

L'esercizio ad alta intensità (HIT)



Biochimica metabolica dello sport e dell'esercizio fisico

Edizione digitale

Don MacLaren • James Morton

Edizione italiana a cura di **Alberto Passi**

edi-ermes



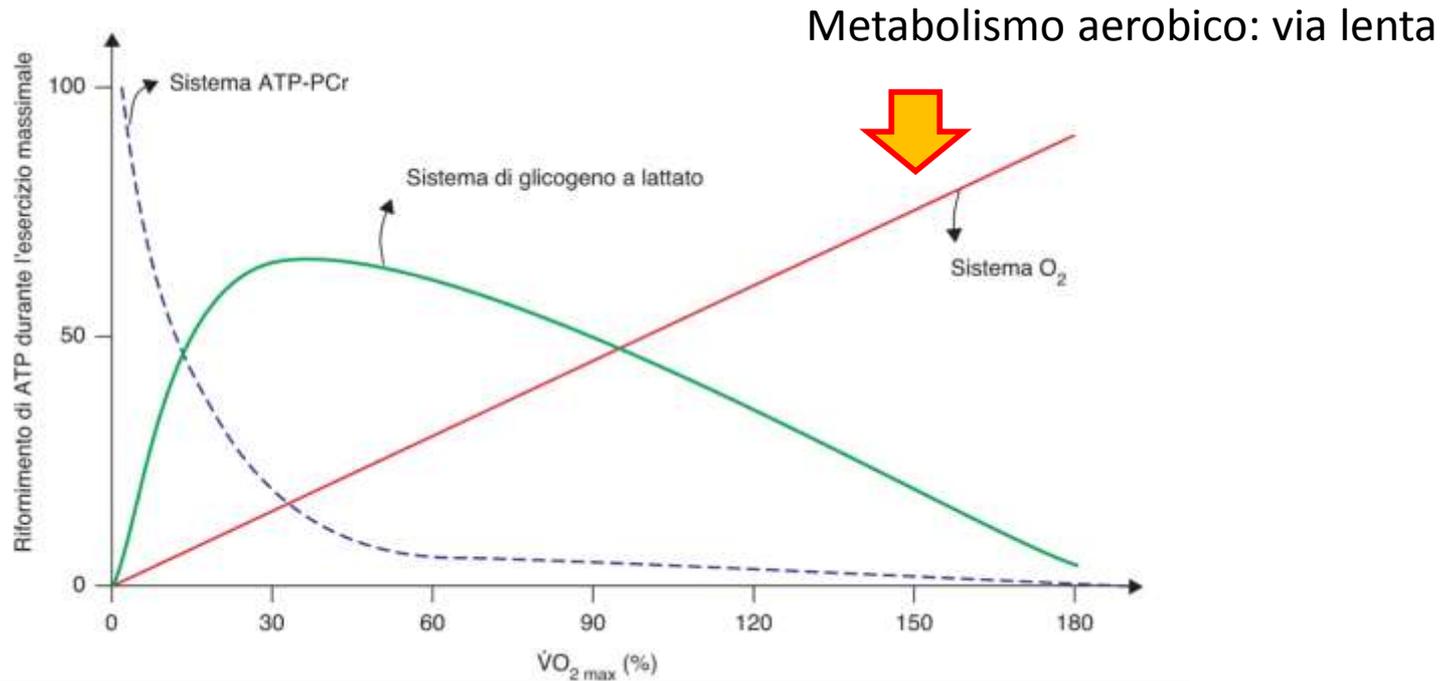
L'esercizio fisico ad alta intensità (High-Intensity Training, HIT)

Esecuzione dello **sforzo massimo** per un tempo variabile ma comunque breve (da pochi secondi a 1-2 min, p.e. ciclismo ad alta velocità, nuoto su distanze tra 50-100 m, corsa alla massima velocità su distanze tra 60 e 200 m e buona parte delle attività di campo dell'atletica, il pattinaggio di velocità, etc)

Grande richiesta di ATP: **la velocità con cui viene generato l'ATP stabilisce quanta forza o velocità possono essere erogate a quel ritmo di esercizio.**

