esempio durata, ordine di grandezza, frequenza) possono variare a seconda dell’apparato e dell’individuo e potrebbero essere ulteriormente influenzati dall’interazione con fattori moderatori che possono amplificare l’alterazione dello stato di salute, del benessere e delle prestazioni.

Gli autori del documento indicano anche i “valori” giornalieri di energia disponibile (EA) auspicabili per la popolazione femminile, riferiti alla *Fat Free Mass* predetta (FFM), in funzione di possibili effetti (*Mountjoy et al., 2023*):

- EA elevata ( $\geq 45$  kcal/kg FFM) per aumentare e accrescere la massa
- EA adeguata ( $= \sim 45$  kcal/kg FFM) per il mantenimento del peso e il sostegno alle funzioni corporee
- EA ridotta ( $= 30\text{--}45$  kcal/kg FFM) per la perdita di massa/grasso corporeo
- EA bassa ( $\leq 30$  kcal/kg FFM) che può causare implicazioni negative per lo stato di salute.

## Effetti di un apporto energetico insufficiente

Apporti insufficienti di energia possono comportare: perdita di massa muscolare, alterazioni mestruali, perdita o mancato raggiungimento in età evolutiva della normale densità ossea, aumento del rischio di infortuni, immunodeficienza, affaticamento e sindrome da sovrallenamento (*overtraining*), con prolungamento dei tempi di recupero, e costituire un fattore scatenante di disturbi della nutrizione e dell'alimentazione.

La salute psico-fisica degli atleti può essere compromessa, anche sensibilmente, da periodi protratti di LEA: questi possono configurare nel sesso femminile il quadro clinico della “Triade dell’atleta donna”, descritto dall’*American College of Sports Medicine* per la prima volta nel 1997 (*Otis et al., 1997*) e definibile come “una condizione caratterizzata da aumento delle fratture da stress, riduzione della densità minerale ossea e amenorrea funzionale ipotalamica in atlete altrimenti sane”. Sono stati spesso segnalati effetti negativi anche sul sistema immunitario, digestivo e neurologico, sulla funzione cognitiva e nei rapporti sociali. Le manifestazioni cliniche della “Triade dell’atleta donna” possono sfociare in un graduale e drammatico scadimento dello stato di salute e, di conseguenza, delle prestazioni agonistiche, che si identifica con quella particolare condizione chiamata “*Overtraining*” (Sindrome da Sovrallenamento): questa, in alcuni casi, compromette così profondamente lo stato di salute psico-fisica dell’atleta da costringerla all’abbandono definitivo della pratica sportiva. Negli ultimi anni sono aumentate peraltro le segnalazioni di alterazioni, per certi versi analoghe, anche in atleti maschi (fantini, ciclisti e maratoneti, ecc.) che seguono diete con persistente insufficiente apporto energetico.

Alla luce di queste segnalazioni, già dal 2014 l’*International Olympic Committee* ha proposto di sostituire la vecchia definizione con quella più corretta e ampia di REDs (*Relative Energy Deficiency-sport*, Deficit Energetico Relativo nello Sport) (*Mountjoy et al., 2014*), pubblicando inoltre nel 2018 un aggiornamento dello stato dell’arte e del progresso scientifico nel settore, con l’obiettivo di stimolare l’applicazione clinica e la stessa ricerca scientifica onde colmare le persistenti lacune in questo campo e sensibilizzare al riguardo sia l’ambiente medico-scientifico che quello tecnico-sportivo (*Mountjoy et al., 2018*).

In atleti di sesso maschile e di alto livello affetti da REDs sono stati osservati vari elementi in grado di pregiudicarne le prestazioni: diminuzione della capacità di prestazione di lunga durata, aumento del rischio di lesioni, diminuzione della risposta all’allenamento, alterazione della capacità di giudizio, diminuzione della capacità di coordinazione, diminuzione della concentrazione, irritabilità, depressione, diminuzione delle riserve di glicogeno e della forza muscolare (*Mountjoy et al., 2014*).

In quest’ultima versione del documento la definizione della REDs è stata modificata e ampliata ulteriormente indicando anche le ripercussioni sullo stato di salute generale (**Figura 1**) e sulle capacità atletiche e prestative (**Figura 2**).



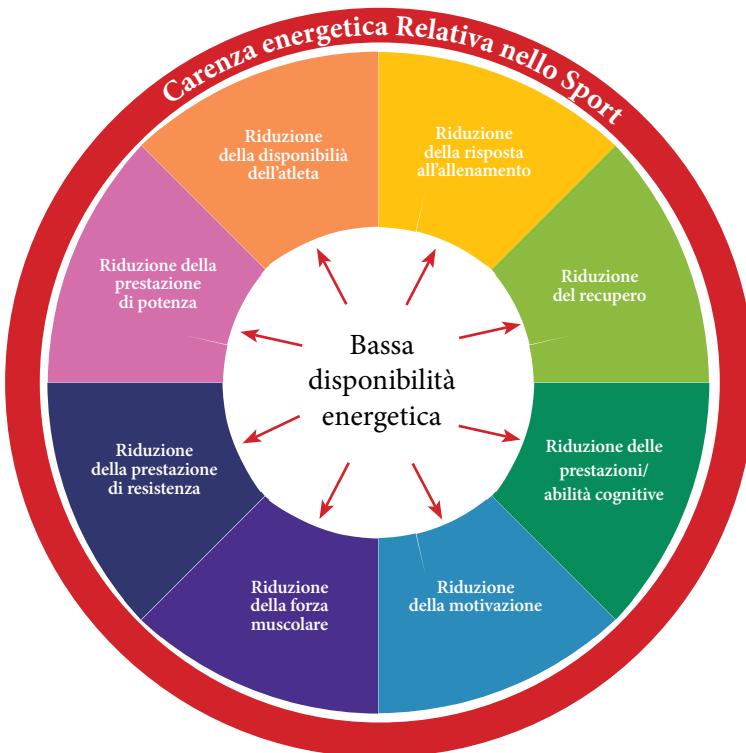
**Figura 1** Modello concettuale della salute nella REDs

Esiste un continuum di effetti della LEA. Mentre in alcuni casi una certa esposizione alla LEA è lieve e transitoria (LEA adattabile), la LEA problematica è associata a diversi esiti negativi sulla prestazione in caso di REDs).

REDs, *Relative Energy Deficiency in sport: deficit energetico relativo nello sport*

LEA, *Low Energy Availability: bassa disponibilità energetica*

Modificata da Mountjoy et al (2014)



**Figura 2** Modello concettuale delle prestazioni nella REDs

Esiste un continuum di effetti della LEA. Mentre in alcuni casi una certa esposizione alla LEA è lieve e transitoria (LEA adattabile), la LEA problematica è associata a diversi esiti negativi sulla prestazione in caso di REDs.

REDs, *Relative Energy Deficiency* in sport: deficit energetico relativo nello sport

LEA, *Low Energy Availability*: bassa disponibilità energetica

Modificata da Mountjoy et al (2014)

## Bibliografia

38

- Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC, Leon AS. 2011 Compendium of physical activities: a second update of codes and MET values. *Med Sci Sport Exer* 2011; 43: 1575-1581.
- Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC, Leon AS. The Compendium of Physical Activities Tracking Guide. Healthy Lifestyles Research Center, College of Nursing & Health Innovation, Arizona State University.
- CREA-Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria - Centro di Ricerca Alimenti e Nutrizione. Linee Guida per una sana alimentazione. Dossier Scientifico. 2018.
- Cunningham JJ. A reanalysis of the factors influencing basal metabolic rate in normal adults. *Am J Clin Nutr* 1980; 33: 2372- 2374.
- Herrmann SD, Willis EA, Ainsworth BE, Barreira TV, Hastert M, Kracht CL, Schuna JM Jr, Cai Z, Quan M, Tudor-Locke C, Whitt-Glover MC, Jacobs DR Jr. Adult Compendium of Physical Activities: A third update of the energy costs of human activities. *J Sport Health Sci* 2024; 13: 6-12.
- Mountjoy M, Sundgot-Borgen J, Burke L, Carter S, Constantini N, Lebrun C, Meyer N, Sherman R, Steffen K, Budgett R, Ljungqvist A. The IOC consensus statement: beyond the female athlete triad—Relative Energy Deficiency in Sport (REDs). *Brit J Sport Med* 2014; 48: 491-497.
- Mountjoy M, Sundgot-Borgen JK, Burke LM, Ackerman KE, Blauwet C, Constantini N, Lebrun C, Lundy B, Melin AK, Meyer NL, Sherman RT, Tenforde AS, Klungland Torstveit M, Budgett R. IOC consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (REDs) - 2018 update. *Brit J Sport Med* 2018; 52: 687-697.
- Mountjoy M, Ackerman KE, Bailey DM, Burke LM, Constantini N, Hackney AC, Heikura IA, Melin A, Pensgaard AM, Stellingwerff T, Sundgot-Borgen JK, Torstveit MK, Jacobsen AU, Verhagen E, Budgett R, Engebretsen L, Erdener U. 2023 International Olympic Committee's (IOC) consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (REDs). *Brit J Sport Med* 2023; 57: 1073-1097.
- Otis C, Drinkwater B, Johnson M, Loucks A, Wilmore J. American College of Sports Medicine Position Stand: The Female Athlete Triad. *Med Sci Sport Exer* 1997; 29: i-ix.

# Carboidrati

I carboidrati (CHO) costituiscono il principale substrato energetico per i muscoli in attività essendo in grado di fornire una buona quota energetica (in media 3,75 kcal per grammo di carboidrati semplici) di rapida utilizzazione.

È fondamentale nell'alimentazione dello sportivo che i carboidrati siano presenti in ogni pasto della giornata, rappresentati soprattutto da amidi (80% circa) nei pasti principali (cereali e prodotti da essi derivati, preferibilmente integrali o non raffinati, a eccezione dei pasti che precedono l'impegno competitivo) e da zuccheri negli spuntini e in prossimità e durante la prestazione, come quelli forniti dalla frutta fresca, dalla frutta essiccati, dal miele, ecc. (20% circa).

## FABBISOGNO DI CARBOIDRATI PER LO SPORTIVO

Le raccomandazioni sui fabbisogni giornalieri di carboidrati, per chi pratica sport, variano, in genere, da 3 a 10 grammi per kg di peso corporeo desiderabile (p.c.) pro die, fino a 10-12 g/kg di p.c. pro die per esercizi prolungati ed estremamente impegnativi (**Tabella 1**). Questa ampia variabilità dipende dalle richieste energetiche dell'allenamento o delle competizioni, dalla ricerca dell'equilibrio tra gli obiettivi di adattamento all'allenamento e la prestazione atletica, dalle richieste energetiche totali dell'atleta, dagli obiettivi relativi alla composizione corporea e dal sesso.

Gli obiettivi nutrizionali per i carboidrati dovrebbero essere personalizzati, modulati nell'arco delle giornate di allenamento e aggiornati periodicamente in base alla fase di preparazione atletica, al calendario della stagione agonistica e ai cambiamenti nel volume di lavoro, soprattutto se le differenti sessioni di allenamento richiedono scorte maggiori di carboidrati.

Nel momento in cui vengono formulate delle proposte nutrizionali per l'atleta, bisogna tener conto di vari fattori (età, sesso, tipo e intensità di allenamento, ecc.) e dei tempi di assunzione dei nutrienti prima, dopo e durante l'allenamento: infatti la prestazione sportiva non dipende solo dall'allenamento ma anche dal tipo di alimentazione che precede l'evento e da ciò che si assume durante e dopo l'allenamento/gara.

Poiché l'organismo umano non dispone di cospicue riserve di carboidrati disponibili, la dieta deve assicurarne un apporto minimo giornaliero sufficiente a coprire il fabbisogno energetico. La stima di utilizzazione di glucosio da parte dei tessuti obbligati è per l'individuo adulto nell'ordine di 2 mg/kg di p.c. per minuto (SINU, 2024). In condizioni di deficit di glucosio di origine esogena l'organismo attiva la gluconeogenesi a partire da alcuni aminoacidi (isoleucina, leucina, valina, alanina, glutammina, glicina) e dal glicerolo. Pertanto, in caso di digiuno prolungato o di basse quantità di carboidrati esogeni, si avrà una riduzione della massa proteica muscolare e comparsa della chetosi, i cui substrati (acido  $\beta$ -idrossibutirrico, acido acetooacetico) verranno utilizzati come fonte energetica anche dalle cellule del sistema nervoso.

La quantità minima di carboidrati disponibili sufficiente a evitare lo stato di chetosi è di 50-100 g/die per i bambini di età > 1 anno e 130 g/die per gli adulti, quantità necessarie per assicurare al cervello la concentrazione di glucosio necessaria per lo svolgimento delle funzioni vitali (*Institute of Medicine*, 2005).

## RUOLO SPECIFICO DEI CARBOIDRATI IN RELAZIONE ALLA PRESTAZIONE ATLETICA

Negli ultimi anni, è stata posta molta attenzione al ruolo dei carboidrati nell'alimentazione dello sportivo in virtù del ruolo che essi "giocano" sia nelle prestazioni atletiche sia nell'adattamento all'allenamento. In primo luogo va ribadito il richiamo alla quantità limitata delle riserve di carboidrati nel corpo umano, quantità che si modifica quotidianamente con l'assunzione di cibo o in rapporto alle singole sessioni di allenamento (EFSA, 2010; Spriet, 2014). In secondo luogo, i carboidrati (ma meglio sarebbe parlare di glucosio) forniscono un combustibile chiave per il sistema nervoso centrale e un substrato versatile per il lavoro muscolare, poiché possono sostenere l'esercizio su una diversa gamma d'intensità grazie al loro utilizzo attraverso diverse vie metaboliche sia anaerobiche lattacide che aerobiche ossidative. Anche quando si lavora alle più alte intensità, supportate dalla fosforilazione ossidativa, i carboidrati presentano vantaggi rispetto ai lipidi come substrato energetico in quanto forniscono una maggiore quantità di adenosin-trifosfato (ATP) per volume di ossigeno che può essere prodotto dai mitocondri (Spriet, 2014), migliorando così l'efficienza dell'esercizio fisico (Cole *et al.*, 2014).

In terzo luogo, l'esaurimento del glicogeno muscolare è associato ad affaticamento e riduzione di intensità dell'esercizio prolungato, mentre a livello del sistema nervoso centrale vengono compromessi fattori importanti che influenzano le prestazioni come la concentrazione, il ritmo, la percezione della fatica e le capacità motorie (Cermak e van Loon, 2013).

Le strategie per promuovere la disponibilità di carboidrati durante gli allenamenti/gare devono essere attuate prima, durante e nel recupero tra due eventi o sessioni atletiche. Esiste chiara evidenza che le prestazioni prolungate o interattive di alta intensità sono favorite da strategie nutrizionali che mantengano un'elevata disponibilità di carboidrati (ad esempio, correlando le riserve di glicogeno e la glicemia alle richieste di carburante durante l'esercizio), mentre l'esaurimento di queste scorte è associato all'affaticamento, che si manifesta sotto forma di ridotta capacità di lavoro, minore concentrazione e aumentata percezione dello sforzo.

Il glicogeno muscolare si esaurisce durante l'esercizio in modo dipendente dall'intensità e dalla durata dell'attività: diete con alte concentrazioni di carboidrati aumentano le riserve di glicogeno muscolare con conseguente miglioramento della prestazione.

Associare un'alimentazione adeguata all'esercizio fisico nelle ore e nei giorni precedenti un importante evento sportivo consente a un atleta di iniziare l'allenamento/gara con riserve di glicogeno commisurate ai costi energetici stimati per quell'evento. In assenza di gravi danni muscolari, le riserve di glicogeno possono essere normalizzate con 24 h di allenamento ridotto e un'adeguata assunzione di alimenti contenenti carboidrati, come indicato nella **Tabella 2** (Burke *et al.*, 2011; Thomas *et al.*, 2016).

### Strategie di assunzione dei carboidrati in relazione all'evento sportivo

L'assunzione di carboidrati prima dell'esercizio non è sempre semplice poiché gli effetti metabolici della risposta insulinica includono una riduzione della mobilizzazione e dell'utilizzo dei grassi e un concomitante aumento dell'utilizzo dei carboidrati (Ormsbee *et al.*, 2014). In alcuni individui, ciò può causare ipoglicemia con affaticamento prematuro (Foster *et al.*, 1979). Le strategie nutrizionali per aggirare questo problema includono l'assunzione di almeno 1 g/kg di p.c. di carboidrati nel pasto pre-evento per compensare

la maggiore ossidazione dei carboidrati, includendo nel pasto anche una fonte proteica. A tali scelte nutrizionali bisognerebbe aggiungere alcuni esercizi ad alta intensità durante il riscaldamento per stimolare la gluconeogenesi epatica e il consumo di carboidrati durante l'esercizio (Coyle, 1991). In alternativa, si potrebbero scegliere pasti pre-esercizio ricchi di carboidrati a basso indice glicemico, che riducono le alterazioni metaboliche associate all'ingestione degli stessi oltre a fornire un maggior rilascio prolungato di carboidrati durante l'esercizio.

I carboidrati consumati nelle 4 ore precedenti la gara/allenamento possono contribuire ad aumentare le riserve corporee di glicogeno muscolare e soprattutto epatico, esaurite col digiuno notturno. Inoltre, l'introduzione di carboidrati esogeni può fornire una fonte di rilascio di glucosio dall'intestino al circolo ematico durante l'esercizio (Burke et al., 2004), risparmiando le riserve a livello muscolare.

L'assunzione di carboidrati in misura di 1–4 g/kg di p.c. prima dell'evento gara/allenamento, con tempi, quantità e scelte alimentari adatte all'individuo migliora la resistenza e le prestazioni in corso di attività fisica prolungata (Burke et al., 2004; Ormsbee et al., 2014).

In generale, gli alimenti da prediligere nel pasto pre-evento sono quelli con una bassa percentuale di grassi, basso contenuto di fibre e basso contenuto proteico, in quanto meno inclini a causare problemi gastrointestinali e atti a favorire lo svuotamento gastrico (Rehrer et al., 1992; Burke et al., 2011). Per attività ad alta intensità di durata di circa 1 ora si possono assumere bevande contenenti carboidrati, anche senza deglutirle, in quanto semplicemente trattenendole in bocca e facendole venire a contatto con gli specifici recettori presenti sulla mucosa orale (*mouth rinse*, risciacquo) si ottengono miglioramenti della capacità prestativa: l'effetto ergogenico non sarebbe dovuto all'assorbimento del glucosio poiché i livelli di glicemia non variano, ma alla stimolazione di recettori, sia per i carboidrati dolci sia per quelli che non lo sono, che inviano segnali nelle aree del sistema nervoso centrale deputate alla ricompensa e al controllo motorio (Cermak e van Loon, 2013). Il “*mouth rinse*” potrebbe essere una buona strategia per migliorare la prestazione (Hawley et al., 1997; Burke et al., 2011) negli sport di “destrezza” e in quelli “estetici” (ginnastica artistica e ritmica, pattinaggio artistico, nuoto sincronizzato, danza sportiva, ecc.) ma anche in quelli con categorie di peso (sport di combattimento, sollevamento pesi, canottaggio pesi leggeri), dove il peso corporeo è ancor più importante (tanto da indurre a volte gli atleti a limitare, sbagliando, sia l'apporto idrico che quello energetico). Infine, il “*mouth rinse*” potrebbe servire a evitare, agli atleti più sensibili, disturbi gastrointestinali dovuti a stati ansiosi o a un eccessivo uso di bevande iso/ipertoniche (Burke e Maughan, 2015). Se gli allenamenti/gare sono intensi o durano più di 1 ora, non solo è fondamentale assumere acqua, ma è utile assumere alimenti ricchi di carboidrati 30–60 g/h sotto forma di solidi (frutta secca disidratata, miele, biscotti secchi, frutta fresca, ecc.) oppure di liquidi (bevande contenenti sale e carboidrati).

Eventi di durata superiore a 90 minuti possono necessitare di maggiori riserve di glicogeno (Hawley et al., 1997; Burke et al., 2011) che possono essere ottenute con una tecnica nota come “carico di carboidrati”. Il protocollo per ottenere la cosiddetta “super-compensazione” del glicogeno muscolare, almeno nel caso di atleti allenati, prevede una dieta ricca di carboidrati e la riduzione dell'allenamento nelle 48 h precedenti l'attività (Tabella 2).

Per eventi di durata maggiore alle 2,5 ore lo sportivo può arrivare ad assumere sino a 90 g/h di carboidrati. In quest'ultimo caso, alimenti contenenti miscele di diversi car-

boidrati (es., glucosio a vari gradi di polimerizzazione e fruttosio) possono massimizzare l'assorbimento dei carboidrati stessi sfruttando diversi carrier (GLUT 1 per il glucosio e GLUT 5 per il fruttosio) presenti a livello intestinale (*Burke et al.*, 2011).

Il recupero dopo l'esercizio fisico è un momento importante per gli atleti che effettuano due o più sessioni di allenamento al giorno, che si allenano per periodi prolungati o gareggiano in un programma che prevede più eventi. I principali obiettivi nutrizionali includono il ripristino delle riserve di glicogeno muscolare ed epatico, il reintegro dei liquidi e degli elettroliti persi con il sudore, la produzione di nuove proteine muscolari, globuli rossi e altri componenti cellulari come parte del processo di riparazione e di adattamento e per consentire al sistema immunitario di gestire i danni causati dall'esercizio.

Il ripristino del glicogeno epatico e muscolare è uno degli obiettivi del recupero post-esercizio, in particolare per prestazioni atletiche che, nella seconda sessione di allenamento/gara, utilizzano come substrato energetico il glucosio. Poiché la percentuale di ricostruzione del glicogeno è solo del 5% circa all'ora, l'assunzione precoce di carboidrati nel post allenamento/gara (~1–1,2 g/kg di p.c. per ora durante le prime 4–6 ore) è utile per massimizzare il tempo effettivo di ripristino delle riserve energetiche (*Burke et al.*, 2004; 2011).

Un rapido rifornimento può essere importante per l'atleta che dispone di meno di otto ore tra 2 sessioni di allenamento/gara. A condizione che venga consumato un adeguato apporto di carboidrati, sembra che la frequenza di assunzione, la forma (liquida o solida) e la presenza di altri macronutrienti non influenzino la velocità di accumulo del glicogeno. Considerazioni pratiche, come la disponibilità di cibo e bevande, l'appetito e il beneficio gastrointestinale possono determinare le scelte ideali di carboidrati. In genere, sono da preferire le bevande zuccherate in quanto possono contribuire al raggiungimento di un duplice obiettivo: idratazione e rifornimento energetico (*Burke*, 2000).

In base a quanto detto in precedenza, nella **Tabella 3** viene schematizzato l'utilizzo dei tre macronutrienti energetici prima, durante e dopo l'allenamento/gara.

**Tabella 1** Quantità di carboidrati consigliata giornalmente in funzione della durata e dell'intensità dell'allenamento

CARICO di ALLENAMENTO (ore/settimana)	CARBONIDRATI (g/kg di p.c. pro die)
Attività fisica leggera, di bassa intensità (3-5 ore/settimana)	3-5
Programma di intensità moderata (5-7 ore/settimana ≈ 1 ora al giorno)	5-7
Programmi di moderata/alta intensità (7-21 ore/settimana = 1-3 ore al giorno)	6-10
Impegno estremo (>4-5 ore al giorno, di moderata/alta intensità)	8-12

Tradotta e modificata da Thomas et al (2016).

p.c. = peso corporeo desiderabile.

**Tabella 2** Riepilogo delle linee guida per l'assunzione di carboidrati (CHO) da parte degli atleti

<b>A) FABBISOGNO GIORNALIERO DI CARBOIDRATI</b>		
<b>Modalità/tipo di attività</b>	<b>Obiettivo</b>	<b>Considerazioni generali sul tipo e sui tempi di assunzione dei CHO</b>
<b>Leggera</b> (intensità bassa o esercizi di destrezza)	3-5 g/kg di p.c. pro die	L'assunzione può essere gestita, nel corso della giornata, per favorire un'elevata disponibilità di CHO per una specifica seduta di allenamento, consumandoli prima o durante la seduta, oppure dopo la seduta in previsione di un secondo allenamento giornaliero.
<b>Moderata</b> (intensità moderata, allenamento 1 h al giorno)	5-7 g/kg di p.c. pro die	
<b>Intensa</b> (programma di lunga durata: 1-3 h al giorno di attività di intensità moderata-alta)	6-10 g/kg di p.c. pro die	Se con le quantità indicate non si riesce a soddisfare le necessità energetiche, l'apporto può essere aumentato fino al soddisfacimento del fabbisogno totale di energia; le modalità di assunzione (tipo di alimenti e distribuzione) devono essere guidate dalla praticità e dalla preferenza individuale.
<b>Molto intensa</b> (> 4-5 h al giorno di attività a intensità medio-alta)	8-12 g/kg di p.c. pro die	In caso di apporti molto elevati di CHO, è consigliabile scegliere alimenti glucidici che possano anche appor-tare altri nutrienti (es. proteine) in grado di soddisfare anche altri obiettivi nutrizionali.
<b>B) STRATEGIE NUTRIZIONALI SPECIFICHE IN FASE DI PREPARAZIONE (RIFORNIMENTO "ACUTO") E DURANTE L'ATTIVITÀ E LE GARE</b>		
Queste linee guida hanno l'obiettivo di ottimizzare/massimizzare la disponibilità di CHO per promuovere prestazioni ottimali in competizioni o sessioni di allenamento particolarmente impegnative.		
<b>In fase di preparazione</b> (rifornimento "acuto")	<b>Obiettivo</b>	<b>Considerazioni nutrizionali specifiche in fase di preparazione all'attività e alle gare</b>
<b>Rifornimento generale di CHO</b> (preparazione per eventi di durata < 90 minuti)	7-12 g/kg di p.c. pro die	Gli atleti dovrebbero scegliere alimenti ricchi di CHO con un basso contenuto di fibre e facili da consumare, sia per garantire i giusti apporti glucidici sia per evitare disturbi gastrintestinali e sentirsi "più leggeri per gareggiare".
<b>Carico di CHO</b> (preparazione per eventi di durata > 90 minuti a intensità elevata/interrittente)	10-12 g/kg di p.c. pro die nelle 36-48 ore precedenti l'evento	
<b>Rifornimento rapido</b> (< 8 ore di recupero tra due sessioni di allenamento o gare)	1,0-1,2 g/kg di p.c. per ora nelle prime 4 ore dopo la prima sessione	Potrebbe risultare vantaggioso consumare piccoli snack a intervalli regolari. Scegliere alimenti e bevande ricchi/e di CHO può as-sicurare il raggiungimento degli obiettivi nutrizionali di recupero/rifornimento di CHO.
<b>Rifornimento pre-gara/allenamento</b> (prima di eventi di durata > 60 minuti)	1-4 g/kg di p.c. 1-4 h prima della gara/allenamento	Il momento del consumo, la quantità e il tipo di alimenti e bevande dovrebbero essere scelti sulla base delle esi-genze pratiche dettate dalla manifestazione/evento e a seconda delle preferenze/esperienze dell'atleta. Per ridurre il rischio di problemi gastrintestinali durante la gara, può essere utile evitare di scegliere alimenti ad alto contenuto di grassi/proteine/fibre. Alimenti a basso indice glicemico possono rappresentare una scelta di rifornimento più vantaggiosa in quelle situazioni in cui non sia possibile consumare cibi/bibite contenenti CHO durante la gara.