Inizialmente si attiva il metabolismo anaerobico

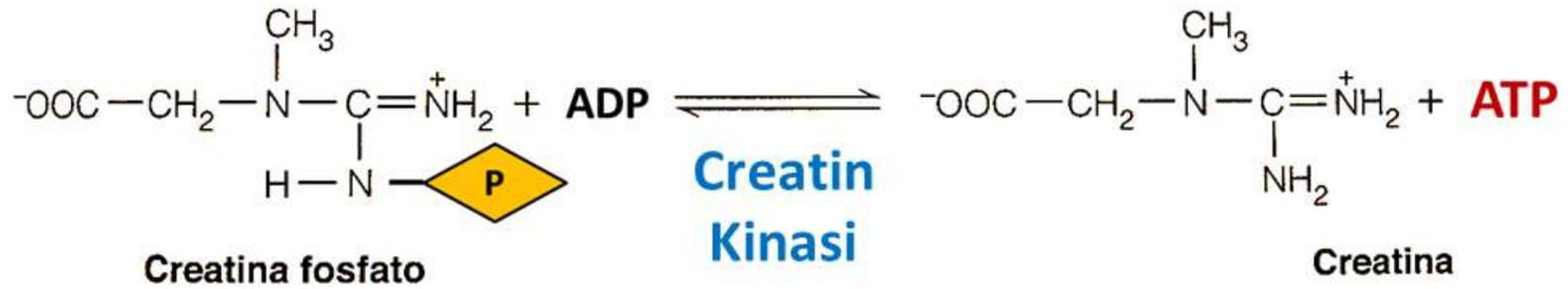
PCr, glicogenolisi e glicolisi anaerobica.



Hanno le maggiori velocità di produzione di ATP

Vengono reclutate in primis le fibre veloci 2X (glicolitiche) durante l'esercizio ad alta intensità, il glicogeno muscolare diminuisce più rapidamente nelle fibre di tipo 2X rispetto a quelle di tipo 1;

Creatina fosfato → è la principale fonte energetica del muscolo durante le **contrazioni intense e di breve durata** (p.e. nelle corse brevi fino a 100 m)



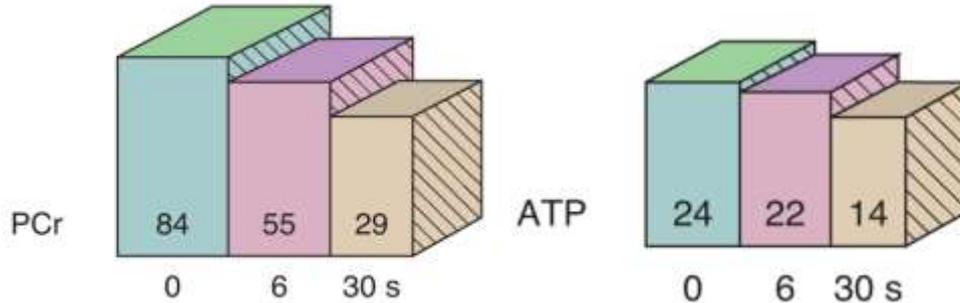
reazione molto rapida

massima velocità nella ricarica dell'ATP

- **Serbatoio di breve durata** → la **quantità** di PCr nelle fibre muscolari è piuttosto limitata: 120 g in totale in un individuo di 70 Kg.
- questa modalità di produzione di ATP è chiamata **anaerobica lattacida** perché non è necessario l'ossigeno e non si produce acido lattico
- è fondamentale negli sport che richiedono **energia massimale in tempi brevi** (**corsa veloce, sollevamento pesi, sprint** dove lo sforzo si esaurisce in **1 e 10s**)

PCr in primis e poi la glicolisi

uno studio delle **variazioni dei metaboliti** durante **sedute di ciclismo veloce** (Sprint) per tempi da 6 a 30 sec (**Cheetham 1986**)



Rimanenza (%)

	6 s	30 s
ATP	91	56
Fosfocreatina	65	34
Glicogeno	83	70

- **Aumentano i livelli di acido lattico** (250% a 6 sec, 1000% a 30 sec) → la glicolisi diventa maggiormente attiva all'aumentare della durata dello sforzo (sprint)
- **Diminuiscono i livelli della PCr** e del **glicogeno muscolare** (glicolisi), il PCr cala maggiormente del glicogeno → il PCr viene consumato prima
- Il **contenuto in ATP si è dimezzato** rispetto alla fase di riposo, calando però meno del PCr → altri metabolismi contribuiscono a ripristinarlo