**Tabella 2** Riepilogo delle linee guida per l'assunzione di carboidrati (CHO) da parte degli atleti (*Continua...*)

Durante l'attività e le gare	Obiettivo	Considerazioni nutrizionali specifiche durante l'attività e le gare
<b>Durante attività brevi (&lt; 45 minuti)</b>	Assunzione non necessaria	
<b>Durante attività a elevata intensità (45-75 minuti)</b>	Piccole quantità, compresa la tecnica del "mouth rinse" (risciacquo orale) con soluzione di CHO per stimolare, tramite i recettori, il sistema nervoso centrale e indurre una sensazione di "benessere/stimolo"	Una vasta gamma di bevande e prodotti per lo sport sono in grado di fornire i CHO necessari.
<b>Durante attività di lunga durata e nelle attività "stop and start" o attività intermittenti (1-2,5 ore)</b>	30-60 g/h	L'apporto di CHO costituisce una fonte di rifornimento per i muscoli per incrementare le riserve endogene. La possibilità di consumare cibi e bevande varia a seconda dei regolamenti e del tipo di disciplina sportiva. Può essere utile avere a disposizione una lista di alimenti e bevande tra cui scegliere. Con l'obiettivo di garantire l'idratazione ed evitare disturbi gastrointestinali, l'atleta dovrebbe sperimentare varie strategie per trovare quella più adatta ai propri bisogni fisiologici.
<b>Durante attività di ultra-endurance (&gt; 2,5-3 ore)</b>	Fino a 90 g/h	Un maggior apporto glucidico è associato a migliori prestazioni atletiche. I prodotti che contengono una maggiore varietà di CHO semplici (glucosio, miscele di fruttosio) sono quelli che permettono il raggiungimento dei più alti tassi di ossidazione dei CHO consumati durante l'esercizio fisico.

N.B.:

- 1) Gli obiettivi indicati in tabella hanno lo scopo di fornire un'elevata disponibilità di CHO (onde soddisfare il fabbisogno di CHO dei muscoli e del sistema nervoso centrale) per diversi carichi di lavoro e per situazioni in cui è importante allenarsi con alta qualità e/o intensità. Queste raccomandazioni generali dovrebbero essere personalizzate sulla base di valutazioni individuali del fabbisogno energetico totale, di specifiche necessità dell'allenamento e delle risposte prestantive all'allenamento.
- 2) In altre situazioni, in cui la qualità o l'intensità dell'allenamento non hanno un ruolo decisivo, può essere meno determinante raggiungere questi obiettivi o organizzare gli apporti di carboidrati nel corso della giornata per ottimizzarne la disponibilità per specifiche sessioni di allenamento. In questi casi, l'assunzione di carboidrati può essere decisa in base agli obiettivi energetici, alle preferenze alimentari o alla disponibilità di cibo.
- 3) In alcune situazioni, quando si voglia migliorare lo stimolo allenante o la risposta adattativa, è possibile indurre deliberatamente una bassa disponibilità di CHO riducendone l'apporto totale o manipolandone l'assunzione in funzione delle sessioni di allenamento (ad esempio, allenandosi a digiuno, intraprendendo una seconda sessione di allenamento senza un adeguato rifornimento dopo la prima sessione).

Tabella tradotta e rielaborata da Burke et al (2011) e Thomas et al (2016).

p.c. = peso corporeo desiderabile

**Tabella 3** Apporti di macronutrienti prima, durante e dopo l'esercizio fisico

Tempo rispetto all'esercizio	Proteine	Carboidrati	Grassi	Commento
<b>Prima dell'esercizio</b>	20-30 g, in particolare per allenamenti di potenziamento muscolare	200-300 g	Da limitare per evitare disturbi gastrointestinali	L'atleta potrebbe consumare dagli 8 ai 10 g di carboidrati per kg di p.c. già a cominciare da 3 giorni prima della competizione.
<b>Durante l'esercizio</b>	Non necessarie	30-60 g fino a un massimo di 90 g per ora a seconda della durata dell'attività	Non necessari	Solamente acqua se l'attività dura meno di 60 minuti. Potrebbero essere utili bevande glucidiche o gel di carboidrati per facilitare la digestione.
<b>Dopo l'esercizio</b>	20-30 g nei primi 30 minuti	60-120 g nei primi 30 minuti (in rapporto 1:3 – 1:4 con le proteine)	In rapporto normale con proteine e carboidrati	Continuare ad alimentarsi con pasti post-allenamento per rifornirsi di ciò che serve a seconda dell'intensità dell'esercizio fisico.

p.c. = peso corporeo desiderabile  
Tradotta e modificata da Bytomski (2018).

## Bibliografia

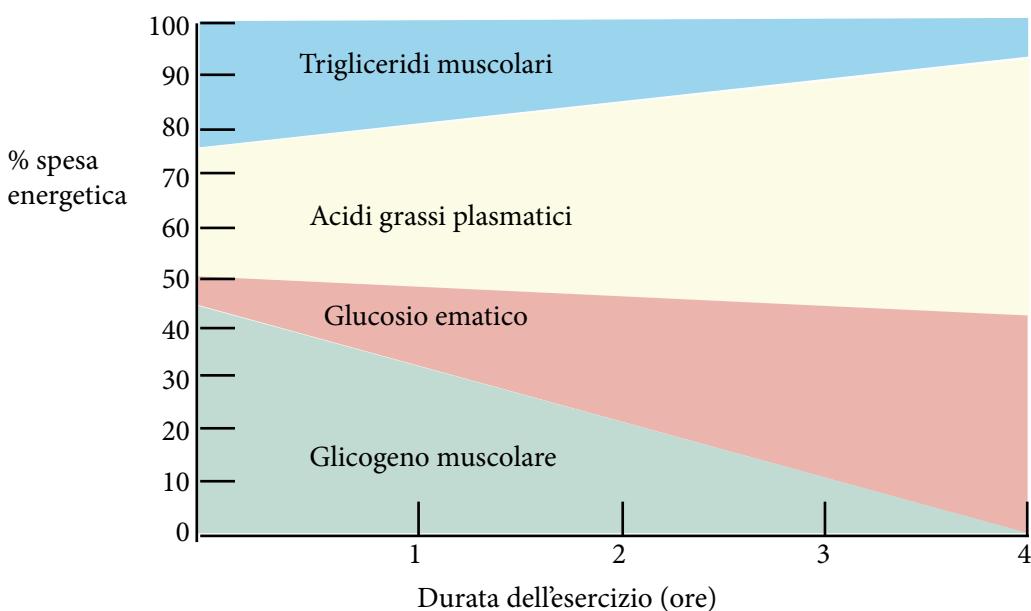
- Burke LM. Nutrition for recovery after competition and training. In: Clinical Sports Nutrition. Edited by Burke L and Deakin V. 2nd Edition. Sydney: McGraw-Hill, 2000; 396-427.
- Burke LM, Hawley JA, Wong SH, Jeukendrup AE. Carbohydrates for training and competition. *J Sport Sci* 2011; 29(Suppl 1): S17-S27.
- Burke LM, Kiens B, Ivy JL. Carbohydrates and fat for training and recovery. *J Sport Sci* 2004; 22: 15-30.
- Burke LM, Maughan RJ. The Governor has a sweet tooth - mouth sensing of nutrients to enhance sports performance. *Eur J Sport Sci* 2015; 15: 29-40.
- Bytowski JR. Fueling for Performance. *Sports Health* 2018; 10, 47-53.
- Cermak NM, van Loon LJ. The use of carbohydrates during exercise as an ergogenic aid. *Sports Med* 2013; 43: 1139-1155.
- Cole M, Coleman D, Hopker J, Wiles J. Improved gross efficiency during long duration submaximal cycling following a short-term high carbohydrate diet. *Int J Sport Med* 2014; 35: 265-269.
- Coyle EF. Timing and method of increased carbohydrate intake to cope with heavy training, competition and recovery. *J Sport Sci* 1991; 9 ( Spec 29-51); discussion 51-52.
- EFSA, European Food Safety Authority. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for carbohydrates and dietary fibre. *EFSA J* 2010; 8: 1462.
- Foster C, Costill DL, Fink WJ. Effects of pre-exercise feedings on endurance performance. *Med Sci Sports* 1979; 11: 1-5.
- Hawley JA, Schabert EJ, Noakes TD, Dennis SC. Carbohydrate-loading and exercise performance. An update. *Sports Med* 1997; 24: 73-81.
- Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. Washington, DC: The National Academies Press, 2005.
- Ormsbee MJ, Bach CW, Baur DA. Pre-exercise nutrition: the role of macronutrients, modified starches and supplements on metabolism and endurance performance. *Nutrients* 2014; 6: 1782-1808.
- Rehrer NJ, van Kemenade M, Meester W, Brouns F, Saris WH. Gastrointestinal complaints in relation to dietary intake in triathletes. *Int J Sport Nutr* 1992; 2: 48-59.
- SINU, Società Italiana di Nutrizione Umana. LARN-Livelli di Assunzione di Riferimento di Nutrienti ed energia per la popolazione italiana. V Revisione 2024. Milano: Biomedia Editore, 2024.
- Spriet LL. New insights into the interaction of carbohydrate and fat metabolism during exercise. *Sports Med* 2014; 44(Suppl 1): S87-S96.
- Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *Med Sci Sport Exer* 2016; 48: 543-568.



# Lipidi

La relazione tra lipidi e prestazione sportiva è stata oggetto negli ultimi anni di un rinnovato e crescente interesse, testimoniato anche dalle numerose pubblicazioni e dagli studi condotti in merito (*Spriet, 2014; Jeromson et al., 2015; Smith et al., 2015; Thomas et al., 2016; Kim et al., 2016; Gammone et al., 2018; Purdom et al., 2018; Kerksick et al., 2018; Nikolaidis et al., 2018; Jang et al., 2019; Collins et al., 2021*).

I lipidi rappresentano il substrato energetico principale durante gli allenamenti e le attività sportive prolungate nel tempo e svolte a bassa intensità. La produzione di energia dall'ossidazione degli acidi grassi (AG) è un processo “lento”, ma che riesce a soddisfare le richieste energetiche anche per periodi piuttosto lunghi. Il contributo degli AG aumenta al protrarsi dell'attività fisica anche a causa della progressiva diminuzione delle scorte di glicogeno, che “spinge” l'organismo a utilizzare i lipidi come substrato energetico principale attraverso il ciclo di Krebs (*Kerksick et al., 2018*) (**Figura 1**).



**Figura 1** Contributo di quattro diverse fonti energetiche nell'atleta in relazione alla durata dell'esercizio fisico.

Modificata da Romijn et al (1993).

L'ossidazione dei lipidi rimane sempre e comunque una fonte di energia predominante nelle attività con esercizio sub-massimale (Consumo Massimo di Ossigeno - $\text{VO}_{2\text{max}} < 65\%$ ) (*Kim et al., 2016; Purdom et al., 2018*). Quando l'intensità dell'esercizio supera il 65% del  $\text{VO}_{2\text{max}}$  si verifica, invece, uno spostamento del contributo energetico a favore dei glucidi (**Figura 2**).

Intensità di esercizio (% VO <sub>2</sub> max)	Utilizzo percentuale di lipidi (%)	Utilizzo percentuale di glucidi (%)
25	~12	~88
65	~50	~50
85	~75	~25

**Figura 2** Contributo percentuale di lipidi e glucidi come fonti energetiche in relazione all'intensità dell'esercizio.

Modificata da Rapoport (2010).

## CONTRIBUTO RELATIVO DI LIPIDI VS CARBOIDRATI NELL'ESERCIZIO FISICO

Il Quoziente Respiratorio (QR, detto anche Rapporto di Scambio Respiratorio, *Respiratory Exchange Ratio*) esprime il rapporto tra il consumo di ossigeno ( $\text{VO}_2$ ) e la produzione di anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) ( $\text{QR} = \text{CO}_2 \text{ prodotta} / \text{O}_2 \text{ consumato}$ ) da cui è possibile determinare quale substrato energetico (lipidico o glucidico) fornisca la quota maggiore di energia durante l'attività che si sta valutando. Il QR varia da 0,707 (100% grassi) a 1 (100% zuccheri) ma ha quasi sempre un valore intermedio perché difficilmente si usa esclusivamente uno dei due substrati. A parità di ossigeno che arriva ai muscoli si produce più energia utilizzando glicogeno (metabolismo anaerobico lattacido) che grassi. Nel caso di prestazioni di alta intensità e necessariamente di breve durata è, quindi, vantaggioso che il quoziente respiratorio sia il più alto possibile.

L'esercizio aerobico a bassa intensità (50%  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ), se affrontato in condizioni di digiuno, porta ad aumentare il QR da meno di 0,8 a circa 0,9 nei primi 15-20 minuti di esercizio (indicando un importante aumento dell'ossidazione di carboidrati), per poi calare gradualmente fino a tornare ai livelli di digiuno nel post-allenamento. Questo lascia intendere che anche l'attività aerobica a bassa intensità, che si ritiene impieghi quasi esclusivamente lipidi, in realtà in un primo periodo richiede un aumento dell'ossidazione di glucosio rispetto alle condizioni di riposo.

Un parametro usato per descrivere il punto in cui l'ossidazione dei lipidi raggiunge l'apice è la cosiddetta “ossidazione massima dei grassi” (*Maximal Fat Oxidation - MFO*). Le intensità di esercizio che superano la MFO ossidano glucidi in proporzione maggiore. È stato riportato che l'ossidazione massima dei grassi si verifica tra il 47% e il 75% del  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , e varia tra uomini e donne e non allenati.

I fattori che influiscono sui tassi di ossidazione lipidica sono il sesso, lo stato di allenamento, l'intensità e la durata dell'esercizio, e l'apporto nutrizionale. Ognuno di questi fattori facilita o inibisce i cambiamenti fisiologici che influenzano l'ossidazione degli acidi grassi.

Dalla curva del consumo lipidico si può identificare una velocità alla quale corrisponde il picco di tale consumo, ossia, la massima potenza aerobico-lipidica (Max Pot Lipidica). Questa velocità inferiore a quella delle 2mmol/L di lattato ematico (soglia aerobica) è probabilmente la più idonea a ottenere un maggiore consumo assoluto di grassi e quindi a causare il più rapido impoverimento dei depositi di trigliceridi (TG) intramuscolari (**Tabella 1**).

Le riserve del tessuto adiposo possono immagazzinare una quantità significativa di TG e fornire una quantità di energia apparentemente infinita per prestazioni di esercizio prolungate. Una persona con il 7-14% di grasso corporeo ha più di 30.000 kcal di riserve energetiche immagazzinate nel tessuto adiposo. Pertanto, se l'intensità dell'esercizio è mantenuta sotto il 65% del VO<sub>2</sub>max, l'esercizio può teoricamente essere mantenuto per una durata maggiore grazie all'ossidazione delle riserve di TG endogeni. Tuttavia, quando l'intensità dell'esercizio supera il 65% VO<sub>2</sub>max, l'ossidazione degli acidi grassi si riduce aumentando la "dipendenza" dai glucidi (*Kim et al., 2016; Purdom et al., 2018*). È quindi importante conoscere l'intensità, la durata e il tipo di esercizio da svolgere per fornire le migliori raccomandazioni di ordine nutrizionale.

## Fabbisogno di lipidi per lo sportivo e per l'atleta

Le ricerche più recenti hanno permesso di comprendere meglio la relazione tra il metabolismo dei grassi e dei carboidrati durante l'esercizio e la "down regulation" del metabolismo dei lipidi che si verifica quando si passa da un esercizio aerobico moderato a uno più intenso (*Spriet, 2014*). Diversi studi (*Gammone et al., 2018; Kim et al., 2016; Purdom et al., 2018*) hanno inoltre evidenziato che diete con proporzioni più alte di uno specifico macronutriente (lipidi o carboidrati) si associano a una maggiore capacità di ossidare il macronutriente primario consumato e che la concentrazione di trigliceridi intramuscolari aumenta mentre diminuisce il livello di glicogeno nel muscolo e viceversa (*Kim et al., 2016; Purdom et al., 2018*).

In generale, il fabbisogno di lipidi per gli sportivi e gli atleti non si discosta particolarmente da quelle che sono le raccomandazioni per la popolazione generale (*SINU, 2024*). Per la maggior parte degli sportivi e degli atleti, infatti, l'assunzione giornaliera di lipidi viene indicata tra il 20% e il 35% dell'apporto energetico totale giornaliero (*Thomas et al., 2016; Steffl et al., 2019*) in relazione alle specifiche caratteristiche metaboliche legate al programma e agli obiettivi dell'allenamento, e alle necessità energetiche dell'evento competitivo.

Indicativamente, l'apporto consigliato da vari autori e riportato dalla maggior parte delle riviste scientifiche è pari a circa 1,1–1,5 grammi per kg di peso corporeo desiderabile (p.c.), con un minimo di 30-40 g/die per gli sportivi meno impegnati che però, nel caso degli atleti che svolgono attività più gravose, può superare anche gli 80-100 g/die, rappresentati per circa un quarto da acidi grassi saturi, un quarto da polinsaturi e per la metà da monoinsaturi (*Murray e Horswill, 1998*).

Un consumo di lipidi inferiore al 20% dell'energia totale non giova alla prestazione atletica e soprattutto può limitare l'assunzione delle vitamine liposolubili e degli acidi grassi essenziali necessari a garantire un buono stato di salute generale e il raggiungimento degli obiettivi della prestazione sportiva (*Kerksick et al., 2018*).

In genere, quanto maggiore è l'apporto energetico giornaliero della razione alimentare durante le fasi di allenamento, tanto maggiore sarà l'apporto lipidico, anche al fine di ridurre il volume totale del cibo ingerito, in virtù della maggiore densità energetica dei grassi. Tuttavia, l'intensità dell'esercizio condiziona, come detto, l'utilizzo del substrato indipendentemente dal tipo di dieta, dallo stato di allenamento e dalla durata dell'esercizio. Per questo motivo, le diete ad alto contenuto di grassi sono a volte incoraggiate durante l'allenamento preparatorio fuori stagione quando i volumi di allenamento sono alti e le intensità di esercizio sono basse o moderate.

Di contro, in letteratura non sono presenti sufficienti e solidi studi che confermino un'associazione tra il consumo di diete estremamente ricche di lipidi (>50-60%) e al contempo povere di glucidi e possibili benefici per la prestazione atletica. Apporti lipidici maggiori sono consigliati soltanto per specifiche condizioni di allenamento e per particolari competizioni come, in particolare, le discipline di ultra-endurance, che superano le distanze classiche (maratona, alcune gare di ciclismo su strada, 50 km di sci di fondo, ecc.) con durata superiore alle 4-6 ore fino anche a settimane (camminata/corsa su strada o sentieri, ciclismo, sci di fondo e scialpinismo, sport misti come il triathlon). Un aumento dell'assunzione di lipidi da parte degli atleti che svolgono un allenamento regolare di ultra-endurance e prima di questo tipo di gare sarebbe in grado di determinare un aumento dei trigliceridi intra-mio-cellulari con possibile miglioramento delle prestazioni (*Nikolaidis et al., 2018; Kerksick et al., 2018*).

“L'adattamento lipidico” (*Fat-adapt*) è stato suggerito come strategia nutrizionale nei giorni che precedono la gara per aumentare l'ossidazione degli acidi grassi, ridurre l'esaurimento delle riserve di glicogeno e ridurre il rischio che lo sportivo avverta fame durante l'attività (*Hawley et al., 1998; Miller e Wolfe, 1999*). Questa strategia prevede un'assunzione elevata di grassi (60%-70%) e una bassa assunzione di carboidrati (15%-20%) per 5-10 giorni prima della gara onde migliorare l'utilizzo dei grassi (*Hawley et al., 1998*); considerando che le gare di ultra-endurance vengono effettuate a un'intensità sub-massimale, un maggiore apporto di grassi non sarebbe dannoso per le prestazioni (*Miller e Wolfe, 1999*). Secondo alcuni studi, inoltre, le diete iperlipidiche assicurerrebbero il mantenimento di una concentrazione ematica di testosterone migliore rispetto alle diete ipolipidiche, un fattore da considerare soprattutto nel caso che lo sportivo vada incontro a una condizione di sovrallenamento (“*overtraining*”), che predispone anche ad un declino dei livelli di testosterone con conseguente riduzione del desiderio sessuale (*Kerksick et al., 2018*).

D'altra parte, non sono a oggi disponibili dati sufficientemente controllati, con ricerche sul campo, che indichino chiaramente se un maggior “carico lipidico” migliori effettivamente le prestazioni di ultra-resistenza. Inoltre, si deve porre attenzione al rischio di disturbi digestivi connessi a questa pratica, data la minore digeribilità degli alimenti ricchi di grassi e proteine, che potrebbero compromettere il rendimento dell'atleta. In conclusione, l'evidenza complessivamente disponibile non giustifica un consumo eccessivo di alimenti proteico-lipidici prima, e tanto meno durante, la pratica sportiva: il rischio che l'atleta possa avvertire fame durante l'attività è peraltro risolvibile con una corretta programmazione di eventuali rifornimenti solidi, ad alto tenore glucidico, durante la prestazione.

## Benefici dei PUFA n-3 per la prestazione atletica e la salute cardiovascolare dello sportivo

Recenti studi hanno posto particolare attenzione agli acidi grassi polinsaturi della serie n-3 (*n-3 polyunsaturated fatty acids - PUFA n-3*), responsabili di numerose funzioni

cellulari e coinvolti nella regolazione del sistema nervoso, della pressione arteriosa, della coagulazione, della tolleranza al glucosio, del processo infiammatorio, e per questo rilevanti anche in relazione all'esercizio fisico. In particolare, si ritiene che la loro potenziale attività antinfiammatoria e antiossidante possa fornire benefici e migliorare le prestazioni atletiche (Gammone et al., 2018). Gli omega-3 (acido eicosapentaenoico - EPA e acido docosaeisoenoico - DHA) sono stati considerati dall'American Heart Association come integratori ergogenici, in quanto utili per contrastare l'infiammazione indotta dall'esercizio fisico, supportare la funzione immunitaria e migliorare il rendimento muscolare, la disponibilità di energia e il recupero dall'esercizio fisico, limitando il rischio di infortuni durante un allenamento intenso (Gammone et al., 2018).

Un potenziale miglioramento delle prestazioni di resistenza è stato suggerito da un altro studio, che ha evidenziato come l'integrazione di n-3 PUFA (1100 mg/die) rispetto al placebo favorisca un aumento significativo della VO<sub>2</sub>-max (+3,7 ml/kg per minuto) (Żebrowska et al., 2015). È stato anche riscontrato che gli omega-3 riducono la frequenza cardiaca sub-massimale e di picco, nonché la variabilità della frequenza cardiaca a riposo, il consumo di ossigeno durante l'esercizio, la resistenza vascolare sistemica e la pressione arteriosa diastolica (Buckley et al., 2009).

### **Morte improvvisa**

Arresto cardiaco e morte improvvisa si verificano con una frequenza di 1-3 casi su 100.000 atleti, di solito durante o entro 1-3 h dal termine dell'esercizio. È evidentemente importante il monitoraggio dei soggetti a maggior rischio cardiovascolare ma più di un caso su due di morte improvvisa si verifica in assenza di problemi cardiaci clinicamente evidenti. È stato osservato che l'assunzione di olio di pesce può avere un impatto favorevole nella prevenzione delle aritmie ventricolari, causa di morte improvvisa dell'atleta (Gammone et al., 2018).

### **Asma indotto dall'esercizio**

È stato identificato uno specifico fenotipo di asma negli atleti d'élite definito "asma sportivo", caratterizzato da sintomi respiratori e iperreattività bronchiale in assenza di manifestazioni di tipo allergico (Norqvist et al., 2015). Gli atleti di lunga durata (*endurance*) sono maggiormente esposti all'asma sportivo a causa dell'intensità dell'esercizio fisico, che richiede una respirazione intensa e profonda. Studi epidemiologici suggeriscono che l'integrazione di PUFA n-3 nella dieta possa avere effetti benefici sull'asma grazie all'azione anti-infiammatoria: in particolare, è stato osservato che l'integrazione giornaliera di EPA (3200 mg/die) e DHA (2000 mg/die) per 3 settimane riduce la concentrazione di eicosanoidi e di citochine proinfiammatorie nell'ospedaliero di pazienti asmatici. Un altro studio ha confrontato gli effetti di un farmaco antiasmatico ampiamente utilizzato con l'integrazione giornaliera di EPA (3200 mg/die) e DHA (2000 mg/die) in pazienti asmatici per 3 settimane, dimostrando che sia l'olio di pesce sia il farmaco risultavano efficaci nell'attenuare l'infiammazione delle vie aeree e la broncocostrizione indotta dall'iperpnea (Gammone et al., 2018).

### **Dolore articolare negli atleti**

Il dolore e le lesioni articolari sono condizioni estremamente comuni nella popolazione atletica. In particolare, gli atleti che praticano sport con movimenti di torsione delle articolazioni (tennis, calcio, pallavolo, sci alpino e altri ancora) o carichi elevati con impatto articolare (calcio, pallacanestro, corsa, pallamano, ecc.) sono più a rischio di subire tali danni (Vannini et al., 2016). È stata inoltre frequentemente descritta l'insorgenza di

osteoartrite precoce negli atleti, specialmente negli sport che comportano una rapida accelerazione/decelerazione istantanea con un impatto forte e continuo sulle articolazioni (*Otsuki et al., 2016*). Sono riportate in letteratura evidenze che correlano il dolore articolare a livello cellulare all'infiltrazione di cellule mediatiche dell'infiammazione e alla produzione di citochine ed eicosanoidi, con successivo aumento della vasodilatazione e della permeabilità vascolare, rilascio di molecole che favoriscono il danno cellulare e la comparsa di edema e dolore (*Calder, 2013a,b*): tali fattori peraltro influenzano negativamente la prestazione sportiva. In alcuni studi è stato osservato che i PUFA n-3, assunti sotto forma di olio di pesce (3 g/die), grazie alla loro azione antinfiammatoria, possono essere utili per promuovere e mantenere la salute delle articolazioni con riduzione dell'incidenza dell'artrite dal 93% al 69% (*Gammone et al., 2018*).

In generale, c'è un interesse crescente nello sviluppo di nutrienti e integratori che possono migliorare le prestazioni atletiche e il recupero muscolare. Gli ausili ergogenici aiutano a preparare un individuo all'esercizio, aumentare la capacità metabolica, ritardare l'insorgenza della fatica, migliorare l'ipertrofia muscolare e accorciare i periodi di recupero. A questo proposito, i PUFA n-3 sono stati recentemente considerati eccellenti integratori ergogenici, che contrastano non solo l'infiammazione indotta dall'esercizio ma migliorano anche la salute del muscolo e la disponibilità di energia. Essi esercitano un'azione di modulazione della permeabilità e sensibilità delle membrane cellulari all'insulina rendendo le cellule muscolari più permeabili ai nutrienti quali glucosio e aminoacidi, così producendo un miglioramento delle prestazioni sportive. Inoltre, la loro potenziale attività antinfiammatoria e antiossidante può fornire benefici per la salute e migliorare le prestazioni atletiche grazie alla maggiore produzione di ossigeno reattivo (*Gammone et al., 2018*). Un consumo adeguato di EPA e DHA è pari ad almeno 500 mg/die fino a 2 g/die: il consumo potrebbe anche aumentare a 3-5 g/die in funzione dell'intensità e della durata dello sforzo. Oltre all'EPA e al DHA, anche l'acido docosapentaenoico (DPA) potrebbe produrre effetti benefici di questo tipo (*Kang, 2011*).

È altresì da sottolineare come un alto rapporto n-6/n-3 sia una delle variabili primarie che limita l'effetto degli acidi grassi omega-3 (*Gammone et al., 2018*). La complessità dalla relazione tra gli omega-3 e gli omega-6 non è semplicemente dovuta all'antagonismo nei processi metabolici ma anche agli effetti differenti degli acidi grassi all'interno di ogni sottoclasse (eicosanoidi, prostanoidi, trombossani, ecc.). Ulteriori studi dovrebbero mettere a fuoco l'interazione tra n-3 e n-6 e l'impatto di questi ultimi sul metabolismo dell'atleta.

**Tabella 1** Relazione tra intensità della corsa, potenza lipidica e consumo di grassi (la linea evidenziata indica il punto della massima potenza lipidica)

Velocità	Potenza lipidica	Energia utilizzata dai grassi	% kcal utilizzate dai grassi sul totale	Tempo di percorrenza per 5000 m	Energia spesa dai grassi in 40'	Quantità di grassi consumati
(km/h)	(kcal/min)	(kcal)	(%)	(minuti)	(kcal)	(grammi)
5,0	5,0	300,0	66,67	60,0	200	22,22
6,0	6,3	315,0	70,00	50,0	252	28,00
7,0	8,0	342,9	76,19	42,86	320	35,56
8,0	8,7	326,3	72,50	37,50	348	38,67
9,0	10,4	346,7	77,04	33,33	416	46,22
10,0	10,9	327,0	72,67	30,00	436	48,44
11,0	12,0	327,3	72,73	27,27	480	53,33
12,0	11,8	295,0	65,56	25,00	472	52,44
13,0	9,0	207,7	46,15	23,08	360	40,00
14,0	6,0	128,6	28,57	21,43	240	26,67
14,8	2,0	40,5	9,01	20,27	80	8,89

Modificata da Rapoport (2010).

## Bibliografia

56

- Buckley JD, Burgess S, Murphy KJ, Howe PR. DHA-rich fish oil lowers heart rate during submaximal exercise in elite Australian Rules footballers. *J Sci Med Sport* 2009; 12: 503-507.
- Calder PC. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and inflammatory processes: nutrition or pharmacology? *Brit J Clin Pharmacol* 2013a; 75: 645-662.
- Calder PC. n-3 fatty acids, inflammation and immunity: new mechanisms to explain old actions. *Proc Nutr Soc* 2013b; 72: 326-336.
- Collins J, Maughan RJ, Gleeson M, Bilsborough J, Jeukendrup A, Morton JP, Phillips SM, Armstrong L, Burke LM, Close GL, Duffield R, Larson-Meyer E, Louis J, Medina D, Meyer F, Rollo I, Sundgot-Borgen J, Wall BT, Boulosa B, Dupont G, Lizarraga A, Res P, Bizzini M, Castagna C, Cowie CM, D'Hooghe M, Geyer H, Meyer T, Papadimitriou N, Vouillamoz M, McCall A. UEFA expert group statement on nutrition in elite football. Current evidence to inform practical recommendations and guide future research. *Brit J Sport Med* 2021; 55: 416.
- Gammone MA, Riccioni G, Parrinello G, D'Orazio N. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids: Benefits and Endpoints in Sport. *Nutrients* 2018; 11: 46.
- Hawley JA, Brouns F, Jeukendrup A. Strategies to enhance fat utilisation during exercise. *Sports Med* 1998; 25: 241-257.
- Jang L-G, Choi G, Kim S-W, Kim B-Y, Lee S, Park H. The combination of sport and sport-specific diet is associated with characteristics of gut microbiota: an observational study. *J Int Soc Sport Nutr* 2019; 16: 21.
- Jeromson S, Gallagher IJ, Galloway SDR, Hamilton DL. Omega-3 Fatty Acids and Skeletal Muscle Health. *Mar Drugs* 2015; 13: 6977-7004.
- Kang JX. Omega-3: A link between global climate change and human health. *Biotechnol Adv* 2011; 29: 388-390.
- Kerksick CM, Wilborn CD, Roberts MD, Smith-Ryan A, Kleiner SM, Jäger R, Collins R, Cooke M, Davis JN, Galvan E, Greenwood M, Lowery LM, Wildman R, Antonio J, Kreider RB. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *J Int Soc Sport Nutr* 2018; 15: 38.
- Kim J, Park J, Lim K. Nutrition supplements to stimulate lipolysis: a review in relation to endurance exercise capacity. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)* 2016; 62: 141-161.
- Miller SL, Wolfe RR. Physical exercise as a modulator of adaptation to low and high carbohydrate and low and high fat intakes. *Eur J Clin Nutr* 1999; 53(Suppl. 1): S112-S119.
- Murray R, Horswill CA. Nutrient requirement for competitive sports. In Wolinsky I. *Nutrition in Exercise and Sport*. 3rd Edition. CRC Press, 1998.
- Nikolaidis PT, Veniamakis E, Rosemann T, Knechtle B. Nutrition in Ultra-Endurance: State of the Art. *Nutrients* 2018; 10: 1995.
- Norqvist J, Eriksson L, Söderström L, Lindberg A, Stenfors N. Self-reported physician-diagnosed asthma among Swedish adolescent, adult and former elite endurance athletes. *Asthma* 2015; 52: 1046-1053.
- Otsuki S, Nakajima M, Okamoto Y, Oda S, Hoshiyama Y, Iida G, Neo M. Correlation between varus knee malalignment and patellofemoral osteoarthritis. *Knee Surg Sport Tr A*. 2016; 24: 176-181.
- Purdom T, Kravitz L, Dokladny K, Mermier C. Understanding the factors that effect maximal fat oxidation. *J Int Soc Sport Nutr* 2018; 15: 3.
- Rapoport BI. Metabolic Factors Limiting performance in Marathon Runners. *PLoS Comput Biol* 2010; 6: e1000960.
- Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, Wolfe RR. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol* 1993; 265(3 Pt 1): E380-E391.
- SINU, Società Italiana di Nutrizione Umana. LARN-Livelli di Assunzione di Riferimento di Nutrienti ed energia per la popolazione italiana. V Revisione 2024. Milano: Biomedia Editore, 2024.

- Smith GI, Julliard S, Reeds DN, Sinacore DR, Klein S, Mittendorfe B. Fish oil-derived n-3 PUFA therapy increases muscle mass and function in healthy older adults. *Am J Clin Nutr* 2015; 102: 115-122.
- Spriet LL. New Insights into the Interaction of Carbohydrate and Fat Metabolism During Exercise. *Sports Med* 2014; 44 (Suppl 1): 87-96.
- Steffl M, Kinkorova I, Kokstejn J, Petr M. Macronutrient Intake in Soccer Players. A Meta-Analysis. *Nutrients* 2019; 11(6): 1305.
- Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *J Acad Nutr Diet* 2016; 116: 501-528. Erratum in: *J Acad Nutr Diet*. 2017;117:146.
- Vannini F, Spalding T, Andriolo L, Berruto M, Denti M, Espregueira-Mendes J, Mentreyn J, Peretti GM, Seil R, Filardo G. Sport and early osteoarthritis: The role of sport in aetiology, progression and treatment of knee osteoarthritis. *Knee Surg Sport Tr A* 2016; 24: 1786-1796.
- Żebrowska A, Mizia-Stec K, Mizia M, Gąsior Z, Poprzęcki S. Omega-3 fatty acids supplementation improves endothelial function and maximal oxygen uptake in endurance-trained athletes. *Eur J Sport Sci* 2015; 15: 305-314.



# Proteine

Il fabbisogno di proteine per lo sportivo è argomento storicamente controverso: nel suggerirne il consumo, anche tra gli scienziati e gli esperti di settore, vi sono stati approcci più entusiastici, oppure più prudenti. Le proteine hanno sempre costituito, nell'alimentazione degli sportivi, il nutriente più ricercato; tra le varie fonti proteiche sono le proteine di origine animale, ed in particolare la carne (sia essa bianca, rossa o di pesce), a rappresentare storicamente l'alimento a cui viene associato un beneficio per la massa muscolare. Tutto ciò trova radici profonde, culturali e sociali, fin dai primi tentativi di trasferire conoscenze scientifiche al complesso mondo dello sport. In tal senso, può essere utile ricordare come molta dell'importanza attribuita alle carni nell'alimentazione degli atleti derivi dagli studi effettuati dal ricercatore tedesco von Liebig, nel corso del XIX secolo, in base ai quali era stato ipotizzato un ruolo preminente delle proteine come substrato energetico durante il lavoro muscolare: “*La contrazione de’ muscoli sviluppa del calore, ciò è vero, ma la causa primitiva di questo sviluppo di calore, di questo movimento, è necessariamente la metamorfosi chimica della sostanza de’ muscoli contratti*” (von Liebig, 1843). Successivamente, già a partire dalla fine dell'Ottocento (von Pettenkofer e Voit, 1866) e agli inizi del secolo scorso (Christensen e Hansen, 1939), la funzione energetica delle proteine, anche durante la prestazione sportiva, è stata ampiamente ridimensionata, facendo emergere, viceversa, l'importanza in tal senso dei carboidrati e dei lipidi (Wolinsky, 1997). Il ruolo delle proteine rimane bensì cardinale nell'ambito della nutrizione sportiva, anche se si osservano interpretazioni preoccupanti, considerando la notevole diffusione dell'utilizzo di integratori proteici anche tra atleti adolescenti (Whitelocke e Lawlis, 2017). L'anabolismo muscolare viene frequentemente considerato dallo sportivo connesso prevalentemente all'apporto proteico, e non allo stato di nutrizione nel suo complesso; l'auto-gestione della dieta sulla base di presupposti scorretti difficilmente porta al raggiungimento degli obiettivi preposti. Anche se l'apporto proteico può supportare la sintesi di glicogeno e migliorare la sintesi proteica muscolare (Tipton et al., 2001), non vi è evidenza attraverso studi scientifici ben controllati che l'assunzione di proteine di per sé possa migliorare le prestazioni atletiche (van Essen e Gibala, 2006; Ivy et al., 2003). Per queste motivazioni è di particolare rilievo trattare quali siano i fabbisogni raccomandati dalla recente letteratura scientifica, evitando esagerazioni che possano interferire anche con la salute dell'atleta (Karlund et al., 2019).

## PROTEINE E ATTIVITÀ SPORTIVA

L'apporto proteico influenza l'esercizio fisico, fungendo sia da stimolo che da substrato per la sintesi di proteine (anche con funzione contrattile); esso ha un ruolo nel metabolismo muscolare (Phillips, 2012), così come di stimolo nei cambiamenti strutturali in tessuti diversi dal muscolo quali tendini (Miller et al., 2005) ed ossa (Babraj et al., 2002). In un soggetto adulto di 70 kg il turnover proteico corrisponde, in media, a circa 280 g/die (SINU, 2024), ed è legato sia alla quota di aminoacidi introdotti con le proteine alimentari sia alla quota connessa al catabolismo proteico; in un atleta può coprire fino al 20% dell'intero metabolismo basale, riducendosi poi con l'età (Maughan e Gleeson, 2010). In condizioni di riposo prevalgono i processi metabolici di tipo anabolico (con il 75% degli aminoacidi impiegato per la sintesi di nuove proteine) rispetto ai proces-

si ossidativi (25% degli aminoacidi) che portano alla produzione di ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ) e anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ), poi eliminate attraverso il ciclo dell'urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ). Pur con notevoli differenze tra i diversi tipi di esercizio, va evidenziato che durante l'attività fisica si riduce la quota di aminoacidi destinati alla fase anabolica, anche per l'aumento del cortisolo prodotto dai surreni (Hill *et al.*, 2008) e per l'azione catabolica propria degli ormoni glucocorticoidi (Hasselgren, 1999), nonché per la minore disponibilità di glicogeno muscolare e glucosio ematico impiegati nella produzione di energia. Nel complesso, durante l'esercizio fisico intenso aumentano i processi catabolici, e pertanto si verifica un incremento dei processi di degradazione delle proteine tessutali. Dopo l'esercizio fisico intenso aumenta in modo pulsatile la produzione di mRNA, il che facilita la sintesi delle corrispettive proteine, provocando un graduale e strutturale rimodellamento del muscolo, con le relative modifiche funzionali nel lungo termine (Perry *et al.*, 2010). Un ruolo chiave nella regolazione della sintesi proteica, dipendente dallo stato di nutrizione, lo svolge il complesso proteico chiamato "mTORC1" (target della rapamicina del complesso 1 nei mammiferi) (Kim *et al.*, 2002); i segnali forniti da mTORC1 possono controllare la sintesi proteica muscolare in seguito all'assunzione di proteine, provocandone un aumento significativo (Atherton *et al.*, 2010).

Un atleta che si allenì con continuità (9-10 mesi l'anno e anche più), regolarità (almeno un allenamento al giorno per 5-7 giorni la settimana, 2-3 ore per seduta di allenamento) e buona intensità, ha un fabbisogno proteico maggiore rispetto alla PRI (*population reference intake*, assunzione raccomandata per la popolazione) indicata per la popolazione adulta generale, pari a 0,9 g/kg peso corporeo (p.c.) pro die (SINU, 2024).

L'esercizio di potenza fa aumentare il turnover proteico a livello muscolare stimolando sia la sintesi che la degradazione delle proteine, la prima in misura maggiore della seconda quando vi sono le condizioni per l'anabolismo muscolare; l'entità di entrambe dipende dal tempo di recupero dopo la seduta e dal grado di allenamento, che può condizionare in maniera positiva il bilancio di azoto (Matsuda *et al.*, 2018). Anche l'esercizio di endurance (aerobico e di lunga durata) ha un effetto significativo sul metabolismo proteico, aumentando l'ossidazione di alcuni aminoacidi, quali ad esempio quelli ramificati (BCAA, *branched chain aminoacids*: leucina, isoleucina e valina); poiché si tratta di aminoacidi essenziali, essi possono essere ripristinati solo attraverso un aumento dell'assunzione delle fonti proteiche che li contengono (Jeukendrup e Gleeson, 2019), pena il catabolismo muscolare. L'apporto proteico deve anche garantire la possibilità di riparare o sostituire le proteine danneggiate dallo stress sia meccanico che ossidativo, di rimodellare le proteine presenti in muscoli, tendini e ossa sulla base delle necessità meccaniche richieste dalla specifica disciplina sportiva/attività fisica praticata, e di mantenere una funzione ottimale di tutte le vie metaboliche particolarmente utilizzate durante il lavoro muscolare (Phillips, 2012). Le ricerche relative al bilancio azotato sono state utili per determinare i fabbisogni proteici e prevenire le carenze in soggetti sedentari; tuttavia gli atleti non corrispondono a questo profilo, avere un bilancio azotato non in perdita è quasi scontato per un atleta, il cui obiettivo è quello dell'adattamento all'allenamento, del miglioramento della composizione corporea e soprattutto delle prestazioni. L'attuale strategia utilizzata dai ricercatori per stabilire le raccomandazioni relative all'assunzione di proteine negli atleti ha dunque obiettivi diversi rispetto a quelli relativi alle raccomandazioni per la popolazione. In linea generale, possiamo sostenere che quanto più è elevata la quantità di energia fornita con la dieta, tanto minore è la quantità di proteine necessarie per raggiungere un bilancio azotato in pareggio o positivo (Bergström *et al.*, 1993). Per quegli atleti più severamente impegnati e soprattutto in tutti quelli che necessitano di un incremento della massa muscolare, come avviene negli sport di potenza, il bilancio

d'azoto deve risultare positivo durante le fasi della preparazione che prevedano l'anabolismo muscolare, vale a dire in cui la quantità di azoto introdotto deve essere superiore a quella eliminata. Al contrario ogni condizione di bilancio azotato negativo indica una perdita di massa muscolare, situazione che un atleta in linea di principio dovrebbe evitare. Una tematica rilevante nel determinare il fabbisogno proteico nell'atleta va oltre il ragionamento relativo al raggiungimento del bilancio azotato, e riguarda i vantaggi che l'assunzione di una quota proteica aggiuntiva possa avere in base alle molteplici funzioni che le proteine esercitano in chi pratica regolarmente attività fisica.

## Ruolo delle proteine nella produzione di energia

Oltre al ruolo plastico ed enzimatico, diversi autori hanno evidenziato che le proteine possono arrivare a soddisfare fino al 10-15% dell'impegno energetico totale, provenendo anche da fegato e intestino (*Wasserman et al., 1991; Williams et al., 1996*) e in misura maggiore in caso di atleti con riserve di glicogeno scarse/esaurite (*Horton et al., 1998; Wagenmakers et al., 1991*). Il flusso di aminoacidi liberi durante l'esercizio riflette l'attività metabolica di sintesi "de novo", attraverso i processi di transaminazione, deaminazione, ossidazione e catabolismo di specifici aminoacidi: alanina, aspartato, glutammina, glutammato e i BCAA contribuiscono alla produzione energetica nel tessuto muscolare (*Gibala, 2006*), mentre altri aminoacidi contribuiscono alla gluconeogenesi solo durante attività prolungate (*Ahlborg et al., 1974*). Il ciclo glucosio-alanina (ciclo di Cahill) è uno dei più rilevanti in questo senso, arrivando a coprire quote significative del fabbisogno energetico dell'atleta in determinate condizioni (*Paul, 1989*). Anche i BCAA possono avere un ruolo nella produzione di energia, in particolare la leucina, attraverso l'ossidazione degli aminoacidi stessi, che tuttavia hanno una via metabolica limitata e saturabile, dovuta dalla presenza nel tessuto muscolare dello specifico complesso enzimatico  $\alpha$ -chetoacido deidrogenasi a catena ramificata (*Shimomura et al., 2004*). Si ritiene che alcune reazioni di adattamento del muscolo all'esercizio fisico avvengano proprio attraverso la stimolazione della sintesi proteica dovuta all'aumento della concentrazione di leucina nel tessuto muscolare (*Churchward-Venne et al., 2012*). Sono stati osservati miglioramenti nel recupero muscolare attraverso la riduzione del danno indotto dall'esercizio e la promozione della sintesi di proteine necessarie al turn-over nel tessuto muscolare; in un numero limitato di studi è stato riportato un aumento delle prestazioni in seguito alla integrazione con BCAA (*Negro et al., 2008; Bifari e Nisoli, 2017*). I BCAA possono essere assunti in quote sufficienti al fabbisogno sportivo consumando alimenti che li contengono naturalmente all'interno delle rispettive proteine, e non necessariamente e soltanto attraverso l'uso di quegli integratori che li hanno resi popolari presso gli sportivi.

## Stima dei fabbisogni

Anche quando l'anabolismo muscolare non è il primo obiettivo, esiste sufficiente razionale per suggerire agli atleti un'assunzione di proteine maggiore rispetto alla popolazione, ad esempio per migliorare l'adattamento metabolico all'allenamento (*Phillips e van Loon, 2011*). Studi in merito alla risposta ad allenamenti di potenziamento muscolare hanno mostrato un aumento della sintesi proteica muscolare in seguito a una singola sessione di esercizi per almeno 24 ore, con un aumento nella sensibilità ed efficacia del consumo di alimenti proteici in tale periodo (*Burd et al., 2011*). Apporto energetico e apporto proteico sono tra loro strettamente correlati in quanto un ridotto apporto energetico può provocare un incremento del fabbisogno proteico, così come una buona disponibilità di car-

boidrati favorisce il risparmio dell'utilizzo di proteine come substrato energetico durante l'esercizio (Rodriguez *et al.*, 2007). Atleti che si sottopongono ad allenamenti intensi arrivano facilmente a un fabbisogno energetico di 3000-5000 kcal/die: se dovessimo applicare a questi le stesse indicazioni valide per la popolazione generale, cioè un RI (*reference intake range for macronutrients*, intervallo di riferimento per l'assunzione di macronutrienti) = 12-20% dell'energia totale della dieta (SINU, 2024), avremmo un'assunzione di proteine compresa tra 120 e 200 g/die, quantità sufficiente per la maggior parte degli atleti. Queste semplici considerazioni fanno intendere come una alimentazione ben strutturata, secondo i canoni forniti dai LARN, si adatti anche a coprire esigenze particolari quali quelle degli sportivi: l'incremento dell'apporto proteico avviene proporzionalmente rispetto al maggior fabbisogno energetico (**Tabella 1**). Un esempio concreto è fornito da alcuni dati raccolti in ciclisti partecipanti al Tour de France, nei quali l'apporto proteico fornito dalla dieta risultava pari al 12% dell'apporto energetico quotidiano (pari a 26 MJ - 6214 kcal): tale apporto corrispondeva a 2,5 g/kg di p.c. pro die, valore raggiunto senza l'ausilio di integratori (Jeukendrup e Gleeson, 2019).

Coerentemente con i dati forniti dai LARN, anche l'ultimo documento di consenso dell'"American College of Sports Medicine" insieme all'"Academy of Nutrition and Dietetics" e a "Dietitians of Canada" riporta che, nell'atleta, l'apporto proteico necessario per supportare l'adattamento metabolico, i processi di riparazione, il rimodellamento, e il turnover proteico di solito corrisponde a valori che possono raggiungere i 2 g/kg di p.c. pro die (Thomas *et al.*, 2016). Questo limite, che rappresenta l'indicazione massima per gli atleti con apporto energetico adeguato, non va però confuso con il miglior obiettivo possibile, ed è da considerare solo in alcune condizioni peculiari; tale limite è condiviso in molte pubblicazioni scientifiche ed anche nel recente documento ministeriale "Dieta iperproteica e dieta ipoglucidica, il punto tra suggestioni e realtà", derivato dalla collaborazione tra varie società scientifiche italiane di nutrizione (Ministero della Salute, 2021). Un aumento dell'assunzione fino a 2 g/kg di p.c. può essere utile in atleti in cui l'attività fisica è intensa, oppure in atleti con meno anni di pratica sportiva intensa in cui si voglia incrementare l'adattamento e la massa muscolare funzionali all'attività praticata (**Tabella 1**). I livelli più elevati di apporto proteico, ovvero tra 1,5 e 2 g/kg di p.c., sono da riservare a quegli atleti che si sottopongono a carichi di lavoro particolarmente elevati, sia per quantità che per intensità (Potgieter, 2013; Thomas *et al.*, 2016; Jäger *et al.*, 2017). Livelli fino a 2 g/kg di p.c. sono ritenuti sicuri anche dall'EFSA (2012), ma, in termini di fabbisogno per lo sportivo, sono utili solo nei periodi effettivi di intenso lavoro, e sono destinati ad essere poi rimodulati coerentemente con l'intensità effettiva del lavoro svolto. I livelli massimi di assunzione sono anche in linea con quanto raccomandato nelle pubblicazioni ufficiali del Comitato Olimpico Internazionale, che parlano di un range di 1,2-1,6 g/kg di p.c. pro die, a cui si possono aggiungere 20-25 g nella fase di recupero successiva agli allenamenti più intensi (che, in un individuo del peso di 70 kg, corrisponde a un massimo di 2 g/kg di p.c.) (IOC, 2012; Maughan, 2014). Nel merito si osserva come le linee guida dell'esercito americano per i soldati impegnati in azioni di combattimento si allineano a quelle considerate per gli atleti sottoposti ad intensi carichi di lavoro, e suggeriscono apporti proteici da 1,5 fino a 2 g/kg p.c.; valori che scendono a 0,8-1,5 g quando il militare non è impegnato in azioni di guerra (Pasiakos *et al.*, 2013).

Va detto che non vi sono dati sulla tollerabilità nel medio-lungo periodo di diete con carichi proteici elevati, per cui è prudente limitarli al periodo in cui effettivamente i volumi di lavoro e l'intensità sono tali da giustificare tali incrementi, e usare ancora maggior cautela in sportivi con funzionalità renale non ottimale (Juraschek *et al.*, 2013;

*Marckmann et al., 2015).* Anche negli atleti “Master”, si considerano valide le indicazioni date, in quanto un muscolo ben allenato ha caratteristiche simili a quelle di un atleta più giovane, sia in termini di risposta fisiologica all'esercizio fisico che di metabolismo proteico (*Moore, 2021*).

Frequentemente, anche coloro che praticano l'esercizio fisico a solo scopo salutistico (2-3 sedute settimanali di allenamento di circa 60 minuti) e gli sportivi amatoriali (3-4 allenamenti settimanali ma con carichi e volumi di lavoro non particolarmente elevati), per quanto impegnati in eventi competitivi, ritengono erroneamente di avere fabbisogni proteici significativamente maggiori rispetto alla popolazione generale: al contrario, è opinione condivisa a livello scientifico che sia per lo più sufficiente l'apporto suggerito per la popolazione generale, ovvero il 12-20% dell'energia totale della dieta (*Bauer et al., 2013; SINU, 2024*). I dati di consumo di proteine nella popolazione italiana adulta (*Mistura et al., 2025*) riportano un valore mediano pari al 16% dell'energia assunta nella giornata, corrispondente a 1,1 g/kg di p.c. (**Tabella 1**). I valori massimi del range di riferimento 12-20% relativo alla percentuale di energia si raggiungono di solito in condizioni di restrizione calorica, ad esempio quando si desideri un calo ponderale; in questi casi la riduzione dell'energia assunta causa, a parità quantitativa di apporto proteico, un aumento percentuale dell'energia fornita dalle proteine. Quando la quota proteica sale è bene che essa sia rappresentata soprattutto da proteine di origine vegetale (es. legumi) il cui consumo è associato ad una minore mortalità generale e ad un miglioramento degli outcome di salute soprattutto relativi alle malattie cardiovascolari (*Huang et al., 2020*).

Per gli sportivi amatoriali che praticano regolarmente un'attività fisica di maggiore intensità, può essere nondimeno ragionevole un modesto incremento dell'assunzione minima di riferimento, fino a 1,2 g/kg di p.c. pro die per le medesime motivazioni per le quali esso risulta utile nell'atleta: naturalmente, considerando che il dispendio energetico di uno sportivo amatoriale è certamente più basso rispetto a quello dell'atleta, saranno sufficienti incrementi in quantità proporzionalmente minore e non tali da dover cambiare significativamente le proprie abitudini alimentari. In questi casi, un ulteriore incremento dell'apporto proteico, inappropriato rispetto all'attività svolta, contribuirebbe a generare un surplus energetico e a favorire un deposito di grassi: infatti, indipendentemente dalla fonte, quindi anche se la fonte è proteica, qualsiasi eccessiva assunzione di energia si traduce nel nostro organismo nell'accumulo di tessuto adiposo (*Del Mar Bibiloni et al., 2015*).

## Modalità di assunzione e condizioni particolari

Gli apporti proteici ritenuti idonei a soddisfare i fabbisogni della maggior parte degli atleti delle varie discipline sportive sono realizzabili, nella gran parte dei casi, con la normale alimentazione, senza necessità di ricorrere a specifici prodotti dietetici costituiti da proteine o singoli aminoacidi. Apporti proteici superiori a 2 g/kg di p.c. non portano a ulteriori vantaggi ai fini dell'aumento delle masse muscolari (anabolismo) e/o della prestazione sportiva: infatti la sintesi proteica non ha una correlazione lineare con l'apporto alimentare di proteine, ma raggiunge un plateau, motivo per il quale non è raccomandabile un'assunzione che ecceda le reali esigenze dello sportivo (*Mazzulla et al., 2020*). È da ricordare che, nel momento in cui il bilancio energetico è negativo, anche un incremento dell'assunzione proteica fino ai 2 g/kg di p.c. non è in grado di limitare la perdita di massa muscolare in individui sottoposti ad intensi carichi di lavoro (*Margolis et al., 2016*).

Nel caso di infortunio che provochi una improvvisa sospensione dell'attività fisica dell'atleta, mantenere apporti proteici elevati, distribuiti nel corso della giornata, può essere vantaggioso per prevenire la conseguente perdita di massa muscolare (*Wall et al., 2015; Papadopoulou, 2020*), tuttavia sono necessari ulteriori studi per chiarire i fabbisogni ottimali in questo momento peculiare per l'atleta.