NB: l'**ATP** è la forma più rapida di energia, **perché non viene consumato tutto**? Il completo consumo determinerebbe un'eccessiva **rigidità muscolare** con danneggiamento delle fibre muscolari (ATP necessario per il distacco delle teste di miosina dai filamenti sottili)

L'HIT influenza rapidamente la produzione di energia attraverso i regolatori allosterici

Nelle fasi precoci dell'HIT la **richiesta di energia è immediata**, per cui la l'attivazione delle vie metaboliche che la producono deve essere rapida (la produzione di energia, anche quella ottenuta dalla glicolisi con formazione di acido lattico, si verifica in 1 s)

- l'**impiego degli ormoni** genererebbe una sequenza di eventi troppo lenta (devono essere secreti nel sangue, trasportati nei muscoli, quindi devono legarsi alle molecole dei recettori e attivare le molecole di segnalazione)
- la **regolazione allosterica** è **immediata**

HIT: aumentano i livelli di AMP

aumento di 100 volte nella velocità di utilizzo dell'ATP rispetto allo stato di riposo

→ **richiesta di ATP molto elevata**

→ **aumento dei livelli di ADP** nella fibra muscolare → si attiva l'enzima **miocinasi** che converte due molecole di ADP in ATP e AMP

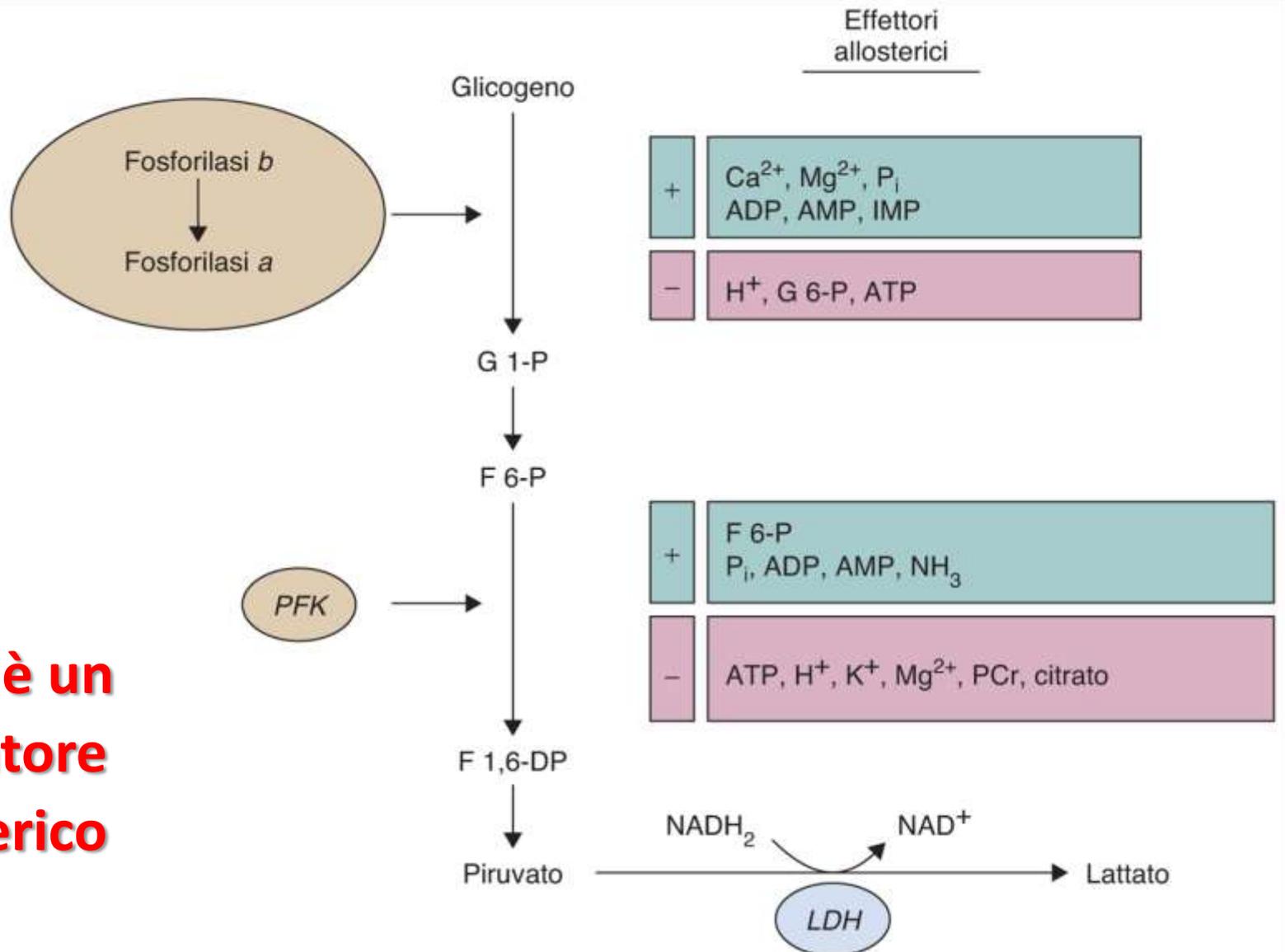


L'**ATP** così prodotto viene impiegato nella contrazione muscolare, mentre l'**AMP** segnala lo stato di **deficienza energetica intracellulare dovuta all'esercizio in corso di svolgimento.**

la regolazione allosterica è immediata

- L'HIT modifica l'attività degli enzimi chiave per la degradazione della **PCr** (**CK**), per la **glicogenolisi** (**glicogeno fosforilasi**), la **glicolisi** (**PFK**) con produzione di **acido lattico** (**LDH**) e la reazione della **miocinasi**.
- L'HIT comporta modifiche immediate della concentrazione di **ATP**↓, **ADP**↑, **AMP**↑, **Pi**↑ e **Ca²⁺**↑ non appena il muscolo inizia la contrazione

L'aumento dell'**AMP citoplasmatico** causa l'attivazione degli enzimi **glicogeno fosforilasi** e **PFK**.