Oltre alla quantità complessiva dell'apporto proteico, è utile considerarne anche la distribuzione nel corso della giornata, preferibilmente almeno nei 3 pasti principali, soprattutto per quanto riguarda le proteine di maggiore qualità (*Jäger et al., 2017; Aoyama et al., 2021*). Diversi autori ritengono importante che ognuno dei 3 pasti principali apporti circa 0,4 g di proteine/kg di p.c. al fine di un loro utilizzo ottimale (*Areta et al., 2013*). In molti studi è stato osservato che l'adattamento muscolare all'allenamento e la sintesi proteica muscolare possono essere migliorati assumendo 0,25-0,3 g/kg di p.c. da 0 a 2 ore dopo le sessioni di allenamento più intense, periodo chiamato anche “finestra anabolica” sulla base della particolare situazione metabolica osservata nel tessuto muscolare in questa fase (*Phillips, 2014; Churchward-Venne et al., 2020*): questa quota corrisponde ad un range di circa 15-25 g di proteine in atleti con caratteristiche antropometriche differenti (*Hartman et al., 2007; Beelen et al., 2010*). L'assunzione di tale quota proteica potrà avvenire in uno dei pasti principali, se il pasto verrà consumato 0-2 ore dopo l'attività fisica, oppure durante uno degli spuntini tra i pasti: in questo secondo caso sarà necessario prestare particolare attenzione in quanto non è immediato incorporare tale quota proteica in uno spuntino. Recentemente, uno studio particolarmente sofisticato, condotto utilizzando aminoacidi con quadrupla marcatura isotopica, avrebbe dimostrato come carichi proteici anche significativamente maggiori di 25 g possano essere utilizzati a fini anabolici quando assunti dopo l'allenamento (*Trommelen et al., 2023*). Sebbene le osservazioni sulla “finestra anabolica” non siano considerate conclusive (*König et al., 2020*), esse trovano riscontro in diversi articoli e documenti scientifici di consenso American Dietetic Association, Dietitians of Canada, American College of Sports Medicine (*Thomas et al., 2016*). Al fine di ottimizzare la glicogenosintesi dopo l'allenamento, anche in occasione della “finestra anabolica” è utile associare alle proteine una quota di carboidrati, laddove le proteine da sole non sarebbero altrettanto efficaci in quanto verrebbero prevalentemente ossidate (*Rodriguez et al., 2007; Margolis et al., 2021*): dunque la quota proteica indicata è da intendersi come aggiuntiva – e non sostitutiva – rispetto ai carboidrati.

Alcuni autori e società scientifiche enfatizzano il ruolo degli spuntini nell'atleta, consigliando una distribuzione dell'apporto proteico ogni 3-5 ore, per evitare che l'organismo, non avendo a disposizione aminoacidi essenziali da fonti alimentari, sia costretto al catabolismo per ottenerli (*Moore et al., 2015; Kerksick et al., 2017*). Diversi autori hanno anche approfondito il ruolo dell'assunzione di proteine (in particolare di caseina) da 1 a 3 ore prima del riposo notturno, in considerazione del fatto che durante la notte avvengono diversi processi rigenerativi nel muscolo. Mentre evidenze preliminari, citate nel documento di consenso redatto dallo UEFA Expert Group, sono a supporto dell'assunzione di 0,4 g/kg di p.c. prima del riposo notturno al fine di migliorare l'adattamento muscolare in periodi di intenso allenamento (*Snijders et al., 2015; Anderson et al., 2017; Collins et al., 2021*), altri autori non hanno tuttavia riscontrato vantaggi nel consumo di significative quantità di proteine prima di coricarsi: per tali ragioni le conoscenze disponibili sono considerate non conclusive (*Reis et al., 2021; Valenzuela et al., 2023*). È opportuno ribadire che gli apporti proteici di cui sopra relativi alla finestra anabolica ovvero prima del riposo notturno non si aggiungono al

fabbisogno totale quotidiano stimato per l'atleta, ma ne fanno parte, nell'ottica di una ottimizzazione della sua distribuzione.

## Elementi di possibile criticità

### **Uso degli integratori proteici**

Le crescenti evidenze scientifiche in merito al ruolo delle proteine nell'alimentazione per lo sportivo, ma anche strategie di marketing in cui si arriva a proporre 3-5 g/kg di p.c. al giorno (Lemon, 1997; Jäger et al., 2017), hanno favorito il diffondersi di integratori proteici in polvere, prevalentemente a base di proteine da siero di latte, caseine, proteine da albumi d'uovo o dalla soia. Ricordiamo che la prima scelta in ambito nutrizionale è sempre quella di nutrirsi di alimenti; solo quando per vari motivi (es: praticità, gusto, carenza di appetito) non dovesse essere possibile raggiungere i livelli suggeriti con l'alimentazione normale, allora potrà essere di aiuto ricorrere all'integrazione. È da notare come, anche in contesti estremi, come nel caso di truppe militari durante fasi di combattimento, le linee guida dell'esercito americano suggeriscono di preferire, quando possibile, alimenti rispetto alle diverse forme di integrazione (Pasiakos et al., 2013).

A questo si aggiunge che frequentemente vengono assunte quote significative di integratori proteici senza conoscere il livello di assunzione raggiunto con la dieta: viceversa, il concetto stesso di "integrazione" prevede che si conosca il livello di assunzione di un nutriente per poter calcolare la quantità da integrare. È opinione condivisa, anche a livello del Comitato Olimpico Internazionale, che un'integrazione svolta senza idonee valutazioni possa causare più danni che benefici (IOC, 2018).

In alcuni sport l'atleta desidera migliorare il rapporto peso/potenza: questo accade in tutte le discipline in cui l'atleta deve muovere la propria intera massa corporea per diverso tempo al fine di competere, e in quelle in cui gli atleti gareggiano in specifiche categorie di peso (Stellingwerff et al., 2011). Alcuni atleti avvertono la pressione di dover raggiungere obiettivi stringenti in termini di peso e percentuale di massa grassa in periodi di tempo troppo brevi per consentire un adattamento funzionale (Sundgot-Borgen et al., 2013). A questo si aggiungono ragioni prettamente estetiche che hanno nella definizione delle masse muscolari il loro obiettivo, e trovano il loro acme in discipline quali il "body building". Queste ragioni sono sempre più rilevanti nel determinare le scelte alimentari da parte di una pluralità di atleti, con il rischio che esse evolvano in comportamenti ossessivi, fino allo sviluppo di tratti patologici quali il disturbo da dismorfismo corporeo (Phillips e Crino, 2001) o da dismorfismo muscolare (Cerea et al., 2018). A tal proposito è da ricordare come diverse diete commerciali, proposte dalla cosiddetta "diet industry" anche a soggetti sportivi, siano a basso tenore di carboidrati e/o di grassi, con un ruolo eccessivamente rilevante delle proteine rispetto a quanto raccomandato anche per gli sportivi.

### **Alimentazione a basso contenuto o priva di alimenti di origine animale**

Già da tempo fasce di popolazione sempre più ampie scelgono di ridurre significativamente il consumo di alimenti di origine animale (dieta flexitaria) oppure di eliminarne il consumo in parte (dieta vegetariana) o del tutto (dieta vegana). Queste scelte alimentari coinvolgono anche la popolazione sportiva a tutti i livelli e, a seconda del regime nutrizionale più o meno ristretto, sarà necessario valutare se ci possano essere potenziali rischi di carenze specifiche, tra le quali anche quelle nell'apporto proteico. Alcuni atleti possono scegliere una dieta vegetariana ipocalorica al fine di raggiungere determinate categorie di peso, per ottimizzare il rendimento biomeccanico (attività di lunga durata: corsa, ciclismo,

sci, nuoto di fondo, triathlon, ecc.) oppure per motivazioni estetiche: questa eventualità è più frequente, ma non esclusiva, nelle atlete di sesso femminile (Barr *et al.*, 2004).

Nelle diete in cui le fonti nutrizionali siano esclusivamente vegetali è importante considerare che le proteine in esse contenute sono qualitativamente differenti: le proteine di origine vegetale sono infatti caratterizzate dall'avere una minore digeribilità e una minore qualità rispetto a quelle di origine animale (minore PDCAAS - *Protein digestibility-corrected amino acid score*). Per questo motivo in tali casi si suggerisce un incremento del 5-10% dell'apporto proteico rispetto all'obiettivo raccomandato per l'atleta onnivoro (IOC, 2012; SINU, 2024).

È importante che l'atleta vegetariano o vegano riceva una idonea supervisione nutrizionale da parte di un professionista esperto in alimentazione sportiva, in quanto risultata particolarmente complicato orientarsi nella pluralità ed eterogeneità di informazioni oggi accessibili. È opportuno in generale per i vegetariani e i vegani utilizzare la maggiore varietà possibile di fonti proteiche compatibili con la propria scelta, così da sfruttare la complementarità delle differenti proteine presenti in cereali e legumi e ottimizzarne la qualità complessiva (Young *et al.*, 1994). Se alla scelta vegetariana dovesse seguire una perdita di peso significativa, ciò segnalerebbe un probabile deficit energetico, a causa del quale l'atleta non sarà in grado di metabolizzare al meglio le proteine assunte con la dieta. Nel caso in cui il calo di peso persista, oltre agli obiettivi considerati utili alle prestazioni sportive, è opportuno effettuare uno screening che valuti il comportamento alimentare ed eventuali disordini relativi, frequenti anche negli atleti (de Borja *et al.*, 2021).

**Tabella 1** Assunzione proteica raccomandata (PRI) per lo sportivo e l'atleta

	<b>g/kg di p.c. pro die</b>
Sportivo amatoriale (>18 anni)	0,9-1,2
Atleta (>18 anni)	1,2-1,5
Atleta durante periodi di intenso carico di lavoro (>18 anni)	1,5-2,0

p.c. = peso corporeo desiderabile

Modificata da Thomas et al (2016) e Jäger et al (2017).

## Bibliografia

68

- Ahlborg G, Felig P, Hagenfeldt L, Hendler R, Wahren J. Substrate turnover during prolonged exercise in man. Splanchnic and leg metabolism of glucose, free fatty acids, and amino acids. *J Clin Invest* 1974; 53: 1080-1090.
- Anderson L, Naughton RJ, Close GL, Di Michele R, Morgans R, Drust B, Morton JP. Daily Distribution of Macronutrient Intakes of Professional Soccer Players From the English Premier League. *Int J Sport Nutr Exe* 2017; 27: 491-498.
- Aoyama S, Kim HK, Hirooka R, Tanaka M, Shimoda T, Chijiki H, Kojima S, Sasaki K, Takahashi K, Makino S, Takizawa M, Takahashi M, Tahara Y, Shimba S, Shinohara K, Shibata S. Distribution of dietary protein intake in daily meals influences skeletal muscle hypertrophy via the muscle clock. *Cell Rep* 2021; 36: 109336.
- Areta JL, Burke LM, Ross ML, Camera DM, West DW, Broad EM, Jeacocke NA, Moore DR, Stellingwerff T, Phillips SM, Hawley JA, Coffey VG. Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis. *J Physiol* 2013; 591: 2319-2331.
- Atherton PJ, Etheridge T, Watt PW, Wilkinson D, Selby A, Rankin D, Smith K, Rennie MJ. Muscle full effect after oral protein: time-dependent concordance and discordance between human muscle protein synthesis and mTORC1 signaling. *Am J Clin Nutr* 2010; 92: 1080-1088.
- Babraj J, Cuthbertson DJ, Rickhuss P, Meier-Augenstein W, Smith K, Bohé J, Wolfe RR, Gibson JN, Adams C, Rennie MJ. Sequential extracts of human bone show differing collagen synthetic rates. *Biochem Soc Trans* 2002; 30: 61-65.
- Barr SI, Rideout CA. Nutritional considerations for vegetarian athletes. *Nutrition* 2004; 20: 696-703.
- Bauer J, Biolo G, Cederholm T, Cesari M, Cruz-Jentoft AJ, Morley JE, Phillips S, Sieber C, Stehle P, Teta D, Visvanathan R, Volpi E, Boirie Y. Evidence-based recommendations for optimal dietary protein intake in older people: a position paper from the PROT-AGE Study Group. *J Am Med Dir Assoc* 2013; 14: 542-559.
- Beelen M, Burke LM, Gibala MJ, van Loon LJC. Nutritional strategies to promote postexercise recovery. *Int J Sport Nutr Exe* 2010; 20: 515-532.
- Bergström J, Fürst P, Alvestrand A, Lindholm B. Protein and energy intake, nitrogen balance and nitrogen losses in patients treated with continuous ambulatory peritoneal dialysis. *Kidney Int* 1993; 44: 1048-1057.
- Bifari F, Nisoli E. Branched-chain amino acids differently modulate catabolic and anabolic states in mammals: a pharmacological point of view. *Brit J Pharmacol* 2017; 174: 1366-1377.
- Burd NA, West DW, Moore DR, Atherton PJ, Staples AW, Prior T, Tang JE, Rennie MJ, Baker SK, Phillips SM. Enhanced amino acid sensitivity of myofibrillar protein synthesis persists for up to 24 h after resistance exercise in young men. *J Nutr* 2011; 141: 568-573.
- Cerea S, Bottesi G, Pacelli QF, Paoli A, Ghisi M. Muscle Dysmorphia and its Associated Psychological Features in Three Groups of Recreational Athletes. *Sci Rep* 2018; 8: 8877.
- Christensen EH, Hansen O. Hypoglykämie, arbeitsfähigkeit und ermudung. *Skand Arch Physiol* 1939; 81: 172-179.
- Churchward-Venne TA, Pinckaers PJM, Smeets JSJ, Betz MW, Senden JM, Goessens JPB, Gijsen AP, Rollo I, Verdijk LB, van Loon LJC. Dose-response effects of dietary protein on muscle protein synthesis during recovery from endurance exercise in young men: a double-blind randomized trial. *Am J Clin Nutr* 2020; 112: 303-317.
- Churchward-Venne TA, Burd NA, Mitchell CJ, West DW, Philp A, Marcotte GR, Baker SK, Baar K, Phillips SM. Supplementation of a suboptimal protein dose with leucine or essential amino acids: effects on myofibrillar protein synthesis at rest and following resistance exercise in men. *J Physiol* 2012; 590(Pt 11): 2751-2765.
- Collins J, Maughan RJ, Gleeson M, Bilsborough J, Jeukendrup A, Morton JP, Phillips SM, Armstrong L, Burke LM, Close GL, Duffield R, Larson-Meyer E, Louis J, Medina D, Meyer F, Rollo I, Sundgot-Borgen J, Wall BT, Boullosa B, Dupont G, Lizarraga A, Res P, Bizzini M,

- Castagna C, Cowie CM, D'Hooghe M, Geyer H, Meyer T, Papadimitriou N, Vouillamoz M, McCall A. UEFA expert group statement on nutrition in elite football. Current evidence to inform practical recommendations and guide future research. *Brit J Sports Med* 2021; 55: 416.
- de Borja C, Holtzman B, McCall LM, Carson TL, Moretti LJ, Farnsworth N, Ackerman KE. Specific dietary practices in female athletes and their association with positive screening for disordered eating. *J Eat Disord* 2021; 9: 50.
- Del Mar Bilbiloni M, Tur JA, Morandi A, Tommasi M, Tomasselli F, Maffeis C. Protein Intake as a Risk Factor of Overweight/Obesity in 8- to 12-Year-Old Children. *Medicine (Baltimore)* 2015; 94: e2408.
- EFSA, European Food Safety Authority, NDA Panel (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for protein. *EFSA J* 2012; 10: 2557.
- Gibala MJ. Effect of Exercise on Skeletal Muscle Protein and Amino Acid Metabolism in Humans. In Hargreaves M & Spriet L (Eds). *Exercise Metabolism*. Champaign, IL, USA: Human Kinetics 2006; 137-162.
- Hartman JW, Tang JE, Wilkinson SB, Tarnopolsky MA, Lawrence RL, Fullerton AV, Phillips SM. Consumption of fat-free fluid milk after resistance exercise promotes greater lean mass accretion than does consumption of soy or carbohydrate in young, novice, male weightlifters. *Am J Clin Nutr* 2007; 86: 373-381.
- Hasselgren PO. Glucocorticoids and muscle catabolism. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 1999; 2: 201-205.
- Hill EE, Zack E, Battaglini C, Viru M, Viru A, Hackney AC. Exercise and circulating cortisol levels: the intensity threshold effect. *J Endocrinol Invest* 2008; 31: 587-591.
- Horton TJ, Pagliassotti MJ, Hobbs K, Hill JO. Fuel metabolism in men and women during and after long-duration exercise. *J Appl Physiol* (1985) 1998; 85: 1823-1832.
- Huang J, Liao LM, Weinstein SJ, Sinha R, Graubard BI, Albanes D. Association Between Plant and Animal Protein Intake and Overall and Cause-Specific Mortality. *JAMA Intern Med* 2020; 180: 1173-1184.
- IOC, International Olympic Committee Expert Group Statement on Dietary Supplements in Athletes. *Int J Sport Nutr Exe* 2018; 28: 102-103.
- IOC, International Olympic Committee. Nutrition Working Group of the International Olympic Committee. *Nutrition for Athletes. A practical guide to eating for health and performance*. Lausanne: Olympic World Library, 2012.
- Ivy JL, Res PT, Sprague RC, Widzer MO. Effect of a carbohydrate-protein supplement on endurance performance during exercise of varying intensity. *Int J Sport Nutr Exe* 2003; 13: 382-395.
- Jäger R, Kerksick CM, Campbell BI, Cribb PJ, Wells SD, Skwiat TM, Purpura M, Ziegenfuss TN, Ferrando AA, Arent SM, Smith-Ryan AE, Stout JR, Arciero PJ, Ormsbee MJ, Taylor LW, Wilborn CD, Kalman DS, Kreider RB, Willoughby DS, Hoffman JR, Krzykowski JL, Antonio J. International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise. *J Int Soc Sport Nutr* 2017; 14: 20.
- Jeukendrup A, Gleeson M. *Sport Nutrition*. Third Edition. Champaign, IL, USA: Human Kinetics, 2019; 193-194.
- Juraschek SP, Appel LJ, Anderson CA, Miller ER 3rd. Effect of a high-protein diet on kidney function in healthy adults: results from the OmniHeart trial. *Am J Kidney Dis* 2013; 61: 547-554.
- Kårlund A, Gómez-Gallego C, Turpeinen AM, Palo-Oja OM, El-Nezami H, Kolehmainen M. Protein Supplements and Their Relation with Nutrition, Microbiota Composition and Health: Is More Protein Always Better for Sportspeople? *Nutrients* 2019; 11: 829.
- Kerksick CM, Arent S, Schoenfeld BJ, Stout JR, Campbell B, Wilborn CD, Taylor L, Kalman D, Smith-Ryan AE, Kreider RB, Willoughby D, Arciero PJ, VanDusseldorp TA, Ormsbee MJ, Wildman R, Greenwood M, Ziegenfuss TN, Aragon AA, Antonio J. International society of sports nutrition position stand: nutrient timing. *J Int Soc Sport Nutr* 2017; 14: 33.
- Kim DH, Sarbassov DD, Ali SM, King JE, Latek RR, Erdjument-Bromage H, Tempst P, Sabatini DM. mTOR interacts with raptor to form a nutrient-sensitive complex that signals to the cell growth machinery. *Cell* 2002; 110: 163-175.

70

- König D, Carlsohn A, Braun H, Großhauser M, Lampen A, Mosler S, Nieß A, Schäbenthal K, Schek A, Stehle P, Virmani K, Ziegenhagen R, Heseker H. Position of the working group sports nutrition of the German Nutrition Society (DGE): Protein intake in sports. *Dtsch Z Sportmed* 2020; 71: 192-198.
- Lemon PWR. Dietary protein requirements in athletes. *J Nutr Biochem*. 1997; 8: 52-60.
- Marckmann P, Osther P, Pedersen AN, Jespersen B. High-protein diets and renal health. *J Ren Nutr* 2015; 25: 1-5.
- Margolis LM, Allen JT, Hatch-McChesney A, Pasiakos SM. Coingestion of Carbohydrate and Protein on Muscle Glycogen Synthesis after Exercise: A Meta-analysis. *Med Sci Sport Exer* 2021; 53: 384-393.
- Margolis LM, Murphy NE, Martini S, Gundersen Y, Castellani JW, Karl JP, Carrigan CT, Teien HK, Madslien EH, Mountain SJ, Pasiakos SM. Effects of Supplemental Energy on Protein Balance during 4-d Arctic Military Training. *Med Sci Sport Exer* 2016; 48: 1604-1612.
- Matsuda T, Kato H, Suzuki H, Mizugaki A, Ezaki T, Ogita F. Within-Day Amino Acid Intakes and Nitrogen Balance in Male Collegiate Swimmers during the General Preparation Phase. *Nutrients* 2018; 10: 1809.
- Maughan RJ (Editor). Sport Nutrition. Volume XIV of the Encyclopaedia of Sports Medicine - An IOC Medical Commission Publication. Chichester, UK: Wiley Blackwell, 2014.
- Maughan RJ, Gleeson M. The Biochemical Basis of Sports Performance. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press, 2010.
- Mazzulla M, Abou Sawan S, Williamson E, Hannaian SJ, Volterman KA, West DWD, Moore DR. Protein Intake to Maximize Whole-Body Anabolism during Postexercise Recovery in Resistance-Trained Men with High Habitual Intakes is Severalfold Greater than the Current Recommended Dietary Allowance. *J Nutr* 2020; 150: 505-511.
- Miller BF, Olesen JL, Hansen M, Døssing S, Crameri RM, Welling RJ, Langberg H, Flyvbjerg A, Kjaer M, Babraj JA, Smith K, Rennie MJ. Coordinated collagen and muscle protein synthesis in human patella tendon and quadriceps muscle after exercise. *J Physiol* 2005; 567(Pt 3): 1021-1033.
- Ministero della Salute, Direzione generale per l'igiene la sicurezza degli alimenti e la nutrizione - uff. 5, Tavolo tecnico sulla sicurezza nutrizionale. Dieta iperproteica e dieta ipoglucidica, il punto tra suggestioni e realtà. Data di pubblicazione: 1 dicembre 2021, ultimo aggiornamento 3 dicembre 2021.
- Mistura L, Le Donne C, D'Addazio L, Ferrari M, Comendador FJ, Piccinelli R, Martone D, Sette S, Catasta G, Turrini A, IV SCAI field work team. The Italian IV SCAI dietary survey: Main results on food consumption. The Italian IV SCAI dietary survey: Main results on food consumption. *NMCD* 2025; 103863.
- Moore DR, Phillips SM, Slater G. Protein. In: Deakin V, Burke L, eds. Clinical Sports Nutrition. 5th ed: McGraw-Hill Education, 2015: 94-113.
- Moore DR. Protein Requirements for Master Athletes: Just Older Versions of Their Younger Selves. *Sports Med* 2021; 51(Suppl 1): 13-30.
- Negro M Giardina S, Marzani B, Marzatico F. Branched-chain amino acid supplementation does not enhance athletic performance but affects muscle recovery and the immune system. *J Sport Med Phys Fit* 2008; 48: 347-351.
- Papadopoulou SK. Rehabilitation Nutrition for Injury Recovery of Athletes: The Role of Macronutrient Intake. *Nutrients* 2020; 12: 2449.
- Pasiakos SM, Austin KG, Lieberman HR, Askew EW. Efficacy and safety of protein supplements for U.S. Armed Forces personnel: consensus statement. *J Nutr* 2013; 143: 1811S-1814S.
- Paul GL. Dietary protein requirements of physically active individuals. *Sports Med* 1989; 8: 154-176.
- Perry CG, Lally J, Holloway GP, Heigenhauer GJ, Bonen A, Spriet LL. Repeated transient mRNA bursts precede increases in transcriptional and mitochondrial proteins during training in human skeletal muscle. *J Physiol* 2010; 588(Pt 23): 4795-4810.
- Phillips KA, Crino RD. Body dysmorphic disorder. *Curr Opin Psychiatr* 2001; 14: 113-118.
- Phillips SM, van Loon LJC. Dietary protein for

- athletes: From requirements to optimum adaptation. *J Sport Sci* 2011; 29(Suppl 1): S29-S38.
- Phillips SM. Dietary protein requirements and adaptive advantages in athletes. *Brit J Nutr* 2012; 108(Suppl 2): S158-S167.
- Phillips SM. A brief review of critical processes in exercise-induced muscular hypertrophy. *Sports Med* 2014; 44 (Suppl 1): S71-S77.
- Potgieter S. Sport nutrition: A review of the latest guidelines for exercise and sport nutrition from the American College of Sport Nutrition, the International Olympic Committee and the International Society for Sports Nutrition. *SAJCN* 2013; 26: 6-16.
- Reis CEG, Loureiro LMR, Roschel H, da Costa THM. Effects of pre-sleep protein consumption on muscle-related outcomes - A systematic review. *J Sci Med Sport* 2021; 24: 177-182.
- Rodriguez NR, Vislocky LM, Gaine PC. Dietary protein, endurance exercise, and human skeletal-muscle protein turnover. *Curr Opin Clin Nutr* 2007; 10: 40-45.
- Shimomura Y, Murakami T, Nakai N, Nagasaki M, Harris RA. Exercise promotes BCAA catabolism: effects of BCAA supplementation on skeletal muscle during exercise. *J Nutr* 2004; 134(Suppl 6): 1583S-1587S.
- SINU, Società Italiana di Nutrizione Umana. LARN. Livelli di Assunzione di Riferimento di Nutrienti ed energia per la popolazione italiana. V Revisione 2024. Milano: Biomedia Editore.
- Snijders T, Res PT, Smeets JS, van Vliet S, van Kranenburg J, Maase K, Kies AK, Verdijk LB, van Loon LJC. Protein Ingestion before Sleep Increases Muscle Mass and Strength Gains during Prolonged Resistance-Type Exercise Training in Healthy Young Men. *J Nutr* 2015; 145: 1178-1184.
- Stellingwerff T, Maughan RJ, Burke LM. Nutrition for power sports: middle-distance running, track cycling, rowing, canoeing/kayaking, and swimming. *J Sport Sci* 2011; 29(Suppl 1): S79-S89.
- Sundgot-Borgen J, Meyer NL, Lohman TG, Ackland TR, Maughan RJ, Stewart AD, Müller W. How to minimise the health risks to athletes who compete in weight-sensitive sports review and position statement on behalf of the Ad Hoc Research Working Group on Body Composition, Health and Performance, under the auspices of the IOC Medical Commission. *Brit J Sport Med* 2013; 47: 1012-1022.
- Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *J Acad Nutr Diet* 2016; 116: 501-528. Erratum in: *J Acad Nutr Diet*. 2017; 117(1): 146.
- Tipton KD, Rasmussen BB, Miller SL, Wolf SE, Owens-Stovall SK, Petrini BE, Wolfe RR. Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise. *Am J Physiol-Endoc M* 2001; 281: E197-E206.
- Trommelen J, van Lieshout GAA, Nyakayiru J, Holwerda AM, Smeets JSJ, Hendriks FK, van Kranenburg JMX, Zorenc AH, Senden JM, Goessens JPB, Gijsen AP, van Loon LJC. The anabolic response to protein ingestion during recovery from exercise has no upper limit in magnitude and duration in vivo in humans. *Cell Rep Med* 2023; 4: 101324.
- Valenzuela PL, Alejo LB, Montalvo-Pérez A, Ojanguren D, Górriz M, Pagola I, Ozcoidi LM, Lucia A, Barranco-Gil D. Pre-sleep protein supplementation in professional cyclists during a training camp: a three-arm randomized controlled trial. *J Int Soc Sport Nutr* 2023; 20: 2166366.
- van Essen M, Gibala MJ. Failure of protein to improve time trial performance when added to a sports drink. *Med Sci Sport Exer* 2006; 38: 1476-1483.
- von Liebig J. Miscellanea contenente la chimica organica, applicata alla fisiologia animale ed alla patologia. Traduzione di Leonardo Dorothea e Pasquale La Cava. Napoli: Tipografia di Nunzio Pasca, 1843.
- von Pettenkofer M und Voit C. Untersuchungen über den stoffverbrauch des normalen menschen, *Zeitschrift für Biologie* 1866; 2: 489-494.
- Wagenmakers AJ, Beckers EJ, Brouns F, Kuipers H, Soeters PB, van der Vusse GJ, Saris WH. Carbohydrate supplementation, glycogen depletion, and amino acid metabolism

- during exercise. Am J Physiol 1991; 260(6 Pt 1): E883-E890.
- Wall BT, Morton JP, van Loon LJ. Strategies to maintain skeletal muscle mass in the injured athlete: nutritional considerations and exercise mimetics. Eur J Sport Sci 2015; 15: 53-62.
- Wasserman DH, Geer RJ, Williams PE, Becker T, Lacy DB, Abumrad NN. Interaction of gut and liver in nitrogen metabolism during exercise. Metabolism 1991; 40: 307-314.
- Whitehouse G, Lawlis T. Protein supplements and adolescent athletes: A pilot study investigating the risk knowledge, motivations and prevalence of use. Nutr Diet 2017; 74: 509-515.
- Williams BD, Wolfe RR, Bracy DP, Wasserman DH. Gut proteolysis contributes essential amino acids during exercise. Am J Physiol 1996; 270(1 Pt 1): E85-E90.
- Wolinsky I. Nutrition in Exercise and Sport. Third Edition. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 1997.
- Young VR, Pellett PL. Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. Am J Clin Nutr 1994; 59(Suppl 5): 1203S-1212S.

# Vitamine

Gli studi scientifici disponibili hanno ampiamente dimostrato gli effetti benefici delle vitamine per il mantenimento dello stato di salute, ma pochi di essi ne hanno messo in luce un valore ergogenico per gli atleti (*Weight et al., 1988; Van Der Beek, 1991; Fry et al., 2006; Gomes et al., 2011; Cobley e Marrin, 2012; de Oliveira et al., 2019; Zhang et al., 2023*).

## VITAMINE IDROSOLUBILI

Le vitamine del gruppo B sono fondamentali per la divisione cellulare (sintesi e riparazione di DNA, proteine RNA e fosfolipidi), il funzionamento del sistema immunitario, la risposta infiammatoria e alcune funzioni neurologiche (equilibrio dell'umore e della funzione cognitiva); inoltre, esse sono componenti essenziali dei neurotrasmettitori (*Mikkelsen e Apostolopoulos, 2018; Tardy et al., 2020*).

Tutte le vitamine del gruppo B (tranne i folati) sono coinvolte in diverse fasi della produzione di energia all'interno della cellula perché agiscono come coenzimi di reazioni enzimatiche e sono coinvolte nel metabolismo di carboidrati, proteine, lipidi, altre vitamine, minerali e farmaci (*Mikkelsen e Apostolopoulos, 2018; Jeukendrup e Gleeson, 2019; Tardy et al., 2020*). Per questa ragione una carenza di ciascuna delle vitamine del gruppo B potrebbe limitare la velocità della produzione di energia, con conseguenze metaboliche e di salute potenzialmente gravi; inoltre, essa potrebbe essere associata a una ridotta funzionalità muscolare, sarcopenia, anemia, disfunzione immunitaria, diminuzione della massa ossea e ridotta funzione cognitiva (*Aparicio-Ugarriza et al., 2019; Tardy et al., 2020*). Qui di seguito, saranno discussi gli studi, purtroppo non molto numerosi e controversi, sugli effetti ergogenici di ciascuna delle vitamine idrosolubili sull'esercizio fisico.

### Tiamina (Vitamina B<sub>1</sub>)

La tiamina svolge un ruolo importante nel metabolismo dei carboidrati in quanto è un coenzima della piruvato deidrogenasi, che stimola la conversione del piruvato in acetil-CoA. Essa si trova in alte concentrazioni nei nervi e nelle cellule muscolari ed è coinvolta nella generazione degli impulsi nervosi e della sintesi di neurotrasmettitori.

Una diminuzione della concentrazione di tiamina nella cellula riduce la biosintesi dell'ATP e provoca affaticamento: è stato riportato che, per questo motivo, una sua carenza potrebbe ridurre l'efficienza dei sistemi energetici (*Huang et al., 2018; Kerksick et al., 2018*). Per quanto sia stato ipotizzato che l'integrazione di tiamina migliori la soglia anaerobica e il trasporto di CO<sub>2</sub>, gli studi condotti fino ad ora non confermano questa ipotesi; così pure la tiamina non sembra influenzare la capacità di esercizio e la prestazione né negli sport di forza (*Choi et al., 2013*) né in quelli aerobici (*Tardy et al., 2020*), soprattutto negli atleti che hanno un apporto dietetico adeguato (*Choi et al., 2013; Huang et al., 2018; Kerksick et al., 2018; Jagim et al., 2023*).

### Riboflavina (Vitamina B<sub>2</sub>)

La riboflavina (vitamina B<sub>2</sub>) agisce come coenzima in diverse reazioni ed è un potente antiossidante in quanto previene la perossidazione lipidica e attenua il danno ossidativo da riperfusione. È coinvolta inoltre nel metabolismo energetico (ossidazione degli acidi

grassi e piruvato) e del ferro ed è anche implicata nella formazione della vitamina B<sub>3</sub> (niacina) nonché coenzima della vitamina B<sub>6</sub>.

Si ipotizza che essa possa aumentare la disponibilità di energia durante il metabolismo ossidativo, benché la disponibilità dietetica di riboflavina non sembra influenzare la capacità di esercizio quando l'apporto dietetico degli atleti è adeguato (*Kerksick et al., 2018*).

Uno studio polacco su 20 atleti dilettanti di canoa, nuoto e canottaggio, che hanno seguito diete dimagranti restrittive per 3 mesi senza integrazione multivitaminica, ha dimostrato che, con la sola assunzione di almeno 3 porzioni di latte e derivati al giorno, è possibile soddisfare il fabbisogno giornaliero di vitamina B<sub>2</sub>. In questo studio, l'aumento dell'attività fisica non ha portato alla riduzione della concentrazione plasmatica di riboflavina quando il suo consumo medio era pari ad almeno 2830 mg/die (*Szczuko et al., 2018*).

Sebbene pochi studi riportino dati favorevoli all'integrazione, uno studio ha valutato il livello di assunzione di vitamina B<sub>2</sub> e frequenza di sintomi che possano essere collegati ad affaticamento fisico (dolori e/o indolenzimento muscolare dopo un esercizio fisico prolungato) in 32 ultramaratoneti (80% uomini - gara di 161 km) che avevano assunto riboflavina (100 mg) o placebo poco prima dell'inizio della gara e di nuovo al raggiungimento dei 90 km. Le valutazioni del dolore muscolare e dell'indolenzimento durante e subito dopo la gara risultarono significativamente inferiori nel gruppo trattato con riboflavina. Inoltre, i tempi di recupero erano significativamente più veloci per il gruppo trattato con riboflavina (*Tardy et al., 2020*). In un altro studio più recente, è stato riportato che l'integrazione con vitamine del gruppo B (inclusa la vitamina B<sub>2</sub>), favorisce un miglioramento della prestazione e del recupero post esercizio (*Zhang et al., 2023*). In conclusione, ricordando anche lo studio di Jagim et al (2023) secondo il quale la disponibilità dietetica di riboflavina non sembra influenzare la capacità di esercizio quando gli atleti presentano un'assunzione adeguata, appaiono necessari ulteriori studi per confermare la possibile efficacia di un'integrazione mirata.

## Niacina (Vitamina B<sub>3</sub>)

La vitamina B<sub>3</sub> (niacina, acido nicotinico e nicotinamide) è precursore dei coenzimi NAD e NADP richiesti per il catabolismo di grassi, carboidrati, proteine ed alcol, per la separazione cellulare, la riparazione del DNA e la sintesi del colesterolo (*Mikkelsen e Apostolopoulos, 2018*). La carenza di niacina provoca astenia, perdita di appetito, affaticamento e apatia (*Tardy et al., 2020*). La niacina può essere sintetizzata per via endogena dal triptofano: pertanto, quando c'è una quantità sufficiente di niacina nella dieta si verifica un effetto di risparmio del triptofano, aumentando la disponibilità dell'aminoacido per la sintesi di serotonina e melatonina. Si è ipotizzato che questo abbia un effetto positivo sul sonno e sul recupero negli atleti. Inoltre, la niacina potrebbe migliorare la termoregolazione, la disponibilità di energia e conseguentemente la prestazione (*Kerksick et al., 2018; Doherty et al., 2019*).

Sebbene sia stato ipotizzato che l'integrazione con niacina possa indurre un miglioramento della prestazione aerobica attraverso un incremento della disponibilità di NAD e NADP (*Kalman, 2001*), diversi altri studi hanno dimostrato il contrario mettendo in luce una riduzione della capacità di esercizio dovuta a un minore rilascio di acidi grassi (*Norris et al., 1978; Murray et al., 1995; Lewis, 1997; Kerksick et al., 2018*). Pertanto, non c'è al momento indicazione all'integrazione con la vitamina B<sub>3</sub> in relazione all'esercizio fisico (*Szczuko et al., 2018*).

## Acido pantotenico (Vitamina B<sub>5</sub>)

La vitamina B<sub>5</sub> (acido pantotenico, pantotenato) è parte della struttura chimica del coenzima A, componente importante del ciclo di Krebs coinvolto nel metabolismo energetico, degli aminoacidi, nella sintesi degli acidi grassi, del glicogeno e nella produzione di ormoni steroidei.

Uno studio ha riportato una diminuzione dell'accumulo di acido lattico in corso di prestazioni di tipo aerobico, senza però evidenziare un miglioramento della prestazione stessa (Kerksick et al., 2018). Tardy et al (2020) hanno riportato che l'integrazione di acido pantotenico (2 g/die) per 2 settimane sembrerebbe associata a una migliore prestazione per i fondisti allenati, con un migliore utilizzo dell'ossigeno e minor accumulo di acido lattico (Tardy et al., 2020): tuttavia, questo risultato non è stato confermato da altri studi.

In conclusione, l'integrazione con vitamina B<sub>5</sub> non appare necessaria per gli sportivi nel caso di una composizione della dieta adeguata rispetto ai fabbisogni (Szczuko, 2018).

## Piridossina e derivati (Vitamina B<sub>6</sub>)

La vitamina B<sub>6</sub> (piridossina e composti derivati) ha varie funzioni essenziali all'interno del sistema endocrino, neurologico e immunitario. La forma biologicamente attiva, pirodossal-5 fosfato, favorisce la sintesi dei neurotrasmettitori serotonina, dopamina, epinefrina ed acido gamma aminobutirrico (GABA). La piridossamina è coinvolta nell'attività degli ormoni steroidei, nel metabolismo lipidico e facilita la sintesi e il catabolismo degli sfingolipidi. Bassi livelli di vitamina B<sub>6</sub> sono stati associati a iperomocisteinemia, che può causare malattie cardiache e vascolari, fragilità ossea e malattie neurodegenerative, negli atleti come nella popolazione generale (Mikkelsen e Apostolopoulos, 2018; Brancaccio et al., 2022).

L'assunzione di vitamina B<sub>6</sub> è stata positivamente correlata alle prestazioni fisiche negli anziani sani (Lukaski, 2004), sebbene vi sia un numero limitato di prove a sostegno di un effetto ergogenico dell'integrazione per la prestazione fisica (Zhang et al., 2023).

Sebbene sia stata utilizzata come integratore per l'incremento della massa muscolare, della forza e della potenza aerobica, in atleti nutriti adeguatamente la piridossina non ha migliorato la capacità aerobica o l'accumulo di acido lattico (Kerksick et al., 2018; Zhang et al., 2023). Viceversa, in combinazione con le vitamine B<sub>1</sub> e B<sub>12</sub>, essa sembra aumentare i livelli di serotonina e migliorare le capacità motorie fini, risultando quindi potenzialmente utile negli sport di precisione (es. tiro con l'arco) ad una dose di 1,3 mg/die (Kerksick et al., 2018).

## Biotina (Vitamina B<sub>7</sub>)

Per la biotina, vitamina che deve essere assunta con la dieta non essendo sintetizzata a livello endogeno, coinvolta in numerose attività enzimatiche, non si conoscono studi di rilievo dei possibili effetti in relazione alla prestazione sportiva.

## Folati (Vitamina B<sub>9</sub>)

La vitamina B<sub>9</sub> (folati, acido folico) svolge un ruolo fondamentale in molte funzioni organiche per facilitare le reazioni di trasferimento di un atomo di carbonio nei processi metabolici. Essa favorisce la sintesi, la riparazione e la metilazione del DNA nonché la regolazione della neurotrasmissione delle monoammine. Le vitamine B<sub>9</sub> e B<sub>12</sub> sono vicendevolmente implicate nella conversione in forma coenzimatica l'una dell'altra (Lyon et al., 2020).

Gogojewicz et al (2020) hanno osservato una significativa carenza di acido folico in atleti polacche che praticavano crossfit. Una carenza nelle donne è stata riportata anche da altri studi e può essere causata da un basso contenuto energetico della dieta (Gogojewicz et al., 2020). È stato dimostrato che l'esercizio intenso acuto può aumentare le concentrazioni plasmatiche di omocisteina con tre possibili meccanismi: incremento della produzione di radicali liberi, aumento delle forme metilate come creatina e acetilcolina e aumento del pool dell'aminoacido a causa del catabolismo proteico (Molina-López et al., 2013). I risultati dello studio di Molina-López et al (2013) nei giocatori di pallamano suggeriscono che l'integrazione di acido folico potrebbe ridurre il rischio cardiovascolare negli atleti: tuttavia, sia in atleti carenti di folati sia in quelli in buono stato nutrizionale, non è stato riscontrato con l'integrazione alcun miglioramento della prestazione fisica (Molina-López et al., 2013; Kerkcick et al., 2018; Zhang et al., 2023).

## Cobalamina (Vitamina B<sub>12</sub>)

La cobalamina comprende diversi composti contenenti cobalto, essenziali in particolare per il metabolismo degli acidi grassi e degli aminoacidi chetogenici. Nel corpo umano, esistono due forme biologicamente attive, l'adenosilcobalamina e la metilcobalamina. Per gli sportivi è particolarmente rilevante il loro coinvolgimento nella eritropoiesi midollare. Krzywanski et al (2020) in un gruppo di 243 atleti di atletica leggera che dichiaratamente assumevano vitamina B<sub>12</sub> per via parenterale, ha trovato che l'intervallo di concentrazione di vitamina B<sub>12</sub> tale da favorire una migliore sintesi dell'emoglobina era tra i 400 e i 700 pg/mL. Atleti con valori inferiori (200–400 pg/mL) richiedevano un monitoraggio particolare e un'integrazione personalizzata (Krzywanski et al., 2020). Gli atleti strettamente vegetariani o vegani dovrebbero prestare attenzione all'integrazione aggiuntiva di vitamina B<sub>12</sub> oltre all'assunzione di proteine vegetali in quanto maggiormente a rischio di un'eventuale carenza (Bakaloudi et al., 2021; Zhang et al., 2023).

La vitamina B<sub>12</sub> contribuisce anche alla secrezione di melatonina: effetti diversi sono stati osservati, con diverse dosi di cobalamina sui ritmi sonno-veglia e sul ritardo significativo nel ritmo circadiano, mentre nessun effetto è stato osservato per la durata del sonno (Doherty et al., 2019).

Negli atleti che raggiungono il fabbisogno con la dieta non è stato riportato alcun effetto ergogenico dalla ulteriore integrazione vitaminica. Tuttavia è stato dimostrato che la vitamina B<sub>12</sub>, quando combinata con le vitamine B<sub>1</sub> e B<sub>6</sub>, può migliorare le prestazioni negli sport di precisione, effetto forse dovuto all'aumento dei livelli di serotonina, neurotrasmettitore che riduce l'ansia e lo stress (Kerkcick et al., 2018).

## Vitamina C

La vitamina C potrebbe svolgere un ruolo critico nell'attività del tessuto muscolare e nell'esercizio fisico non solo per il suo coinvolgimento nella biosintesi della carnitina e del collagene ma anche per la sua azione antiossidante: pertanto, in teoria, gli sportivi potrebbero beneficiare da un'assunzione maggiore di vitamina C rispetto agli individui sedentari (Kerkcick et al., 2018).

Braakhuis (2012) ha riportato che dosi di vitamina C fino a 250 mg/die, raggiungibili con le 5 o più porzioni di frutta e verdure giornaliere raccomandate dalla Linee guida per la sana alimentazione, possono ridurre lo stress ossidativo senza compromettere gli adattamenti dell'allenamento. Kerkcick et al (2018) d'altra parte hanno riportato che, negli atleti che raggiungono i fabbisogni nutrizionali con la dieta, l'integrazione di vitami-

na C non sembra migliorare le prestazioni fisiche, tuttavia l'integrazione di 500 mg/die successiva a un esercizio fisico intenso, potrebbe ridurre l'incidenza di infezioni delle vie respiratorie superiori.

Una recente meta-analisi ha riportato che l'integrazione di vitamina C potrebbe attenuare lo stress ossidativo (misurato dalla perossidazione lipidica) e la risposta infiammatoria (concentrazione sierica di IL-6) nell'intervallo tra 1 e 2 h dopo l'esercizio rispetto al placebo, pur non mostrando effetti su danno muscolare, cortisolemia, dolore e forza muscolare (*Righi, 2020*). Un'altra meta-analisi ha riportato che l'integrazione preventiva di vitamina C (250-1000 mg/die) ha ridotto del 50% l'incidenza del raffreddore in studi che hanno coinvolto maratoneti e sciatori esposti a intenso esercizio fisico o ad ambienti freddi (*Higgins et al., 2020*).

Nel complesso, non sembra esserci alcun aspetto positivo dell'integrazione di vitamina C sulle prestazioni aerobiche e sul recupero muscolare post-esercizio (*de Oliveira et al., 2019; Mason et al., 2020*). Inoltre, si è visto che l'integrazione di vitamina C (ad es. 500 mg/die) non attenua l'innalzamento dei valori dei marcatori di danno o indolenzimento muscolare prodotti dall'esercizio acuto e non esercita alcun effetto ergogenico sulle prestazioni di giovani calciatori, pur riducendo lo stress ossidativo (*de Oliveira et al., 2019*). Diversi studi hanno peraltro evidenziato che dosi elevate di antiossidanti possono influire negativamente su importanti processi fisiologici mediati da ROS e richiesti per l'adattamento e le prestazioni sportive. Attualmente ci sono prove insufficienti per raccomandare integratori di vitamina C per gli atleti in generale. Per ottenere un quantitativo di antiossidanti da una dieta varia ed equilibrata è consigliabile includere adeguate porzioni di frutta e verdura. Tuttavia, è opportuno tener presente la possibile utilità di un'integrazione di vitamina C (ad es., 500 mg/die) quando gli atleti siano esposti a livelli elevati di stress ossidativo (es. intenso esercizio fisico, allenamento in quota, ecc.) o se la dieta corrente non soddisfa i fabbisogni dietetici di antiossidanti (ad es. alimentazione restrittiva o basso apporto energetico associato a un'alimentazione disordinata).

In generale, le vitamine idrosolubili sembrano avere scarso valore ergogenico per gli atleti che consumano una dieta adeguata in nutrienti. Al contrario, in caso di assunzione carente di una o più vitamine, in primo luogo le modifiche dietetiche volte al raggiungimento di un adeguato apporto vitaminico e, solo in seconda battuta, la loro integrazione, meglio se con prodotti multivitaminici, possono avere effetti benefici sulla salute e sulle prestazioni atletiche.

## VITAMINE LIPOSOLUBILI

### Vitamina D

È oggetto di valutazione da diversi anni il ruolo della vitamina D nella mediazione dell'attività metabolica muscolare e delle possibili implicazioni sulle prestazioni atletiche. Un numero crescente di studi ha documentato la relazione tra lo stato della vitamina D e la prevenzione degli infortuni, l'efficacia della riabilitazione post-traumatica, la funzione neuromuscolare, l'aumento delle dimensioni delle fibre muscolari di tipo II, la riduzione dell'infiammazione e la diminuzione del rischio di fratture da stress e di malattie respiratorie acute, molto frequenti negli atleti.

Gli atleti che vivono a latitudini  $> 35^{\circ}$  parallelo o che si allenano e gareggiano principalmente al chiuso sono probabilmente a più alto rischio di insufficienza, definita come un livello plasmatico di 25(OH)D compreso tra 20 e 30 ng/mL (50-75 nmol/L) ovvero di carenza di vitamina D, definita come livello di 25(OH)D  $< 20$  ng/mL ( $< 50$  nmol/L)

(Thomas et al., 2016). Studi di revisione e meta-analisi della letteratura (Farrokhyan et al., 2015) o relativi a specifici gruppi di atleti (Villacis et al., 2014) hanno evidenziato livelli inadeguati di vitamina D tra il 15% e il 90% degli atleti esaminati, con ampia variabilità stagionale.

Altri studi (Knechtle et al., 2021) hanno suggerito la possibilità che un prolungato deficit di vitamina D sia uno dei principali fattori di rischio per fratture da stress. Le raccomandazioni circa l'assunzione di vitamina D nell'atleta possono arrivare fino a 2000 UI di 25(OH)D al giorno (Lappe et al., 2008; Knechtle et al., 2021). La normalizzazione dei livelli di vitamina D, ottenuta o tramite l'esposizione regolare alla luce solare simulata o mediante supplementazione di vitamina D<sub>3</sub> per via orale (1000 UI/die per 4 settimane e poi 400 UI/die per 8 settimane), ha avuto effetti positivi sulla prestazione di lunga durata "endurance" (tempo di corsa di 1,5 miglia) ma non su quelle di forza e potenza muscolare (Carswell et al., 2018).

In definitiva, una corretta valutazione e l'eventuale correzione della frequente carenza di vitamina D è importante per il benessere e la prestazione dell'atleta. L'evidenza disponibile non supporta invece la vitamina D come aiuto ergogenico per gli atleti; ulteriori studi sono necessari per chiarire il ruolo diretto della vitamina D sulla funzione musculoscheletrica e, più in generale, sulla salute degli sportivi.

Per gli atleti con una storia di fratture da stress, lesioni ossee o articolari, segni di sovrallenamento, dolore o debolezza muscolare e uno stile di vita che comporta una bassa esposizione ai raggi UVB può essere opportuna una periodica valutazione per determinare se sia necessario un protocollo di integrazione di vitamina D personalizzato (Thomas et al., 2016; Knechtle et al., 2021).

## Vitamina E

Non vi è attualmente una chiara e conclusiva evidenza scientifica sugli effetti della vitamina E sulla prestazione fisica e sportiva. Esistono troppe differenze tra gli studi in termini di tipi di esercizio (aerobico o anaerobico), tipi di tessuto (sangue o cellule), età dei soggetti (giovani o anziani) e, ultimo ma non meno importante, gli endpoint di allenamento esaminati (Rahim e Shalan, 2018).

Una meta-analisi di lavori che utilizzavano come outcome marcatori di perossidazione lipidica (malonildialdeide) e di danno muscolare (creatina chinasi, CK) ha mostrato che l'integrazione di tocoferolo non produceva una protezione significativa né contro la perossidazione lipidica indotta dall'esercizio né contro il danno muscolare. La complessa natura antiossidante dei tocoferoli e il basso tasso di accumulo nei tessuti muscolari potrebbero aver contribuito alla mancata evidenziazione di potenziali effetti protettivi (Vahan et al., 2014). In un altro studio sono stati rilevati peraltro livelli paradossalmente più elevati di ossidazione delle proteine plasmatiche e di perossidazione lipidica nel gruppo che consumava gli antiossidanti rispetto al placebo (Yfanti et al., 2012). Studi precedenti avevano evidenziato che, in gare di lunga e lunghissima durata, l'integrazione di vitamina E promuoveva di fatto la perossidazione lipidica e l'infiammazione in risposta all'esercizio acuto di ultra-resistenza (Nieman et al., 2004; Knez et al., 2007).

In definitiva, non è possibile allo stato attuale trarre conclusioni definitive in quanto gli studi disponibili non sono stati in grado di dimostrare chiaramente gli eventuali effetti dannosi dell'esercizio fisico eccessivo con o senza somministrazione di antiossidanti. In uno studio su larga scala su ironmen-triatleti è stato dimostrato che, dopo un evento di ultra-resistenza, possono verificarsi danni da perossidazione del DNA, delle proteine e dei lipidi, ma che questi effetti durano solo transitoriamente (Neubauer et al., 2008;

*Reichhold et al., 2008; 2009): i partecipanti allo studio consumavano quantità fisiologiche di antiossidanti nel corso del trial. Risultati simili sono stati riscontrati nei corridori dopo una gara di ultra-maratona, sebbene i partecipanti allo studio consumassero dosi elevate di vitamine C ed E (Neubauer et al., 2010).*

È difficile dunque sostenere la necessità dell'integrazione di antiossidanti, quali vitamine C ed E, durante l'allenamento per gli atleti di sport di lunga e lunghissima durata non essendovi evidenza di un chiaro effetto benefico.

Non vi è neppure evidenza scientifica del beneficio dell'integrazione di vitamina E sul tasso di recupero della forza di contrazione muscolare dopo un esercizio faticoso nell'uomo (Helgheim et al., 1979; Jakeman e Maxwell, 1993; Beaton et al., 2007). Due studi, tuttavia di piccole dimensioni, hanno riscontrato miglioramenti nella potenza della soglia anaerobica durante i test incrementali in quota al cicloergometro dopo l'integrazione di vitamina E (Simon-Schnass e Pabst, 1988; Subudhi et al., 2006). Studi non recenti e non conclusivi hanno mostrato che l'integrazione di vitamina E non sembra avere effetto sui marcatori di danno muscolare, ma potrebbe moderare l'infiammazione indotta dall'esercizio (Cannon et al., 1990; 1991).

## Bibliografia

- Aparicio-Ugarriza R, Luzardo-Socorro R, Palacios G, Bibiloni MM, Argelich E, Tur JA, González-Gross M. What is the relationship between physical fitness level and macro and micronutrient intake in Spanish older adults? *Eur J Nutr* 2019; 58: 1579-1590.
- Bakaloudi DR, Halloran A, Rippin HL, Oikonomidou AC, Dardavessis TI, Williams J, Wickramasinghe K, Breda J, Chourdakis M. Intake and adequacy of the vegan diet. A systematic review of the evidence. *Clin Nutr* 2021; 40: 3503-3521.
- Beaton LJ, Allan DA, Tarnopolsky MA, Tindall PM, Phillips SM. Contraction-induced muscle damage is unaffected by vitamin E supplementation. *Med Sci Sport Exer* 2002; 34: 798-805.
- Braakhuis AJ. Effect of vitamin C supplements on physical performance. *Curr Sports Med Rep* 2012; 11: 180-184.
- Brancaccio M, Mennitti C, Cesaro A, Fimiani F, Vano M, Gargiulo B, Caiazza M, Amadio F, Coto I, D'Alicandro G, Mazzaccara C, Lombardo B, Pero R, Terracciano D, Limongelli G, Calabro P, D'Argenio V, Frisso G, Scudiero O. The Biological Role of Vitamins in Athletes' Muscle, Heart and Microbiota. *Int J Env Res Pub HE* 2022; 19: 1249.
- Cannon JG, Orencole SF, Fielding RA, Meydani M, Meydani SN, Fiatarone MA, Blumberg JB, Evans WJ. Acute phase response in exercise: interaction of age and vitamin E on neutrophils and muscle enzyme release. *Am J Physiol* 1990; 259(6 Pt 2): R1214-R1219.
- Cannon JG, Meydani SN, Fielding RA, Fiatarone MA, Meydani M, Farhangmehr M, Orencole SF, Blumberg JB and Evans WJ. Acute phase response in exercise: II, associations between vitamin E, cytokines, and muscle proteolysis. *Am J Physiol* 1991; 260: 1235-1240.
- Carswell AT, Oliver SJ, Went, LM, Kashi DS, Ross R, Tang JCY, Izard, RM, Jackson S, Allan D, Lesley ER, Fraser WD, Greeves JP, and Walsh NP. Influence of Vitamin D Supplementation by Sunlight or Oral D3 on Exercise Performance. *Med Sci Sport Exer* 2018; 50: 2555-2564.
- Choi SK, Baek SH e Choi SW. The effects of endurance training and thiamine supplementation on anti-fatigue during exercise. *J Exerc Nutr Biochem* 2013; 17: 189-198.
- Cobleyn JN, Marrin K. Vitamin e supplementation does not alter physiological performance at fixed blood lactate concentrations in trained runners. *J Sport Med Phys Fit* 2012; 52: 63-70.
- de Oliveira DCX, Troncon Rosa F, Simões-Ambrosio L, Jordao AA, Deminice R. Antioxidant vitamin supplementation prevents oxidative stress but does not enhance performance in young football athletes. *Nutrition* 2019; 63-64: 29-35.
- Doherty R, Madigan S, Warrington G. Sleep and Nutrition Interactions: Implications for Athletes. *Nutrients* 201; 11: 822.
- Farrokhyan F, Tabasinejad R, Dao D, Peterson D, Ayeni OR, Hadioonzadeh R, Bhandari M. Prevalence of Vitamin D Inadequacy in Athletes: A Systematic-Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 2015; 45: 365-378.
- Fry AC, Bloomer RJ, Falvo MJ, Moore CA, Schilling BK, Weiss LW. Effect of a liquid multivitamin/mineral supplement on anaerobic exercise performance. *Res Sports Med* 2006; 14: 53-64.
- Gogojewicz A, Durkalec-Michalski K. Assessment of Dietary Intake and Nutritional Status in CrossFit-Trained Individuals: A Descriptive Study. *Int J Env Res Pub HE* 2020; 17: 4772.
- Gomes EC, Allgrove JE, Florida-James G, Stone V. Effect of vitamin supplementation on lung injury and running performance in a hot, humid, and ozone-polluted environment. *Scand J Med Sci Sport* 2011; 21: e452-e460.
- Helgheim I, Hetland O, Nilsson S, Ingjer F, Stromme SB. The effects of vitamin E on serum enzyme levels following heavy exercise. *Eur J Appl Physiol* 1979; 40: 283-289.
- Higgins MR, Izadi A, Kaviani M. Antioxidants and exercise performance: with a focus on Vitamin E and C supplementation. *Int J Env Res Pub HE* 2020; 17: 8452.