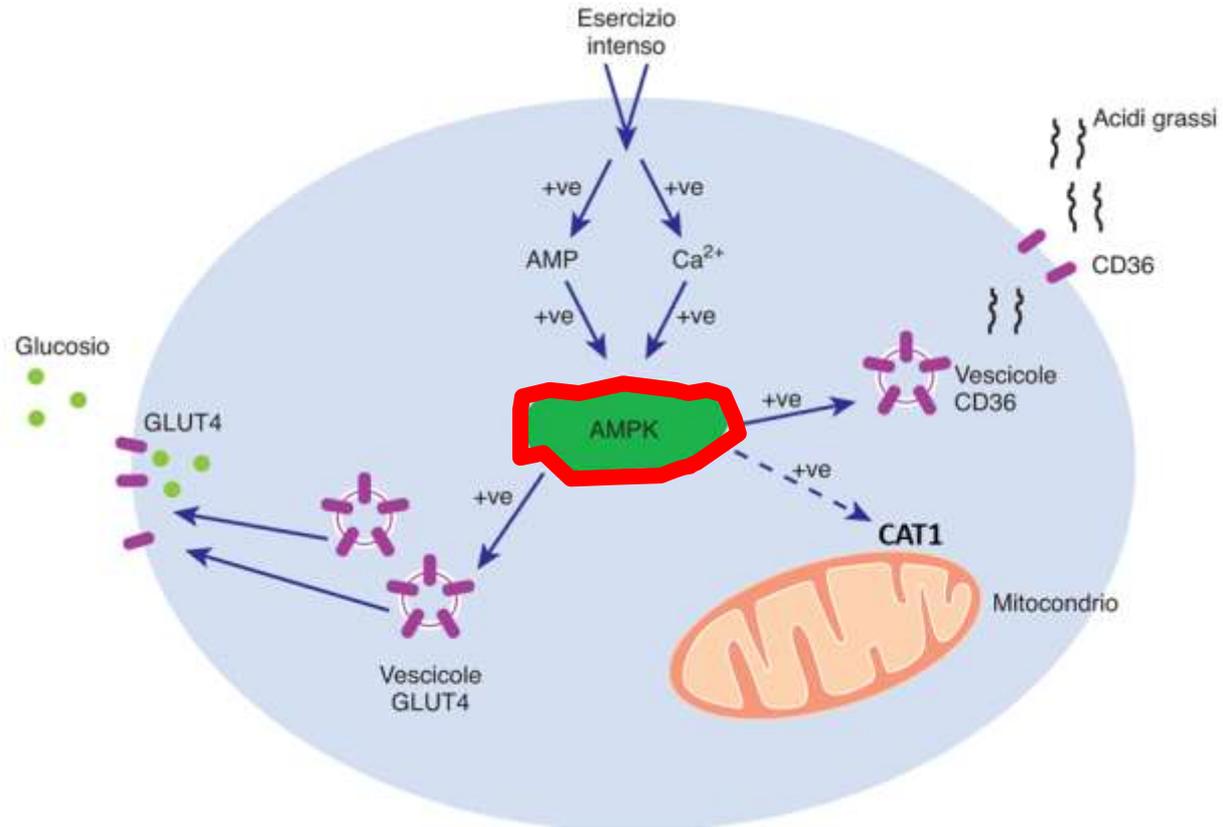


**l'AMP è un
regolatore
allosterico**

**L'attivazione di AMPK
potenzia in generale la
produzione di energia,
causando:**

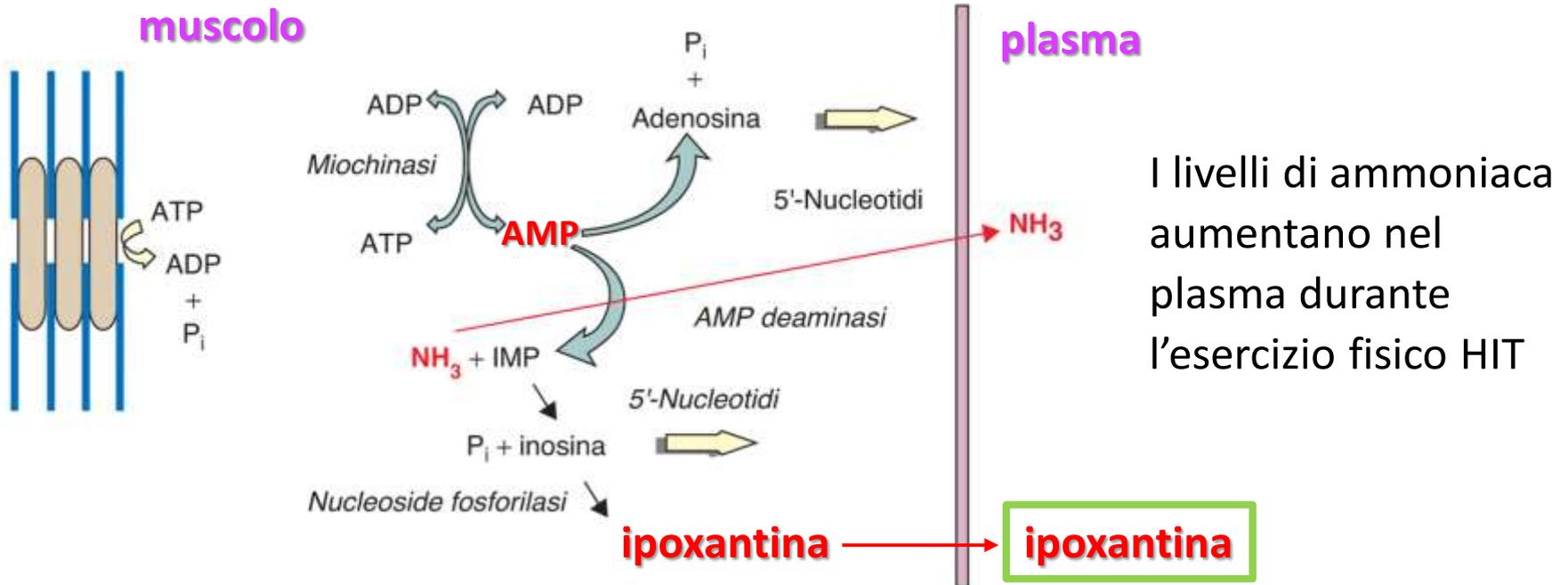
- (1) **l'aumento dell'assorbimento di glucosio dovuto alla mobilizzazione di GLUT4**
- (2) l'aumentata captazione di acidi grassi a catena lunga attraverso la membrana mitocondriale (CAT1)
- (3) la mobilizzazione del trasportatore di acidi grassi transmembrana CD36.