- Huang WC, Huang HY, Hsu YJ, Su WH, Shen SY, Lee MC, Lin CL, Huang CC. The Effects of Thiamine Tetrahydrofurfuryl Disulfide on Physiological Adaption and Exercise Performance Improvement. *Nutrients* 2018; 10: 851.
- Jagim AR, Harty PS, Tinsley GM, Kerksick CM, Gonzalez AM, Kreider RB, Arent SM, Jaeger R, Smith-Ryan AE, Stout JR, Campbell BI, VanDusseldorp T, Antonio J. International society of sports nutrition position stand: energy drinks and energy shots. *J Int Soc Sport Nutr* 2023; 20: 2171314.
- Jakeman P, Maxwell S. Effect of antioxidant vitamin supplementation on muscle function after eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol* 1993; 67: 426-430.
- Jeukendrup A, Gleeson M. Vitamins and minerals. In: Sport Nutrition. Third Edition. Champaign, IL, USA: Human Kinetics, 2019.
- Kalman D. Vitamins: are athlete's needs different than the needs of sedentary people? In: Antonio J, Stout J, eds. Sport Supplements. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2001.
- Kerksick CM, Wilborn CD, Roberts MD, Smith-Ryan A, Kleiner SM, Jäger R, Collins R, Cooke M, Davis JN, Galvan E, Greenwood M, Lowery LM, Wildman R, Antonio J, Kreider RB. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *J Int Soc Sport Nutr* 2018; 15: 38.
- Knechtle B, Jastrzębski, Z, Hill L and Nikolaidis PT. Vitamin D and Stress Fractures in Sport: Preventive and Therapeutic Measures—A Narrative Review. *Medicina (Kaunas)* 2021; 57: 223.
- Knez WL, Jenkins DG and Coombes JS. Oxidative stress in half and full Ironman triathletes. *Med Sci Sport Exer* 2007; 39: 283-288.
- Krzywanski J, Mikulski T, Pokrywka A, Młyńczak M, Krysztofiak H, Frączek B, Ziembba A. Vitamin B12 Status and Optimal Range for Hemoglobin Formation in Elite Athletes. *Nutrients* 2020; 12: 1038.
- Lappe J, Cullen D, Haynatzki G, Recker R, Ahlf R, Thompson K. Calcium and vitamin D supplementation decreases incidence of stress fractures in female navy recruits. *J Bone Miner Res* 2008; 23, 741-749.
- Lewis R. Riboflavin and niacin. In: Wolinsky I, Driskell J Eds. Sports Nutrition. Vitamins and trace elements. Boca Raton, FL: CRC press, 1997.
- Lukaski HC. Vitamin and mineral status: effects on physical performance. *Nutrition* 2004; 20: 632-644.
- Lyon P, Strippoli V, Fang B, Cimmino L. B Vitamins and One-Carbon Metabolism: Implications in Human Health and Disease. *Nutrients* 2020; 12: 2867.
- Mason SA, Trewin AJ, Parker L, Wadley GD. Antioxidant supplements and endurance exercise: Current evidence and mechanistic insights. *Redox Biol* 2020; 35: 101471.
- Mikkelsen K, Apostolopoulos V. B Vitamins and Ageing. *Subcell Biochem* 2018; 90: 451-470.
- Molina-López J, Molina JM, Chirosa LJ, Florea DI, Sáez L, Planells E. Effect of folic acid supplementation on homocysteine concentration and association with training in handball players. *J Int Soc Sport Nutr* 2013; 10: 10.
- Murray R, Bartoli WP, Eddy DE, Horn MK. Physiological and performance responses to nicotinic-acid ingestion during exercise. *Med Sci Sport Exer* 1995; 27: 1057-1062.
- Neubauer O, Reichhold S, Nersesyan A, König D and Wagner KH. Exercise-induced DNA damage: Is there a relationship with inflammatory responses? *Exerc Immunol Rev* 2008; 14: 51-72.
- Neubauer O, Reichhold S, Nics L, Hoelzl, Valentini J, Stadlmayr B, Knasmüller S, Wagner K-H. Antioxidant responses to an acute ultra-endurance exercise: Impact on DNA stability and indications for an increased need for nutritive antioxidants in the early recovery phase. *Brit J Nutr* 2010; 104: 1129-1138.
- Nieman DC, Henson DA, McAnulty SR, McAnulty LS, Morrow JD, Ahmed A, Heward CB. Vitamin E and immunity after the Kona Triathlon World Championship. *Med Sci Sport Exer* 2004; 36: 1328-1335.
- Norris B, Schade DS, Eaton RP. Effects of altered free fatty acid mobilization on the metabolic response to exercise. *J Clin Endocr Metab* 1978; 46: 254-259.

- Rahim NA and Shalan NAAM. The Potential Effects of Vitamin E in Sport Performance. 2018. IJCRBP 2018; 5: 17-27.
- Reichhold S, Neubauer O, Ehrlich V, Knasmüller S and Wagner K-H. No acute and persistent DNA damage after an Ironman triathlon. Cancer Epidem Biomar 2008; 17: 1913-1919.
- Reichhold, Neubauer O, Hoelzl C, Stadlmayr B, Valentini J, Ferk F, Kundi M, Knasmüller S, Wagner K-H. DNA damage in response to an Ironman triathlon. Free Radic Res 2009; 43: 753-760.
- Righi NC, Schuch FB, De Nardi AT, Pippi CM, de Almeida Righi G, Puntel GO, Vargas da Silva AM & Signori LU. Effects of vitamin C on oxidative stress, inflammation, muscle soreness, and strength following acute exercise: meta-analyses of randomized clinical trials. Eur J Nutr 2020; 59: 2827-2839.
- Simon-Schnass I, Pabst H. Influence of vitamin E on physical performance. International journal for vitamin and nutrition research Internationale Zeitschrift fur Vitamin- und Ernährungsforschung.Journal international de vitaminologie et de nutrition 1988; 58: 49-54.
- Subudhi AW, Jacobs KA, Hagopian TA, Fattor JA, Muza SR, Fulco CS, Cymerman A, and Friedlander AI. Changes in Ventilatory Threshold at High Altitude: Effect of Antioxidants. Med Sci Sport Exer 2006; 38: 1425-1431.
- Szczuko M, Migrała R, Drozd A, Banaszczak M, Maciejewska D, Chlubek D, Stachowska E. Role of water soluble vitamins in the reduction diet of an amateur sportsman. Open Life Sci 2018; 13: 163-173.
- Tardy AL, Pouteau E, Marquez D, Yilmaz C, Scholey A. Vitamins and Minerals for Energy, Fatigue and Cognition: A Narrative Review of the Biochemical and Clinical Evidence. Nutrients 2020; 12: 228.
- Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. J Acad Nutr Diet. 2016; 116: 501-528. Erratum in: J Acad Nutr Diet. 2017; 117: 146.
- Vahan S, Crowe M, Haleagrahara N, and Bowden B. Effects of vitamin E supplementation on exercise-induced oxidative stress: a meta-analysis Appl Physiol Nutr Metab 2014; 39: 1029-1037.
- Van Der Beek EJ. Vitamin supplementation and physical exercise performance. J Sport Sci 1991; 9 Spec No: 77-90.
- Villacis D, Yi A, Jahn R, Kephart CI, Charlton T, Gamradt SC, Romano R, Tibone JE, and Hatch GFR. Prevalence of Abnormal Vitamin D Levels Among Division I NCAA Athletes Sports Health: A Multidisciplinary Approach. 2014; 6: 340.
- Weight LM, Myburgh KH, Noakes TD. Vitamin and mineral supplementation: effect on the running performance of trained athletes. Am J Clin Nutr 1988; 47: 192-195.
- Yfanti C, Fischer CP, Nielsen S, Åkerström T, Nielsen AR, Veskoukis AS, Kouretas D, Lykke-sfeldet J, Pilegaard H and Pedersen BK. Role of vitamin C and E supplementation on IL-6 in response to training. J Appl Physiol 2012; 112: 990-1000.
- Zhang J, Chen J, Sui X, Drenowatz C, Wang Q. Association between Different Types of Exercise and Intake of Nutrients including Carbohydrate, Fat, Protein, and B Vitamins in Young Adults. Nutrients 2023; 15: 806.

# Minerali

## VALUTAZIONE DELLO STATO NUTRIZIONALE DEI MINERALI NELLO SPORTIVO

La valutazione dello stato nutrizionale dei minerali nella popolazione fisicamente attiva, e in particolare negli atleti, è un'operazione estremamente complessa, innanzitutto perché non esistono protocolli definiti circa le modalità e la tempistica della raccolta dei campioni biologici. Esistono, infatti, molte variabili (tipo di sport, intensità e durata degli allenamenti/competizione, stati transitori di alterata idratazione, fasi di recupero, ecc.), che influiscono significativamente sulla precisione e sull'accuratezza delle misurazioni, tanto più quando gli atleti sono di elevato valore competitivo per la frequenza e la durata degli impegni di allenamento/gara. Díaz Martínez et al (2022), valutando per nove anni i valori basali di diversi parametri biochimici ed ematologici di 3588 atleti d'élite, praticanti 32 diverse attività sportive, hanno messo in evidenza che i valori medi di diversi parametri sono risultati più elevati e, in molti casi con intervalli di riferimento più ampi, rispetto a quelli della popolazione generale, concludendo per l'inadeguatezza degli intervalli di riferimento stabiliti per la popolazione generale se applicati alla valutazione dello stato di salute degli atleti. È possibile, quindi, che in futuro debbano essere definiti intervalli di riferimento specifici per atleti di alto livello.

Questa premessa è propedeutica alla sintetica trattazione dei minerali considerati di maggior rilievo e quindi più studiati in ambito sportivo.

### Sodio

Il sodio viene eliminato attraverso le urine ed il sudore (in cui rappresenta il principale minerale presente insieme al cloro). Stati di carenza di sodio generalmente non si verificano neppure con diete a bassissimo contenuto di sodio. Al contrario, il consumo di alimenti salati è normalmente elevato, tanto che l'apporto giornaliero di sodio è eccessivo rispetto ai fabbisogni e rappresenta un fattore di rischio importante per molte patologie.

### **Perdite di liquidi e sodio**

Nel caso degli atleti viene raccomandato il ripristino delle perdite di liquidi e di sodio persi in seguito all'esercizio fisico per ristabilire una condizione di idratazione adeguata, in particolar modo in casi di sudorazione profusa o di sedute ripetute di allenamento/gara molto ravvicinate nel tempo. È peraltro riconosciuto che l'adattamento al caldo, come avviene negli atleti che si allenano regolarmente nel corso degli anni, tende a far sì che l'organismo produca sudore con un contenuto inferiore di sodio rispetto al soggetto non adattato (Buono et al., 2018).

Un aspetto importante da considerare è che la perdita del volume di liquidi e la concentrazione di sodio nel sudore variano in maniera considerevole sia per tipo di sport praticato sia tra i soggetti che praticano la stessa attività sportiva (variabilità interindividuale) (Barnes et al., 2019). Ad esempio, i giocatori di football americano e gli atleti di discipline aerobiche (corsa su lunghe distanze, ciclismo, triathlon, ecc.) presentano maggiori perdite di liquidi e di sodio durante l'esercizio rispetto ad altri tipi di sport (basket, calcio, baseball, ecc.) (Barnes et al., 2019).

## Problemi metodologici

Poiché esistono diverse tecniche e accorgimenti per valutare le perdite di liquidi e di sodio (metodo di raccolta sull'intero corpo o localizzato, momento e durata della raccolta del sudore, procedure di pulizia della cute, conservazione del campione raccolto e tecnica analitica utilizzata), risulta difficile confrontare dati provenienti da studi diversi e stabilire dei valori normali di riferimento (*Baker, 2017; Ranchordas et al., 2017; Barnes et al., 2019*). Nonostante alcune linee guida (*McDermott et al., 2017*) suggeriscano che il reintegro delle perdite di liquidi/elettroliti debba essere fatto su base individuale, non ci sono raccomandazioni esaustive sull'esatta quantità di sodio necessaria a reintegrare quella persa e a garantire la capacità di prestazione dell'atleta.

## Reintegro delle perdite di sodio durante l'esercizio

Il ripristino delle perdite di sodio col sudore viene generalmente raccomandato quando la durata dell'attività fisica supera le due ore, quando il clima è caldo o quando le perdite di sodio siano molto elevate ( $> 3\text{-}4 \text{ g}$ ) (*Barnes et al., 2019*). Recentemente, è stato indicato che solo negli atleti con elevato tasso di sudorazione ( $> 1,2\text{-}1,8 \text{ L/h}$ ) e nel caso in cui il sudore prodotto sia particolarmente ricco di sodio ( $> 1 \text{ g/L}$ ), sia necessario il reintegro del sodio in corso di attività (*McCubbin, 2023*) (vedi anche il capitolo "Acqua"). Per quanto riguarda invece il miglioramento della prestazione aerobica di resistenza in seguito all'assunzione di sodio durante l'esercizio, l'evidenza scientifica è alquanto limitata.

## Bevande per gli sportivi

Per quanto riguarda le tante bevande per gli sportivi reperibili sul mercato, c'è da dire che esse contengono, oltre ad una piccola quantità di carboidrati (nella maggior parte dei casi maggiore rispetto alle reali necessità), anche una quota di sodio (20–25 mmol/L, 460–575 mg/L), la cui concentrazione è però inferiore a quella normalmente presente nel sudore (*Ranchordas et al., 2017*). Un'alternativa corretta ed anche più economica può essere rappresentata da una "ricetta casalinga" realizzata mescolando 250 ml di succo di frutta di buona qualità, 750 ml di acqua e un grammo (1 g) di clovraro di sodio (sale da cucina).

## Alterazioni del bilancio del sodio e rischio di crampi muscolari e iponatremia

Esistono molte teorie che legano un alterato bilancio degli elettroliti, in particolare del sodio, all'insorgenza di crampi muscolari e al rischio di iponatremia. Per quanto riguarda i crampi muscolari, è stato ipotizzato ma non accertato che una carenza di sodio possa essere uno dei tanti fattori che concorrono all'insorgenza dei crampi (*Veniamakis et al., 2022*). Per quanto riguarda il rischio di iponatremia, il fattore principalmente responsabile è l'eccessiva introduzione di acqua rispetto a quella di sodio piuttosto che lo scarso apporto di quest'ultimo, per cui anche l'uso di bevande per sportivi, per quanto detto precedentemente, non riduce il rischio per gli atleti che tendono a bere in maniera eccessiva (*Hew-Butler et al., 2017*). Ad ogni modo, per atleti che producono molto sudore, impegnati in attività fisiche intense che si protraggono oltre le due ore, è opportuno prevedere un'assunzione di sodio di circa 300–600 mg/ora (*Veniamakis et al., 2022*).

## Potassio

L'omeostasi del potassio nel tessuto muscolare e nel plasma viene fortemente alterata durante e dopo esercizi dinamici ad elevata intensità, contrazioni statiche e fasi ischemiche: tutto ciò ha implicazioni per la capacità contrattile del muscolo scheletrico e cardiaco

(*Lindinger e Cairns, 2021*). Una forte riduzione del gradiente di potassio trans-sarcolemmale probabilmente contribuisce all'insorgere della fatica muscolare e dell'intero organismo, limitando così la prestazione fisica (*Lindinger e Cairns, 2021*).

In uno studio che ha valutato, in maniera esaustiva, l'adeguatezza nutrizionale dell'assunzione di macro- e micro-nutrienti (tra cui il potassio) in un gruppo di 95 atleti di endurance, è stato messo in evidenza che il 57% non assumeva le quantità di nutrienti raccomandate (*Moss et al., 2023*). Tuttavia, poiché lo studio è stato condotto con metodo *recall* delle 24 ore, è possibile che l'assunzione di alcuni alimenti possa essere stata sotto-estimata e/o l'utilizzo di alcuni integratori non registrato.

D'altra parte, un recente lavoro, che ha seguito per nove anni 3588 atleti d'élite, praticanti 32 diverse attività sportive, ha rilevato che i valori basali di potassio plasmatico erano superiori rispetto alla popolazione generale (*Díaz Martínez et al., 2022*). Di fatto, in considerazione dell'ampia presenza di questo minerale in moltissimi alimenti (frutta e verdura, legumi e frutta secca in particolare), sindromi da carenza di questo minerale sono da ritenersi improbabili. Peraltro, anche per il potassio, come per il magnesio, nella nuova Revisione dei LARN (*SINU, 2024*) l'AI (*adequate intake*, assunzione adeguata) è stata incrementata ai fini della prevenzione delle malattie cardiovascolari (vedi testo base).

## Magnesio

Il magnesio risulta di fondamentale importanza nella prestazione sportiva, tanto aerobica quanto anaerobica. I dati sul metabolismo del magnesio in condizioni di intenso e protracted lavoro muscolare sono purtroppo scarsi; tuttavia, in generale, in condizioni di stress, quali quelle che si possono verificare in occasione di programmi di allenamento molto impegnativi e prolungati nel tempo (atleti competitivi e di élite), potrebbe aver luogo un aumento delle perdite di magnesio, (*Pickering et al., 2020; Tarsitano et al., 2024*). Questa condizione, se protratta nel tempo, senza l'opportuno recupero con gli apporti alimentari, potrebbe determinare l'insorgenza di uno stato carenziale con conseguente astenia generale, debolezza muscolare, crampi e una maggiore suscettibilità allo stress, innescando in tal modo un circolo vizioso (sindrome da *overtraining* o super-allenamento) (*Giampietro, 2005; Pickering et al., 2020*).

### Assunzione e fabbisogno di magnesio per gli atleti

I dati sul fabbisogno di magnesio degli atleti sono alquanto scarsi, come pure gli studi che abbiano adottato una metodica gold standard per determinare il bilancio nutrizionale del minerale. Alcuni studi in passato (*Lukaski, 2000*) ed altri in anni più recenti (*Pickering et al., 2020; Tarsitano et al., 2024*), in base agli effetti indotti da un'integrazione di magnesio su alcuni indicatori legati alla prestazione fisica, hanno suggerito la possibilità che gli atleti possano avere necessità di un'assunzione di magnesio superiore a quella raccomandata per la popolazione sedentaria. In un campione di 192 atleti di élite britannici seguiti per otto anni, sulla base del contenuto di magnesio dei globuli rossi, è stata diagnosticata nel 22% degli atleti una condizione di carenza almeno una volta nel corso del periodo di osservazione (*Pollock et al., 2020*).

Peraltro, in una recente rassegna sistematica, la quantità di magnesio introdotta è risultata al di sotto dei livelli raccomandati per la popolazione generale nella maggior parte dei 31 studi presi in considerazione (*Maeda et al., 2022*).

È opportuno quindi ribadire che l'assunzione di magnesio negli atleti dev'essere naturalmente almeno in linea con i valori di AI indicati per la popolazione generale (*SINU, 2024*), sottolineando peraltro che tali valori sono stati significativamente aumentati nella

V Revisione LARN rispetto alla precedente (vedi testo base) e rispondono quindi pienamente alle proposte in tal senso formulate da alcuni autori (*Tarsitano et al., 2024*). È evidente nondimeno la necessità di ulteriori studi controllati al riguardo su gruppi di atlete ed atleti sufficientemente numerosi.

### **Assunzione dietetica e integrazione di magnesio**

Il magnesio è presente in molti alimenti di origine animale e vegetale, per cui è sempre preferibile, in caso di carenza, ricorrere a scelte dietetiche mirate: in particolare, sono ricchi di magnesio soprattutto i cereali integrali, i legumi e la frutta secca oleosa. In considerazione anche dell'aumento nella nuova Revisione dei LARN (SINU, 2024) dell'AI per il magnesio, solo in casi ben selezionati può essere considerato l'utilizzo di integratori tenendo presente che l'evidenza disponibile, come sottolineato in precedenza, è tutt'altro che esaustiva (*Heffernan et al., 2019; Garrison et al., 2020*).

## **Calcio**

### **Esercizio fisico, metabolismo del calcio e salute ossea**

L'esercizio fisico contro resistenza è considerato un fattore positivo per la formazione e il mantenimento di una buona densità ossea in quanto le forze meccaniche che si producono durante l'esercizio fungono da stimolo anabolico, agendo sui "meccano-recettori" presenti nelle cellule ossee, per aumentare la densità minerale ossea e/o rallentare la perdita di massa ossea con l'avanzare dell'età (*Turner e Robling, 2005*). Recentemente, inoltre, la ricerca scientifica ha evidenziato effetti favorevoli dell'attività fisica, non solo contro resistenza, sul metabolismo osseo attraverso un'azione diretta sul sistema RANK-RANKL-OPG [RANK=*Receptor Activator for Nuclear Factor Kappa B*, RANKL=RANK-Ligand, OPG=*Osteoprotegerin*] (*Marcadet et al., 2022*).

L'American College of Sports Medicine (*Kohrt et al., 2004*) e l'International Osteoporosis Foundation (*Pinto et al., 2022*), raccomandano l'esercizio fisico regolare contro resistenza per ridurre il rischio di fratture osteoporotiche nel corso degli anni. D'altra parte, molti dati nella letteratura scientifica più recente indicano che l'esercizio può anche generare una risposta acuta di tipo catabolico sul tessuto osseo, sostenuta dal paratormone e dal telopeptide c-terminale, marker del processo di formazione e riassorbimento osseo (*Wherry et al., 2022*). Secondo gli stessi autori però l'aumento transitorio del paratormone potrebbe avere un effetto anabolico nel lungo periodo: per questo motivo al momento non si ritiene di raccomandare un'integrazione di calcio prima dell'esercizio per attenuare l'aumento dell'ormone stesso, anche perché il rischio di ipercalcemia potenzialmente associato a una supplementazione inappropriata di calcio potrebbe portare alla formazione di calcoli renali e a processi di calcificazione vascolare. Gli aspetti controversi al riguardo sono ancora molti e sono necessarie ulteriori ricerche sugli effetti dei diversi fattori in gioco (tipo di esercizio fisico, durata e intensità, età e sesso degli atleti, ecc.) sull'omeostasi del calcio durante l'esercizio (*Dolan et al., 2022; Staab et al., 2023*).

### **Fabbisogno di calcio nello sportivo**

È improbabile, in base al complesso delle evidenze disponibili, che le richieste nutrizionali per garantire un buon metabolismo osseo siano sostanzialmente differenti tra gli atleti e la popolazione generale, sebbene in rari casi una maggiore perdita di calcio attraverso il sudore possa avversi per atleti di discipline sportive aerobiche (sport di endurance o ultra-endurance, con tempi di allenamento o gara protratti) o di sport con categorie di peso, dove, per rientrare in una determinata categoria alcuni atleti si sforzino di otte-

nere perdite di peso “estreme” sottoponendosi a saune, esercizi fisici con indumenti non traspiranti, ecc., in brevi periodi di tempo (*Sale e Elliott-Sale, 2019*).

Nonostante alcuni dati suggeriscano la possibilità che l’assunzione di calcio, con un pasto o tramite integrazione prima di un esercizio fisico intenso, riduca alcuni marker di riassorbimento osseo (*Kohrt et al., 2018; Lundy et al., 2023*), non si conoscono ancora gli effetti di questa strategia dietetica nel lungo periodo (*Sale e Elliott-Sale, 2019*).

### **Assunzione dietetica di calcio**

Gli alimenti che contengono maggiori quantità di calcio sono il latte e derivati (yogurt, latticini e formaggi), i legumi secchi, la frutta secca oleosa e alcuni vegetali. Poiché il lattosio e le proteine del latte favoriscono l’assorbimento del calcio, il latte rappresenta senza dubbio la fonte alimentare più importante (*SINU, 2024*). Non va poi trascurato l’apporto di calcio derivante dal consumo di acqua in generale ma soprattutto di quelle bicarbonato-alcalino-calciche (che contengono dai 150 ai 400 mg di calcio/L di acqua), da cui il calcio viene assorbito in misura simile a quello presente nel latte.

## **Ferro**

A partire dagli anni Settanta il mondo dello sport, e in particolare quello delle discipline aerobiche, ha dedicato molta attenzione al metabolismo del ferro (Fe) e al possibile manifestarsi di una condizione di anemia negli atleti, fino ad individuare una condizione clinica specifica, denominata impropriamente “anemia da sport” (*Sim et al., 2019*). Ciò ha purtroppo fatto sì che, soprattutto nelle discipline aerobiche, l’assunzione di Fe, con varie formulazioni e preparati, diventasse un rituale molto diffuso nell’intento di supportare o addirittura migliorare la prestazione sportiva. In realtà, non esiste una “anemia da sport” bensì un falso stato anemico ovvero una “pseudoanemia da emodiluizione” dovuta ad una fisiologica espansione del volume plasmatico soprattutto durante le prime fasi dell’allenamento: di conseguenza, l’assunzione inappropriata e incontrollata di Fe, specialmente se prolungata nel tempo, può risultare molto dannosa per l’organismo dello sportivo (*Nakamura et al., 2019*).

### **Alterazioni del metabolismo del ferro e attività sportiva**

Le alterazioni del metabolismo marziale che possono verificarsi nella popolazione degli atleti riflettono sostanzialmente quelle che si osservano anche nella popolazione generale e sono rappresentate da due condizioni opposte: da una parte la carenza, dall’altra il sovraccarico di Fe. Generalmente, quando si parla del Fe nell’ambito dell’attività sportiva, viene dato rilievo soltanto alla prima; tuttavia, è doveroso sottolineare che le assunzioni di preparati di Fe per via parenterale, ma anche per via orale, quando non giustificate da una reale condizione di deficit marziale, non solo sono di per sé inutili ma possono condurre ad una condizione di “sovraccarico” di Fe, elemento quest’ultimo fortemente reattivo, con conseguenti danni dovuti alla produzione di radicali liberi, con stress ossidativo fino alla sideronecrosi (*Nakamura et al., 2019*). La pratica sportiva, specialmente se intensa o dopo carichi di lavoro muscolare eccessivi, può determinare delle perdite di Fe dovute a micro-sanguinamenti gastro-intestinali e, in via secondaria e limitata, attraverso il sudore (*McCormick et al., 2020*). Da tenere in considerazione anche la possibilità di una emolisi meccanica, legata ad esempio alla violenta e/o ripetuta compressione dei piccoli vasi della pianta del piede riscontrabile soprattutto nei maratoneti, o agli impatti negli sport da combattimento, che, pur non riguardando direttamente il comparto marziale, può modificare transitoriamente il profilo ematologico dell’atleta. Uno stato non ottimale del Fe può ridurre la capacità di eseguire un lavoro muscolare, così come la ca-

pacità di allenamento/prestazione e l'adattamento allo stress indotto dall'esercizio fisico, soprattutto se la carenza marziale si accentua nel tempo. Un deficit di Fe si riscontra più spesso tra gli atleti di sesso femminile (15-35%) rispetto a quelli di sesso maschile (3-11%) (*Sim et al.*, 2019). La prevalenza maggiore nella popolazione femminile è dovuta in particolare alla minore assunzione dietetica e soprattutto alle perdite ematiche dovute al ciclo mestruale (*Sims et al.*, 2023). La **Tabella 1** riporta i principali criteri diagnostici e i diversi stadi di progressione di un'eventuale carenza marziale.

### ***Dieta, alimenti e ferro***

In generale un'alimentazione equilibrata è in grado di garantire un adeguato apporto di Fe nella maggior parte degli atleti, per cui l'eventuale integrazione alimentare o farmacologica di Fe deve essere prescritta esclusivamente in presenza di un deficit correttamente accertato, come descritto nei LARN (SINU, 2024).

Il Fe negli alimenti è presente sotto forma di ferro-eme, più biodisponibile, in tutti i prodotti, freschi o lavorati, a base di carni, anche ittiche, e nei prodotti animali in genere. Il Fe presente nei vegetali (legumi, frutta secca, semi, cereali soprattutto integrali e verdure) e nelle uova è meno assorbibile (ferro non-eme). La contemporanea presenza nel pasto di acido ascorbico e/o di altri acidi organici può aumentare l'assorbimento intestinale del Fe non-eme. Poiché l'assorbimento medio giornaliero di Fe dalla dieta non supera il 10%, l'apporto alimentare, per quanto sufficiente in condizioni normali, potrebbe non essere sufficiente da solo a correggere una carenza marziale: in questi casi alla correzione dietetica è indispensabile aggiungere un'opportuna integrazione.

### ***Diete vegetariane e ferro***

La minore biodisponibilità del Fe negli alimenti di origine vegetale ha portato a ritenere che gli atleti che seguono una dieta vegetariana, ma soprattutto una vegana, siano maggiormente a rischio di andare incontro a deficit marziale. A tal proposito, è bene dire che sono alquanto scarsi gli studi, soprattutto negli atleti, che abbiano confrontato in modo corretto la prevalenza del deficit di Fe e lo stato nutrizionale del minerale in una popolazione occidentale vegetariana o vegana in confronto a una popolazione di controllo onnivora paragonabile per età, sesso, tipo e grado di allenamento. Di fatto, una dieta vegetariana, se ben pianificata, apporta un quantitativo di Fe, seppur in prevalenza del tipo non-eme, almeno pari (e spesso superiore) a quello fornito da una dieta onnivora. Inoltre, l'utilizzo di appropriati metodi di preparazione dei cibi vegetali (un sufficiente tempo di ammollo preventivo dei legumi, la germinazione, pani lievitati con lievito madre) può ridurre il contenuto di acido fitico degli alimenti vegetali e migliorare così l'assorbimento del Fe (*Agnoli et al.*, 2017).

### ***Integrazione di ferro: dosaggio, forme e tempi di somministrazione***

Oltre l'intervento dietetico, in ogni caso prioritario ed essenziale, è possibile far ricorso all'uso di integratori di Fe, come rimedio efficace ed economico. La forma di somministrazione più utilizzata è data dal solfato ferroso, che però si associa ad un rischio 2,6 volte maggiore di indurre effetti collaterali a livello gastrointestinale rispetto al placebo, pur senza un evidente effetto dose-risposta (*Tolkien et al.*, 2015). La somministrazione parenterale costituisce una valida alternativa per risolvere casi di deficit severo di Fe, pur essendo una via da limitare a casi selezionati per diversi motivi (invasività, maggior costo, potenziale reazione anafilattica, rischio di sovraccarico di Fe, ecc.). Per tutti questi motivi, quindi, l'aumento dell'assunzione di Fe con la dieta rimane il trattamento iniziale e più conservativo da privilegiare.

Mentre l'integrazione di Fe negli atleti che non ne siano carenti non sembra migliorare i parametri della prestazione aerobica (*Sim et al., 2019*), al contrario, l'integrazione di Fe, orale o endovenosa, nei soggetti con carenza o addirittura con anemia ferropriva, ha come effetto il miglioramento della prestazione; in assenza di anemia ma con una leggera carenza di Fe i risultati non sono univoci (*Burden et al., 2015; Rubeor et al., 2018*).

Ci sono indicazioni, negli ultimi anni, che una strategia ottimale di integrazione del Fe debba prevedere anche il momento della giornata in cui è preferibile assumere l'integrazione. Il motivo è legato alla soppressione che l'epcidina esercita sull'assorbimento e il riciclo del Fe dietetico (*Nemeth e Ganz, 2023*): i livelli di questa molecola, infatti, aumentano tra le 3 e le 6 ore dopo la fine dell'esercizio, in risposta all'aumento delle citochine infiammatorie (interleuchina-6), in relazione anche alla durata dell'esercizio e alle concentrazioni di ferritina (*Peeling et al., 2009*). Questo effetto è stato evidenziato soprattutto dopo esercizi di endurance ma anche in altri tipi di esercizio fisico (sport di squadra e contro resistenza) (*Goto et al., 2020*).

In generale, agli atleti con deficit di Fe vengono prescritti dosaggi giornalieri compresi tra 60 e 120 mg del minerale in maniera continuativa per due mesi, aggiustando il dosaggio a seconda della gravità del deficit e degli eventuali disturbi gastrointestinali (*McCormick et al., 2020*). Al momento, non è chiaro se gli effetti collaterali (dolore, nausea, vomito, costipazione e diarrea) siano legati all'elevato dosaggio assunto e alla minore percentuale di assorbimento che, determinando un aumento delle quantità di Fe nel lume, potrebbe essere la causa di irritazione intestinale (*Stoffel et al., 2020*). Resta, quindi, ancora da chiarire la strategia ottimale di integrazione (*McCormick et al., 2020*).

Sono disponibili numerose formulazioni di Fe per via orale, che si differenziano per dosaggio, tipo di sale utilizzato, stato chimico (Fe ferroso o ferrico) e forma galenica (a rilascio rapido o prolungato) (*Santiago, 2012*): il solfato, il gluconato e il fumarato ferroso sono i sali più comunemente utilizzati nella pratica clinica. Sono state sviluppate preparazioni con aminoacidi chelati che migliorano la tollerabilità intestinale senza compromettere la biodisponibilità del Fe ed altre ancora quali il ferro carbonilico e i complessi ferro-polisaccaridi, che però sono supportate da un numero ridotto di studi clinici.

Alcune evidenze sperimentali sostengono l'uso di un'integrazione di Fe orale a giorni alterni: questo tipo di protocollo sembra in grado di ripristinare buoni livelli delle riserve di ferro, aumentando la percentuale di assorbimento ed i livelli di emoglobina, con minor rischio di irritazione gastrointestinale in confronto alla somministrazione giornaliera (*Stoffel et al., 2017*). Questa strategia potrebbe prevedere un'integrazione mattutina, idealmente entro 30 minuti successivi all'allenamento del mattino, da somministrare a giorni alterni e a bassi dosaggi, in particolare negli atleti soggetti a problemi intestinali (*McCormick et al., 2019*).

**Tabella 1** Criteri diagnostici e stadi della eventuale deficienza marziale

Stato	Caratteristiche	Emoglobinemia (g/L)	Ferritinemia ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	Saturazione della transferrina (%)
Adeguatezza	Markers clinici e RBC normali	>120 (F) >140 (M)	>30 (F) >110 (M)	20-40
Deplezione	Ematocrito, Hb e Tf normali; ferritina ridotta	>120 (F) >140 (M)	<30	20-40
Deficienza	Hb normale; ferritina, sideremia e saturazione della Tf ridotti	>120 (F) >140 (M)	<12	< 16
Anemia ferro priva	Hb ed ematocrito ridotti; ferritinemia, sideremia e saturazione della Tf ridotti; eritrociti piccoli e ipocromici	<120 (F) <140 (M)	<10	<16

M = maschi; F = femmine. Hb = emoglobina; Tf = transferrina; RBC = *red blood cell count* (conta eritrocitoria)

## Bibliografia

- Agnoli C, Baroni L, Bertini I, Ciappellano S, Fabbri A, Papa M, Pellegrini N, Sbarbati R, Scarino ML, Siani V, Sieri S. Position paper on vegetarian diets from the working group of the Italian Society of Human Nutrition. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 2017; 27: 1037-1052.
- Baker LB. Sweating Rate and Sweat Sodium Concentration in Athletes: A Review of Methodology and Intra/Interindividual Variability. *Sports Med* 2017; 47(Suppl 1): 111-128.
- Barnes KA, Anderson ML, Stofan JR, Dalrymple KJ, Reimel AJ, Roberts TJ, Randell RK, Ungaro CT, Baker LB. Normative data for sweating rate, sweat sodium concentration, and sweat sodium loss in athletes: An update and analysis by sport. *J Sport Sci* 2019; 37: 2356-2366.
- Buono MJ, Kolding M, Leslie E, Moreno D, Norwood S, Ordille A, Weller R. Heat acclimation causes a linear decrease in sweat sodium ion concentration. *J Therm Biol* 2018; 71: 237-240.
- Burden RJ, Morton K, Richards T, Whyte GP, Pedlar CR. Is iron treatment beneficial in, iron-deficient but non-anaemic (IDNA) endurance athletes? A systematic review and meta-analysis. *Brit J Sport Med* 2015; 49: 1389-1397.
- Díaz Martínez AE, Alcaide Martín MJ, González-Gross M. Basal Values of Biochemical and Hematological Parameters in Elite Athletes. *Int J Env Res Pub HE* 2022; 19: 3059.
- Dolan E, Dumas A, Keane KM, Bestetti G, Freitas LHM, Gualano B, Kohrt WM, Kelley GA, Pereira RMR, Sale C, Swinton PA. The Bone Biomarker Response to an Acute Bout of Exercise: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Med* 2022; 52: 2889-2908.
- Garrison SR, Korownyk CS, Kolber MR, Allan GM, Musini VM, Sekhon RK, Dugré N. Magnesium for skeletal muscle cramps. *Cochrane Database Syst Rev* 2020; 9: CD009402.
- Giampietro M. L'alimentazione per l'esercizio fisico e lo sport. Il Pensiero Scientifico, 2005.
- Goto K, Kojima C, Kasai N, Sumi D, Hayashi N, Hwang H. Resistance exercise causes greater serum hepcidin elevation than endurance (cycling) exercise. *PLoS One* 2020; 15: e0228766.
- Heffernan SM, Horner K, De Vito G, Conway GE. The Role of Mineral and Trace Element Supplementation in Exercise and Athletic Performance: A Systematic Review. *Nutrients* 2019; 11: 696.
- Hew-Butler T, Loi V, Pani A, Rosner MH. Exercise-Associated Hyponatremia: 2017 Update. *Front Med (Lausanne)* 2017; 4: 21.
- Kohrt WM, Bloomfield SA, Little KD, Nelson ME, Yingling VR; American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine Position Stand: physical activity and bone health. *Med Sci Sport Exer* 2004; 36: 1985-1996.
- Kohrt WM, Wherry SJ, Wolfe P, Sherk VD, Wellington T, Swanson CM, Weaver CM, Boxer RS. Maintenance of Serum Ionized Calcium During Exercise Attenuates Parathyroid Hormone and Bone Resorption Responses. *J Bone Min Res* 2018; 33: 1326-1334.
- Lindigner MI, Cairns SP. Regulation of muscle potassium: exercise performance, fatigue and health implications. *Eur J Appl Physiol* 2021; 121: 721-748.
- Lukaski HC. Magnesium, zinc, and chromium nutriture and physical activity. *Am J Clin Nutr* 2000; 72(Suppl 2): 585S-593S.
- Lundy B, McKay AKA, Fensham NC, Tee N, Anderson B, Morabito A, Ross MLR, Sim M, Ackerman KE, Burke LM. The Impact of Acute Calcium Intake on Bone Turnover Markers during a Training Day in Elite Male Rowers. *Med Sci Sport Exer* 2023; 55: 55-65.
- Maeda T, Hamada Y, Funakoshi S, Hoshi R, Tsuji M, Narumi-Hyakutake A, Matsumoto M, Kakutani Y, Hatamoto Y, Yoshimura E, Miyachi M, Takimoto H. Determination of Optimal Daily Magnesium Intake among Physically Active People: A Scoping Review. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)* 2022; 68: 189-203.
- Marcadet L, Bouredji Z, Argaw A, Frenette J. The Roles of RANK/RANKL/OPG in Cardiac, Skeletal, and Smooth Muscles in Health and Disease. *Front Cell Dev Biol* 2022; 10: 903657.

- McCormick R, Moretti D, McKay AKA, Laarakkers CM, Vanswelm R, Trinder D, Cox GR, Zimmerman MB, Sim M, Goodman C, Dawson B, Peeling P. The Impact of Morning versus Afternoon Exercise on Iron Absorption in Athletes. *Med Sci Sport Exer* 2019; 51: 2147-2155.
- McCormick R, Sim M, Dawson B, Peeling P. Refining Treatment Strategies for Iron Deficient Athletes. *Sports Med* 2020; 50: 2111-2123.
- McCubbin AJ. Modelling sodium requirements of athletes across a variety of exercise scenarios-Identifying when to test and target, or season to taste. *Eur J Sport Sci* 2023; 23: 992-1000.
- McDermott BP, Anderson SA, Armstrong LE, Casa DJ, Cheuvront SN, Cooper L, Kenney WL, O'Connor FG, Roberts WO. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for the Physically Active. *J Athl Train* 2017; 52: 877-895.
- Moss K, Kreutzer A, Graybeal AJ, Zhang Y, Braun-Trocchio R, Porter RR, Shah M. Nutrient Adequacy in Endurance Athletes. *Int J Env Res Pub HE* 2023; 20: 5469.
- Nakamura T, Naguro I, Ichijo H. Iron homeostasis and iron-regulated ROS in cell death, senescence and human diseases. *BBA-Gen Subjects* 2019; 1863: 1398-1409.
- Nemeth E, Ganz T. Hepcidin and Iron in Health and Disease. *Annu Rev Med* 2023; 74: 261-277.
- Peeling P, Dawson B, Goodman C, Landers G, Wiegerinck ET, Swinkels DW, Trinder D. Effects of exercise on hepcidin response and iron metabolism during recovery. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2009; 19: 583-597.
- Pickering G, Mazur A, Trousselard M, Bienkowski P, Yaltsewa N, Amessou M, Noah L, Pouteau E. Magnesium Status and Stress: The Vicious Circle Concept Revisited. *Nutrients* 2020; 12: 3672.
- Pinto D, Alshahrani M, Chapurlat R, Chevalley T, Dennison E, Camargos BM, Papaioannou A, Silverman S, Kaux JF, Lane NE, Morales Torres J, Paccou J, Rizzoli R, Bruyere O; Rehabilitation Working Group of IOF Committee of Scientific Advisors. The global approach to rehabilitation following an osteoporotic fragility fracture: A review of the rehabilitation working group of the International Osteoporosis Foundation (IOF) committee of scientific advisors. *Osteoporos Int* 2022; 33: 527-540.
- Pollock N, Chakraverty R, Taylor I, Killer SC. An 8-year Analysis of Magnesium Status in Elite International Track & Field Athletes. *J Am Coll Nutr* 2020; 39: 443-449.
- Ranchordas MK, Tiller NB, Ramchandani G, Jutley R, Blow A, Tye J, Drury B. Normative data on regional sweat-sodium concentrations of professional male team-sport athletes. *J Int Soc Sport Nutr* 2017; 14: 40.
- Rubeor A, Goojha C, Manning J, White J. Does Iron Supplementation Improve Performance in Iron-Deficient Nonanemic Athletes? *Sports Health* 2018; 10: 400-405.
- Sale C, Elliott-Sale KJ. Nutrition and Athlete Bone Health. *Sports Med* 2019; 49(Suppl 2): 139-151.
- Santiago P. Ferrous versus ferric oral iron formulations for the treatment of iron deficiency: a clinical overview. *Sci World J* 2012; 2012: 846824.
- Sim M, Garvican-Lewis LA, Cox GR, Govus A, McKay AKA, Stellingwerff T, Peeling P. Iron considerations for the athlete: a narrative review. *Eur J Appl Physiol* 2019; 119: 1463-1478.
- Sims ST, Kerksick CM, Smith-Ryan AE, Janse de Jonge XAK, Hirsch KR, Arent SM, Hewlings SJ, Kleiner SM, Bustillo E, Tartar JL, Starratt VG, Kreider RB, Greenwalt C, Rentería LI, Ormsbee MJ, VanDusseldorp TA, Campbell BI, Kalman DS, Antonio J. International society of sports nutrition position stand: nutritional concerns of the female athlete. *J Int Soc Sport Nutr* 2023; 20: 2204066.
- SINU, Società Italiana di Nutrizione Umana. LARN-Livelli di Assunzione di Riferimento di Nutrienti ed energia per la popolazione italiana. V Revisione 2024. Milano: Biomedia Editore, 2024.
- Staab JS, Lutz LJ, Foulis SA, Gaffney-Stomberg E, Hughes JM. Load carriage aerobic exercise stimulates a transient rise in biochemical markers of bone formation and resorption. *J Appl Physiol* (1985) 2023; 134: 85-94.
- Stoffel NU, Cercamondi CI, Brittenham G, Zeder C, Geurts-Moespot AJ, Swinkels DW, Moretti D, Zimmermann MB. Iron absorption from oral iron supplements given on consecu-

tive versus alternate days and as single morning doses versus twice-daily split dosing in iron-depleted women: two open-label, randomised controlled trials. *Lancet Haematol* 2017; 4: e524–e533.

Stoffel NU, von Siebenthal HK, Moretti D, Zimmermann MB. Oral iron supplementation in iron-deficient women: How much and how often? *Mol Asp Med* 2020; 75:100865.

Tarsitano MG, Quinzi F, Folino K, Greco F, Oranges FP, Cerulli C, Emerenziani GP. Effects of magnesium supplementation on muscle soreness in different type of physical activities: a systematic review. *J Transl Med* 2024; 22: 629.

Tolkien Z, Stecher L, Mander AP, Pereira DI, Powell JJ. Ferrous sulfate supplementation

causes significant gastrointestinal side-effects in adults: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2015; 10: e0117383.

Turner CH, Robling AG. Mechanisms by which exercise improves bone strength. *J Bone Miner Metab* 2005; (Suppl 23): 16-22.

Veniamakis E, Kaplanis G, Voulgaris P, Nikolaidis PT. Effects of Sodium Intake on Health and Performance in Endurance and Ultra-Endurance Sports. *Int J Env Res Pub HE* 2022; 19: 3651.

Wherry SJ, Swanson CM, Kohrt WM. Acute catabolic bone metabolism response to exercise in young and older adults: A narrative review. *Exp Gerontol* 2022; 157: 111633.



# Composti bioattivi della dieta

## REAZIONI INFIAMMATORIE E STRESS OSSIDATIVO CORRELATI ALL'ESERCIZIO FISICO

Lo stress metabolico e meccanico, associato con la fatica muscolare indotta dall'esercizio fisico, comporta delle variazioni a livello dei tessuti corporei: a seconda del grado di danno muscolare, queste variazioni possono durare anche per alcune settimane (*Markus et al., 2021*). Questa condizione di fatica, definita come danno muscolare indotto dall'esercizio fisico (*Exercise-Induced Muscle Damage*, EIMD), si manifesta con debolezza muscolare, dolore e ridotta capacità di eseguire le successive sessioni di allenamento/competizione per un certo periodo di tempo (*Owens et al., 2019*). I precisi meccanismi responsabili dell'EIMD devono essere ancora chiariti; ad ogni modo, è ampiamente accettato il fatto che la risposta sia di tipo bifasico. In una prima fase, indotta da un carico meccanico elevato e dallo stress metabolico, si evidenzia un danno nelle componenti contrattili e connettivali del tessuto muscolare, che provoca così un'aumentata permeabilità cellulare. Oltre a questo, durante l'esercizio fisico aumenta la produzione di specie reattive dell'ossigeno e dell'azoto (*Reactive Oxidative and Nitrogen Species*, RONS) a causa dell'aumento del consumo di ossigeno. Ci sono poi altri fattori che possono aumentare la fatica muscolare: tra questi, la riduzione sensibile/esaурimento dei substrati energetici (in particolare fosfocreatina e glicogeno) e l'accumulo di prodotti metabolici (ioni ammonio e idrogeno), che diminuiscono il pH e alterano l'ambiente cellulare muscolare e plasmatico. Le alterazioni metaboliche a livello muscolare possono poi agire da segnale afferente, aumentando così la cosiddetta fatica centrale (*Allen et al., 2008*).

Le modificazioni strutturali e biochimiche che avvengono durante l'esercizio fisico intenso e la fase iniziale dell'EIMD sono seguite da un processo di riparazione, adattamento e ritorno alla normalità dei tessuti danneggiati che, paradossalmente, è associato ad un aumento della condizione infiammatoria e dello stress ossidativo (*Owens et al., 2019*). L'accumulo dei composti infiammatori stimola il richiamo dei fluidi e l'attivazione dei nocicettori, meccanismi entrambi legati alla sensazione di dolore. I RONS agiscono come molecole di segnale associate ai fenomeni di angiogenesi, biogenesi mitocondriale, sensibilità insulinica e ipertrofia muscolare, tutti fattori che, nel tempo, aumentano la capacità di prestazione fisica (*Gomes et al., 2012*). I composti dell'infiammazione svolgono di fatto ruoli chiave nella fase di riparazione e rimodellamento muscolare, controllando l'attivazione di cellule (neutrofili e macrofagi) e radicali liberi, tra cui l'ossido nitrico, nelle prime fasi del processo; si ritiene che queste risposte siano essenziali per la rigenerazione e riparazione dei danni a livello muscolare e, in generale, l'adattamento dell'organismo nei confronti dello stress fisico. L'adattamento progressivo allo stimolo allenante migliora la capacità aerobica, la vasodilatazione, la funzione ventricolare, la resistenza insulinica e l'iperemia durante l'esercizio fisico (*Gonçalves et al., 2022*).

Cionondimeno, quando il livello di stress indotto dall'esercizio diventa eccessivo, superando la capacità dell'organismo di farvi fronte, si può instaurare una condizione metabolica potenzialmente dannosa per la salute, che può limitare anche la capacità di prestazione e di sopportare un determinato carico di lavoro. È possibile quindi che esista una soglia oltre la quale il danno muscolare indotto dall'esercizio fisico, e la successiva fase di riparazione, non abbia più effetti positivi nella fase di adattamento allo stimolo

allenante. Ciò potrebbe ridurre la capacità individuale di allenamento e/o di recupero dopo l'attività fisica.

In quest'ottica, per ridurre il danno muscolare associato alla risposta infiammatoria dopo l'attività fisica e contenere la produzione, e/o favorire la rimozione, dei metaboliti associati allo stress infiammatorio e ossidativo sono state proposte negli anni diverse strategie, quali crioterapia, massaggi, ed anche misure di tipo dietetico (*Sousa et al., 2014*). In particolare, negli ultimi decenni, il consumo di determinati alimenti/sostanze contenenti specifici composti bioattivi è stato uno dei campi della nutrizione sportiva più indagati.

I composti bioattivi possono essere estratti da piante medicinali e utilizzati come ingredienti negli integratori/nutraceutici, ma anche assunti per via alimentare, con il consumo di frutti, succhi, centrifugati, ecc. (*Newman e Cragg, 2020*). Tra tutti questi composti, le sostanze fenoliche sono state quelle oggetto, probabilmente, del maggior numero di studi nell'ambito della nutrizione sportiva (*Bowtell e Kelly, 2019*).

## Polifenoli e attività fisica

I polifenoli, derivati dai fenilpropanoidi, costituiscono la classe più ampia di metaboliti secondari delle piante, essendone stati individuati oltre diecimila (*Liu et al., 2021*). Per una descrizione esaustiva della loro classificazione, delle caratteristiche e delle fonti si rinvia al testo base dei LARN (*SINU, 2024*).

Esiste oggi un'evidenza scientifica abbastanza consistente che le sostanze polifenoliche, assunte sia con il consumo regolare delle loro fonti dietetiche (cereali, frutta, verdura, erbe, spezie, ecc.) sia con un integratore, possano fornire vantaggi legati alla prestazione e al recupero dopo l'attività fisica in differenti tipi di attività sportive (*Somerville et al., 2017; Bloedon et al., 2019; Bowtell e Kelly, 2019; Gonçalves et al., 2022*). In particolare, *Carey et al. (2021)* hanno evidenziato che l'ingestione di polifenoli per 6 o più giorni può migliorare la forza muscolare del 7% nelle 96 ore successive a un esercizio fisico che abbia provocato un danno muscolare. L'assunzione di polifenoli inoltre potrebbe ridurre del 4% il grado di indolenzimento muscolare nelle 96 ore di recupero dopo l'attività fisica (*Carey et al., 2021*). Altri studi, pur limitati e non esenti da limiti metodologici, suggeriscono che un'integrazione acuta con 300 mg di polifenoli, 1-2 ore prima dell'esercizio, possa migliorare la prestazione durante attività di endurance (di lunga durata) e di sprint ripetuti mediante meccanismi di tipo antiossidante e vasodilatatore (*Bowtell e Kelly, 2019*). Un maggior numero di studi suggerisce, altresì, che l'integrazione con > 1000 mg di polifenoli al giorno, per 3 o più giorni prima e dopo l'attività fisica, possa migliorare il recupero, riducendo il danno muscolare, ancora grazie a meccanismi antiossidanti e antinfiammatori. In base a diversi studi, con livello qualitativo di evidenza da moderato a molto basso, anche il consumo di alimenti, succhi e concentrati ricchi di polifenoli sembra in grado di ridurre l'EIMD con benefici più evidenti a distanza di 48-72 ore dall'attività fisica (*Rickards et al., 2021*).

Questi effetti positivi sono spiegabili, come già menzionato più sopra, con la capacità delle sostanze fenoliche di ridurre lo stress ossidativo, e di conseguenza, ridurre l'infiammazione e le alterazioni della risposta immunitaria, conseguenti all'attività fisica, come pure di migliorare alcuni aspetti metabolici nella fase di recupero, la capacità aerobica, la forza muscolare e le stesse difese immunitarie (*Kennedy, 2019*).

È comunque importante sottolineare che sono necessari studi più approfonditi ed esaustivi che possano meglio precisare le potenzialità biologiche e salutistiche dell'uso dei diversi composti fenolici, così come definire i dosaggi sicuri di queste sostanze, in

particolare quando vengono utilizzate, in forma concentrata, sotto forma di integratori: tutto ciò alla luce dell'evidenza che alcuni composti fenolici, quando assunti ad alte dosi, possono produrre effetti negativi (cancerogeni e/o genotossici, azione pro-ossidante, interazione con alcuni farmaci, interferenza con la funzionalità tiroidea) (*Mennen et al.*, 2005). Rimangono inoltre altre questioni aperte, come sottolineato da Bowtell e Kelly (2019), tra cui, in particolare, l'impatto esercitato sulla reale efficacia degli integratori contenenti polifenoli dalle condizioni di crescita della frutta e dai processi di estrazione di queste sostanze e di conservazione del prodotto, informazioni per lo più assenti negli studi presenti in letteratura.

## Principali alimenti contenenti composti bioattivi

Di seguito, una breve rassegna degli alimenti (frutta e ortaggi) contenenti i composti bioattivi maggiormente studiati negli ultimi anni.

### **Amarena di Montmorency**

L'amarena di Montmorency può essere consumata come bevanda ottenuta da un estratto polverizzato o come concentrato liquido. Contiene principalmente antocianine. In alcuni studi il suo consumo è stato associato con un miglioramento della forza muscolare dopo esercizio fisico e del recupero funzionale dopo un'ampia varietà di attività fisiche differenti, incluse quelle contro resistenza (Bowtell *et al.*, 2011), sprint ripetuti (Bell *et al.*, 2016; Brown *et al.*, 2019) e di lunga durata (Howatson *et al.*, 2010): ciò sia in atleti allenati (Bell *et al.*, 2015) sia non allenati/sportivi amatoriali (Connolly *et al.*, 2006). Nella maggior parte degli studi è stata verificata una riduzione dell'indolenzimento muscolare dopo l'esercizio. Oltre al miglioramento degli indicatori del recupero fisico, diversi studi hanno anche messo in evidenza un'attenuazione della risposta infiammatoria (Howatson *et al.*, 2010; Bell *et al.*, 2015; 2016; Levers *et al.*, 2016). Il dosaggio ritenuto necessario per favorire il recupero fisico è di circa 600 mg di polifenoli (corrispondenti a circa 30 mL di concentrato), da consumare due volte al giorno per almeno i 3 giorni precedenti l'esercizio (Bowtell e Kelly, 2019).

### **Ananas (bromelina e altre proteasi)**

La bromelina si trova in concentrazione apprezzabile soprattutto nel gambo dell'ananas; appartiene alla famiglia delle proteasi, un gruppo di enzimi che hanno la funzione di digerire le proteine e giocano un ruolo importante nella digestione del cibo, nella coagulazione del sangue e negli stati infiammatori. Nella letteratura scientifica l'uso delle proteasi è stato proposto in quanto potrebbero, potenzialmente, regolare in senso positivo la risposta infiammatoria dopo l'attività fisica (Buford *et al.*, 2009).

Dai lavori pubblicati emerge che le proteasi potrebbero avere un ruolo positivo nella fase di recupero, sebbene i meccanismi d'azione non siano stati chiariti. Al momento, sembra che la bromelina sia più efficace nel momento in cui viene assunta in piccole dosi e in combinazione con altre proteasi (Bongiovanni *et al.*, 2020).

Gli effetti antinfiammatori sembrano possibili soltanto se la bromelina e le altre proteasi vengono assunte in forma di integratori.

### **Curcuma**

La curcuma è una pianta erbacea perenne originaria dell'Asia meridionale, molto apprezzata per una serie di proprietà che le vengono attribuite, in gran parte riconducibili al suo contenuto di curcumina. La parte utilizzata della pianta è il rizoma, da cui si ottengono estratti che possono essere inseriti all'interno di integratori alimentari. La curcumina è il composto polifenolico responsabile della colorazione gialla della curcuma;

ha proprietà antibatteriche, antinfiammatorie, antiossidanti e ipoglicemizzanti (*Kotha e Luthria, 2019*). La curcumina è una sostanza ben tollerata dall'organismo, considerata sicura dalla Food and Drug Administration, ma scarsamente assorbita a livello gastrointestinale se assunta nella sua forma naturale, e quindi in prevalenza escreta. Per questo motivo, sono stati ideati diversi sistemi per favorirne l'assorbimento: assunzione in copresenza di piperina (componente attiva del pepe nero), adiuvanti, nanoparticelle, sistemi liposomici, micelle e complessi fosfolipidici (*Campbell et al., 2021*). Molti lavori mostrano effetti positivi e migliorativi nel recupero della forza muscolare dopo una somministrazione in acuto prima dell'attività fisica ed anche in protocolli che prevedevano l'assunzione di curcumina per più giorni (*Davis et al., 2007; Tanabe et al., 2015; Dellecroix et al., 2017; Jäger et al., 2019*). L'integrazione sia acuta che protracta si è dimostrata in grado di diminuire l'indolenzimento muscolare e alcuni marker plasmatici di danno muscolare (*McFarlin et al., 2016; Amalraj et al., 2020*), così come di ridurre lo stress ossidativo (*Takahashi et al., 2014*). Infine, alcuni studi (*McFarlin et al., 2016*) ma non altri (*Nicol et al., 2015; Tanabe et al., 2015*) hanno anche evidenziato una riduzione di alcuni fattori tipici della risposta infiammatoria. I miglioramenti dei diversi parametri implicati nel recupero dopo l'attività fisica sono stati osservati con un ampio range di dosaggi e protocolli di integrazione; tuttavia, non è chiaro se sia più efficace una somministrazione in acuto o per più giorni (*O'Connor et al., 2022*). Sebbene una rassegna esaustiva abbia concluso che il consumo orale di dosi anche elevate (6 g/die per 4-7 settimane) di curcumina non sia stato associato a segni di tossicità (*Soleimani et al., 2018*), sono stati registrati, sia pur rari, casi di epatotossicità dopo l'assunzione di prodotti a base di curcuma (*Luber et al., 2019*).

In conclusione, la curcumina sembra essere un composto bioattivo promettente per migliorare il recupero dopo l'attività fisica, nonostante non sia ancora stabilito quale sia il miglior protocollo di integrazione.

### **Melagrana**

La melagrana contiene principalmente ellagitannini (80-90%) e un quantitativo minore (8-15%) di antocianine (*Seeram et al., 2004*). Il consumo di melagrana prima di un esercizio contro resistenza aumenta lo stato antiossidante del plasma ed è in grado di ridurre alcuni marker di stress ossidativo (*Ammar et al., 2017*). Secondo alcuni studi (*Trexler et al., 2014; Roelofs et al., 2017*) il consumo di melagrana 30 minuti prima di un esercizio fisico potrebbe aumentare il diametro e il flusso dei vasi sanguigni, suggerendo un legame tra il suo consumo e il trasporto dell'ossigeno. Questi stessi effetti, comunque, non sono stati studiati nella fase di recupero.

La dose giornaliera ritenuta efficace per ottenere miglioramenti metabolici nella fase di recupero è pari a 500 mL di succo o 30 mL di concentrato di melagrana, che forniscono circa 650 mg di polifenoli, da consumare nei 5 giorni precedenti la prova fisica. Non si conoscono gli effetti della melagrana riguardo gli esercizi di endurance.

### **Mirtillo (nero) gigante americano**

Tra le bacche, il mirtillo nero è quella che ha un contenuto particolarmente elevato di polifenoli della sottoclasse delle antocianine. Alcune ricerche hanno evidenziato che sia il frutto fresco/congelato sia la forma polverizzata può migliorare il recupero dopo un esercizio fisico sia di tipo contro resistenza sia di endurance. Il dosaggio impiegato nei diversi protocolli sperimentali è molto variabile, con la durata dell'integrazione variabile da 72 ore a 8 settimane prima dell'esercizio (*Bloedon et al., 2019*). La dose minima testata che può produrre un effetto positivo sul recupero è di 600 g (pari a 1360 mg di polife-

noli), distribuita in tre momenti diversi nel giorno dell'esercizio, e di 200 g (420 mg di polifenoli) al giorno per i due giorni dopo l'esercizio.

Sono comunque necessari ulteriori studi che possano confermare i primi risultati positivi ottenuti.

### Ribes nero

Come il mirtillo nero, anche il ribes nero è ricco di molecole polifenoliche della sottoclasse delle antocianine (130–460 mg/100 g di frutto); alcuni studi affermano che il tipo di antocianine presenti nel ribes nero (glicosidi della delphinidina) abbiano un'attività antiossidante più spiccata rispetto a quelli presenti nei mirtilli neri (glicosidi della malvidina) (*Braakhuis et al., 2020*). Il consumo di ribes nero, sia sotto forma di succo sia come estratto, è stato associato ad una maggiore capacità di fronteggiare la risposta infiammatoria dopo l'attività fisica (*Hutchison et al., 2016; Hurst et al., 2019*). C'è anche una limitata evidenza che l'assunzione di ribes nero possa ridurre il danno muscolare indotto dall'esercizio, come sembra risultare dalla riduzione di alcuni marker di danno muscolare, dal recupero più veloce della funzionalità muscolare e dal minor dolore percepito a seguito dell'integrazione (*Hunt et al., 2021*).

Il dosaggio minimo in grado di ridurre la risposta infiammatoria è di circa 80 mg di antocianine (*O'Connor et al., 2022*). Dopo l'assunzione di un estratto di ribes nero si registra un aumento delle concentrazioni plasmatiche di antocianine entro 30 minuti circa, mentre il picco viene raggiunto dopo circa 2 ore (*Hurst et al., 2019*). Al pari del mirtillo nero, anche per il ribes nero il numero di studi presenti in letteratura è scarso.

### Succo di barbabietola (nitrati)

Il succo di barbabietola contiene diversi composti bioattivi (oltre ai composti fenolici, nitrati, acido ascorbico, carotenoidi, flavonoidi e betalaina) responsabili sia del colore violetto sia della capacità di attenuare lo stress ossidativo e stimolare la produzione di antiossidanti endogeni (*Clifford et al., 2016*). Il consumo di succo di barbabietola è stato associato ai miglioramenti del consumo di ossigeno e della prestazione fisica sia durante un esercizio di endurance submassimale sia di tipo contro resistenza in atleti di basso o moderato livello agonistico: tutto ciò viene attribuito in particolare al suo contenuto elevato di nitrati (*Lansley et al., 2011; Wylie et al., 2013*). Più discusso invece è l'eventuale effetto positivo nella fase di recupero.

Secondo alcuni studi, quando viene consumato in dosi multiple di 150-250 mL nell'arco di diversi giorni dopo l'attività fisica (ma in altri studi anche prima dell'attività) si registra un miglioramento nella funzionalità muscolare successivamente all'esercizio e una riduzione dell'indolenzimento muscolare a fronte di nessuna variazione nei marker plasmatici di fatica e di stress ossidativo (*Clifford et al., 2016; Daab et al., 2021*).

Diversi protocolli di studio hanno utilizzato 7-8 dosi di circa 250 mL di succo di barbabietola, contenenti 400 mg di composti fenolici, 194 mg di betanina e 210 mg di nitrati, consumati nell'arco di 3-4 giorni (*Clifford et al., 2016; Carriker et al., 2018; O'Connor et al., 2022*).

Per quanto riguarda i nitrati, diversi studi hanno dimostrato benefici per la prestazione fisica quando siano assunti in acuto o anche cronicamente in una dose compresa fra 5 e 17 mmol (300-1041 mg) 2-3 ore prima dell'attività e, principalmente, in caso di attività fisica sostenuta che preveda una durata compresa tra 12 a 40 minuti (effetto rilevabile soprattutto nell'intervallo 10-17 minuti) in individui meno allenati (*Macuh e Knap, 2021*). Gli effetti ergogenici, invece, sembrano meno evidenti in soggetti molto allenati.

I nitrati sono contenuti anche in altri vegetali comunemente consumati ma, per diversi motivi, è abbastanza complesso valutare il reale contenuto di nitrati in questi alimenti. Secondo alcune stime, un consumo di circa 250-500 g/die di vegetali a foglia potrebbe fornire all'organismo una quantità sufficiente di nitrati in relazione all'esercizio fisico praticato (*Macuh e Knap, 2021*): al riguardo, tuttavia, i risultati ottenuti sul recupero dopo l'attività fisica non sono univoci, pur non essendosi registrati effetti avversi.

### **Succo di cocomero (L-citrullina)**

Il succo di cocomero contiene diversi composti in grado, almeno potenzialmente, di favorire un miglior recupero dopo l'attività fisica: in particolare, L-citrullina, licopene, glutazione, oltre a vitamina A e C. La L-citrullina è un prodotto di ossidazione dell'L-arginina, che gioca un ruolo essenziale nella rimozione degli ioni ammonio, prodotto di scarto associato alla fatica indotta da esercizio fisico, sotto forma di urea (*Gonzalez e Trexler, 2020*). È ancora controversa la questione dell'effettiva efficacia della citrullina nel migliorare il recupero dopo l'attività fisica (*da Siva et al., 2017; Rhim et al., 2020*); qualche autore propone anche di assumerla sotto forma di succo di cocomero per sfruttare la copresenza degli altri composti bioattivi presenti in questo frutto (*Shanely et al., 2016; Blohm et al., 2020*).

Al momento, i dati sono ancora limitati per poter affermare che il succo di cocomero possa migliorare il recupero dopo l'attività fisica; peraltro, in alcuni casi quantità eccessive di succo di anguria possono creare disagio a livello gastrointestinale.

In conclusione, c'è un livello di evidenza abbastanza robusto che il consumo di composti bioattivi, derivati dalla frutta o da altri alimenti di origine vegetale, possa migliorare la capacità di prestazione atletica attraverso meccanismi legati agli effetti antiossidanti, vascolari e antinfiammatori di queste sostanze. Allo stesso modo, un consumo cronico di queste sostanze polifenoliche sembra poter migliorare le capacità di recupero dopo un esercizio di elevata intensità (*Somerville et al., 2017; Bloedon et al., 2019; Carey et al., 2021*).

In termini pratici, il consumo di questi alimenti/sostanze potrebbe migliorare la prestazione, in acuto, durante eventi sportivi che si svolgono nel corso di più giorni o in più sessioni/match ravvicinati o anche permettere all'atleta di sostenere carichi di lavoro maggiori, con un rischio ridotto di danno biologico e muscolare e/o una minore sensazione di fatica. In relazione alla possibilità di assumere queste sostanze come integratori, il consenso scientifico generale tende, ancora oggi, a ritenere più appropriata un'integrazione nutrizionale con un approccio periodizzato, in maniera regolare e continua, vale a dire a proporre un maggior consumo di alimenti contenenti naturalmente composti bioattivi durante periodi di elevato carico di allenamento o di gare ripetute e ravvicinate (*Bongiovanni et al., 2020*).

In ogni caso, occorre ribadire che la ricerca in questo campo è ancora in fase iniziale e sono necessari studi più approfonditi per definire i dosaggi ottimali di queste sostanze, le relative modalità di somministrazione, la durata e l'intensità dell'esercizio fisico per cui, assumendole, sia possibile ottenere dei miglioramenti prestativi che superino il vaglio di studi con una casistica maggiore e condotti seguendo criteri di qualità nei protocolli sperimentali utilizzati. Le discrepanze osservate tra i diversi studi potrebbero di fatto essere legati alle differenze nei protocolli sperimentali utilizzati in relazione alla composizione e al dosaggio dell'integratore, al tempo, alle modalità e alla posologia, così come al tipo di popolazione studiata (sedentari, atleti amatoriali e di alto livello di prestazione) ovvero alla tipologia di attività fisica, ai parametri di prestazione o di recupero dopo l'esercizio.

## Bibliografia

- Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev* 2008; 88: 287-332.
- Amalraj A, Divya C, Gopi S. The Effects of Bioavailable Curcumin (Cureit) on Delayed Onset Muscle Soreness Induced By Eccentric Continuous Exercise: A Randomized, Placebo-Controlled, Double-Blind Clinical Study. *J Med Food* 2020; 23: 545-553.
- Ammar A, Turki M, Hammouda O, Chtourou H, Trabelsi K, Bouaziz M, Abdelkarim O, Hoeckelmann A, Ayadi F, Souissi N, Bailey SJ, Driss T, Yaich S. Effects of Pomegranate Juice Supplementation on Oxidative Stress Biomarkers Following Weightlifting Exercise. *Nutrients* 2017; 9: 819.
- Bell PG, Walshe IH, Davison GW, Stevenson EJ, Howatson G. Recovery facilitation with Montmorency cherries following high-intensity, metabolically challenging exercise. *Appl Physiol Nutr Metab* 2015; 40: 414-423.
- Bell PG, Stevenson E, Davison GW, Howatson G. The Effects of Montmorency Tart Cherry Concentrate Supplementation on Recovery Following Prolonged, Intermittent Exercise. *Nutrients* 2016; 8: 441.
- Bloedon TK, Braithwaite RE, Carson IA, Klimis-Zacas D, Lehnhard RA. Impact of anthocyanin-rich whole fruit consumption on exercise-induced oxidative stress and inflammation: a systematic review and meta-analysis. *Nutr Rev* 2019; 77: 630-645.
- Blohm K, Beidler J, Rosen P, Kressler J, Hong MY. Effect of acute watermelon juice supplementation on post-submaximal exercise heart rate recovery, blood lactate, blood pressure, blood glucose and muscle soreness in healthy non-athletic men and women. *Int J Food Sci Nutr* 2020; 71: 482-489.
- Bongiovanni T, Genovesi F, Nemmer M, Carling C, Alberti G, Howatson G. Nutritional interventions for reducing the signs and symptoms of exercise-induced muscle damage and accelerate recovery in athletes: current knowledge, practical application and future perspectives. *Eur J Appl Physiol* 2020; 120: 1965-1996.
- Bowtell JL, Sumners DP, Dyer A, Fox P, Mileva KN. Montmorency cherry juice reduces muscle damage caused by intensive strength exercise. *Med Sci Sport Exer* 2011; 43: 1544-1551.
- Bowtell J, Kelly V. Fruit-Derived Polyphenol Supplementation for Athlete Recovery and Performance. *Sports Med* 2019; 49(Suppl 1): 3-23.
- Braakhuis AJ, Somerville VX, Hurst RD. The effect of New Zealand blackcurrant on sport performance and related biomarkers: a systematic review and meta-analysis. *J Int Soc Sport Nutr* 2020; 17: 25.
- Brown MA, Stevenson EJ, Howatson G. Montmorency tart cherry (*Prunus cerasus L.*) supplementation accelerates recovery from exercise-induced muscle damage in females. *Eur J Sport Sci* 2019; 19: 95-102.
- Buford TW, Cooke MB, Redd LL, Hudson GM, Shelmadine BD, Willoughby DS. Protease supplementation improves muscle function after eccentric exercise. *Med Sci Sport Exer* 2009; 41: 1908-1914.
- Campbell MS, Carlini NA, Fleenor BS. Influence of curcumin on performance and post-exercise recovery. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2021; 61: 1152-1162.
- Carey CC, Lucey A, Doyle L. Flavonoid Containing Polyphenol Consumption and Recovery from Exercise-Induced Muscle Damage: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 2021; 51: 1293-1316.
- Carriker CR, Rombach P, Stevens BM, Vaughan RA, Gibson AL. Acute dietary nitrate supplementation does not attenuate oxidative stress or the hemodynamic response during submaximal exercise in hypobaric hypoxia. *Appl Physiol Nutr Metab* 2018; 43: 1268-1274.
- Clifford T, Berntzen B, Davison GW, West DJ, Howatson G, Stevenson EJ. Effects of Beetroot Juice on Recovery of Muscle Function and Performance between Bouts of Repeated Sprint Exercise. *Nutrients* 2016; 8: 506.
- Connolly DA, McHugh MP, Padilla-Zakour OI, Carlson L, Sayers SP. Efficacy of a tart cherry juice blend in preventing the symptoms of muscle damage. *Br J Sport Med* 2006; 40: 679-683.

101

102

- Daab W, Bouzid MA, Lajri M, Bouchiba M, Saafi MA, Rebai H. Chronic Beetroot Juice Supplementation Accelerates Recovery Kinetics following Simulated Match Play in Soccer Players. *J Am Coll Nutr* 2021; 40: 61-69.
- da Silva DK, Jacinto JL, de Andrade WB, Roveratti MC, Estoche JM, Balvedi MCW, de Oliveira DB, da Silva RA, Aguiar AF. Citrulline Malate Does Not Improve Muscle Recovery after Resistance Exercise in Untrained Young Adult Men. *Nutrients* 2017; 9: 1132.
- Davis JM, Murphy EA, Carmichael MD, Zielinski MR, Groschwitz CM, Brown AS, Gaglani JD, Ghaffar A, Mayer EP. Curcumin effects on inflammation and performance recovery following eccentric exercise-induced muscle damage. *Am J Physiol-Reg I* 2007; 292: R2168-R2173.
- Delecroix B, Abaïdia AE, Leduc C, Dawson B, Dupont G. Curcumin and Piperine Supplementation and Recovery Following Exercise Induced Muscle Damage: A Randomized Controlled Trial. *J Sport Sci Med* 2017; 16: 147-153.
- Gomes EC, Silva AN, de Oliveira MR. Oxidants, antioxidants, and the beneficial roles of exercise-induced production of reactive species. *Oxid Med Cell Longev* 2012; 2012: 756132.
- Gonçalves AC, Gaspar D, Flores-Félix JD, Falcão A, Alves G, Silva LR. Effects of Functional Phenolics Dietary Supplementation on Athletes' Performance and Recovery: A Review. *Int J Mol Sci* 2022; 23: 4652.
- Gonzalez AM, Trexler ET. Effects of Citrulline Supplementation on Exercise Performance in Humans: A Review of the Current Literature. *J Strength Cond Res* 2020; 34: 1480-1495.
- Howatson G, McHugh MP, Hill JA, Brouner J, Jewell AP, van Someren KA, Shave RE, Howatson SA. Influence of tart cherry juice on indices of recovery following marathon running. *Scand J Med Sci Sport* 2010; 20: 843-852.
- Hunt JEA, Coelho MOC, Buxton S, Butcher R, Foran D, Rowland D, Gurton W, Macrae H, Jones L, Gapper KS, Manders RJF, King DG. Consumption of New Zealand Blackcurrant Extract Improves Recovery from Exercise-Induced Muscle Damage in Non-Resistance Trained Men and Women: A Double-Blind Randomised Trial. *Nutrients* 2021; 13: 2875.
- Hurst RD, Lyall KA, Roberts JM, Perthaner A, Wells RW, Cooney JM, Jensen DJ, Burr NS, Hurst SM. Consumption of an Anthocyanin-Rich Extract Made From New Zealand Blackcurrants Prior to Exercise May Assist Recovery From Oxidative Stress and Maintains Circulating Neutrophil Function: A Pilot Study. *Front Nutr* 2019; 6: 73.
- Hutchison AT, Flieller EB, Dillon KJ, Leverett BD. Black Currant Nectar Reduces Muscle Damage and Inflammation Following a Bout of High-Intensity Eccentric Contractions. *J Diet Suppl* 2016; 13: 1-15.
- Kennedy DO. Phytochemicals for Improving Aspects of Cognitive Function and Psychological State Potentially Relevant to Sports Performance. *Sports Med* 2019; 49(Suppl 1): 39-58.
- Kotha RR, Luthria DL. Curcumin: Biological, Pharmaceutical, Nutraceutical, and Analytical Aspects. *Molecules* 2019; 24: 2930.
- Jäger R, Purpura M, Kerksick CM. Eight Weeks of a High Dose of Curcumin Supplementation May Attenuate Performance Decrements Following Muscle-Damaging Exercise. *Nutrients* 2019; 11: 1692.
- Lansley KE, Winyard PG, Bailey SJ, Vanhatalo A, Wilkerson DP, Blackwell JR, Gilchrist M, Benjamin N, Jones AM. Acute dietary nitrate supplementation improves cycling time trial performance. *Med Sci Sport Exer* 2011; 43: 1125-1131.
- Levers K, Dalton R, Galvan E, O'Connor A, Goedenough C, Simbo S, Mertens-Talcott SU, Rasmussen C, Greenwood M, Riechman S, Crouse S, Kreider RB. Effects of powdered Montmorency tart cherry supplementation on acute endurance exercise performance in aerobically trained individuals. *J Int Soc Sport Nutr* 2016; 13: 22.
- Liu W, Feng Y, Yu S, Fan Z, Li X, Li J, Yin H. The Flavonoid Biosynthesis Network in Plants. *Int J Mol Sci* 2021; 22: 12824.
- Luber RP, Rentsch C, Lontos S, Pope JD, Aung AK, Schneider HG, Kemp W, Roberts SK, Majeed A. Turmeric Induced Liver Injury: A Report of Two Cases. *Case Reports Hepatol* 2019; 2019: 6741213.
- Macuh M, Knap B. Effects of Nitrate Supplementation on Exercise Performance in Humans: A Narrative Review. *Nutrients* 2021; 13: 3183.

- Markus I, Constantini K, Hoffman JR, Bartolomei S, Gepner Y. Exercise-induced muscle damage: mechanism, assessment and nutritional factors to accelerate recovery. *Eur J Appl Physiol* 2021; 121: 969-992.
- McFarlin BK, Venable AS, Henning AL, Sampson JN, Pennel K, Vingren JL, Hill DW. Reduced inflammatory and muscle damage biomarkers following oral supplementation with bioavailable curcumin. *BBA Clin* 2016; 5: 72-78.
- Mennen LI, Walker R, Bennetau-Pelissero C, Scalbert A. Risks and safety of polyphenol consumption. *Am J Clin Nutr* 2005; 81(Suppl 1): 326S-329S.
- Newman DJ, Cragg GM. Natural Products as Sources of New Drugs over the Nearly Four Decades from 01/1981 to 09/2019. *J Nat Prod* 2020; 83: 770-803.
- Nicol LM, Rowlands DS, Fazakerly R, Kellett J. Curcumin supplementation likely attenuates delayed onset muscle soreness (DOMS). *Eur J Appl Physiol* 2015; 115: 1769-1777.
- O'Connor E, Mündel T, Barnes MJ. Nutritional Compounds to Improve Post-Exercise Recovery. *Nutrients* 2022; 14: 5069.
- Owens DJ, Twist C, Cobley JN, Howatson G, Close GL. Exercise-induced muscle damage: What is it, what causes it and what are the nutritional solutions? *Eur J Sport Sci* 2019; 19: 71-85.
- Rhim HC, Kim SJ, Park J, Jang KM. Effect of citrulline on post-exercise rating of perceived exertion, muscle soreness, and blood lactate levels: A systematic review and meta-analysis. *J Sport Health Sci* 2020; 9: 553-561.
- Rickards L, Lynn A, Harrop D, Barker ME, Russell M, Ranchordas MK. Effect of Polyphenol-Rich Foods, Juices, and Concentrates on Recovery from Exercise Induced Muscle Damage: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients* 2021; 13: 2988.
- Roelofs EJ, Smith-Ryan AE, Trexler ET, Hirsch KR, Mock MG. Effects of pomegranate extract on blood flow and vessel diameter after high-intensity exercise in young, healthy adults. *Eur J Sport Sci* 2017; 17: 317-325.
- Seeram NP, Lee R, Heber D. Bioavailability of ellagic acid in human plasma after consumption of ellagitannins from pomegranate (*Punica granatum* L.) juice. *Clin Chim Acta* 2004; 348: 63-68.
- Shanely RA, Nieman DC, Perkins-Veazie P, Henson DA, Meaney MP, Knab AM, Cialdelli-Kam L. Comparison of Watermelon and Carbohydrate Beverage on Exercise-Induced Alterations in Systemic Inflammation, Immune Dysfunction, and Plasma Antioxidant Capacity. *Nutrients* 2016; 8: 518.
- SINU, Società Italiana di Nutrizione Umana. LARN-Livelli di Assunzione di Riferimento di Nutrienti ed energia per la popolazione italiana. V Revisione 2024. Milano: Biimedia Editore, 2024.
- Soleimani V, Sahebkar A, Hosseinzadeh H. Turmeric (*Curcuma longa*) and its major constituent (curcumin) as nontoxic and safe substances: Review. *Phytother Res* 2018; 32: 985-995.
- Somerville V, Bringans C, Braakhuis A. Polyphenols and Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 2017; 47: 1589-1599.
- Sousa M, Teixeira VH, Soares J. Dietary strategies to recover from exercise-induced muscle damage. *Int J Food Sci Nutr* 2014; 65: 151-163.
- Takahashi M, Suzuki K, Kim HK, Otsuka Y, Imaizumi A, Miyashita M, Sakamoto S. Effects of curcumin supplementation on exercise-induced oxidative stress in humans. *Int J Sport Med* 2014; 35: 469-475.
- Tanabe Y, Maeda S, Akazawa N, Zempo-Miyaki A, Choi Y, Ra SG, Imaizumi A, Otsuka Y, Nosaka K. Attenuation of indirect markers of eccentric exercise-induced muscle damage by curcumin. *Eur J Appl Physiol* 2015; 115: 1949-1957.
- Trexler ET, Smith-Ryan AE, Melvin MN, Roelofs EJ, Wingfield HL. Effects of pomegranate extract on blood flow and running time to exhaustion. *Appl Physiol Nutr Metab* 2014; 39: 1038-1042.
- Wylie LJ, Kelly J, Bailey SJ, Blackwell JR, Skiba PF, Winyard PG, Jeukendrup AE, Vanhatalo A, Jones AM. Beetroot juice and exercise: pharmacodynamic and dose-response relationships. *J Appl Physiol* 2013; 115: 325-336.