L'aumento dell'AMP citoplasmatico viene recepito dalla **proteina chinasi attivata dall'AMP (AMPK)**, che si attiva promuovendo adattamenti del metabolismo



In preparazione allo sfruttamento del metabolismo aerobico → velocità di sintesi dell'ATP minore → cala la potenza esplosiva → cala la velocità di corsa

L'AMP viene rimosso dal catabolismo dei nucleotidi purinici



L'AMP viene deaminata e trasformata in inosina-5-monofosfato (IMP) e ammoniaca.

L'IMP viene convertito in inosina con liberazione di fosfato inorganico.

L'inosina viene poi trasformata in **ipoxantina che viene liberata nel plasma**, che verrà poi convertita in xantina e quindi in acido urico (eliminato con l'urina).

Ipoxantina e sport

La concentrazione ematica di ipoxantina è direttamente proporzionale allo stato di allenamento

Gli indicatori biologici comunemente usati per valutare la risposta dell'atleta all'esercizio e l'adattamento muscolare, quali **VO2max**, concentrazione plasmatica del **lattato**, **frequenza cardiaca**, sembrano avere un'applicabilità limitata.

Secondo uno studio recente, **la concentrazione plasmatica di ipoxantina prodotta dal catabolismo dell'ATP** in condizioni anaerobiche è un indicatore dello stato di allenamento negli atleti professionisti di livello ("atleti d'élite") altamente allenati

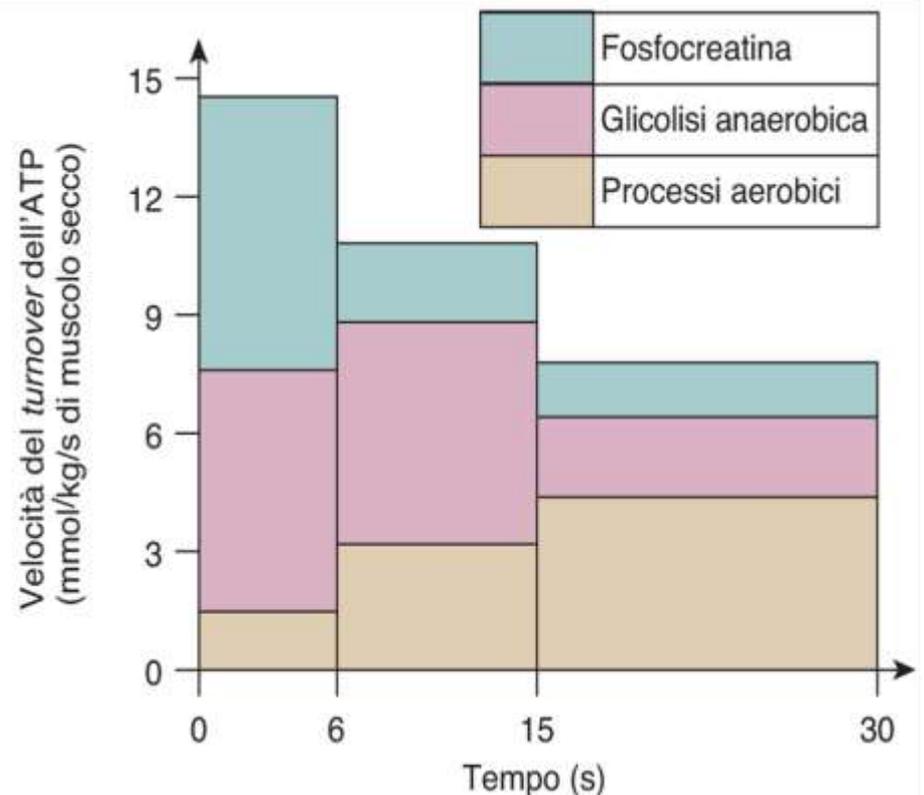
Zieliński J, Kusy K (2015) Hypoxanthine: A Universal Metabolic Indicator of Training Status in Competitive Sports. Exerc Sport Sci Rev 43:214-21.

Effetti della durata dell'esercizio

Parolin et al. (1999) hanno misurato le sorgenti di energia utilizzate nell'esercizio HIT di durata di 6, 15 e 30 s → hanno calcolato la velocità di ripristino dell'ATP e il contributo del PCr, della glicolisi e dell'ossidazione aerobica (Fig. 8.9).

«**diminuisce il contributo alla produzione di energia da parte della PCr e della glicogenolisi con l'aumento della durata dell'esercizio, aumentano quello dei processi ossidativi**»

→ il risultato è una diminuzione della velocità di riconversione dell'ATP.

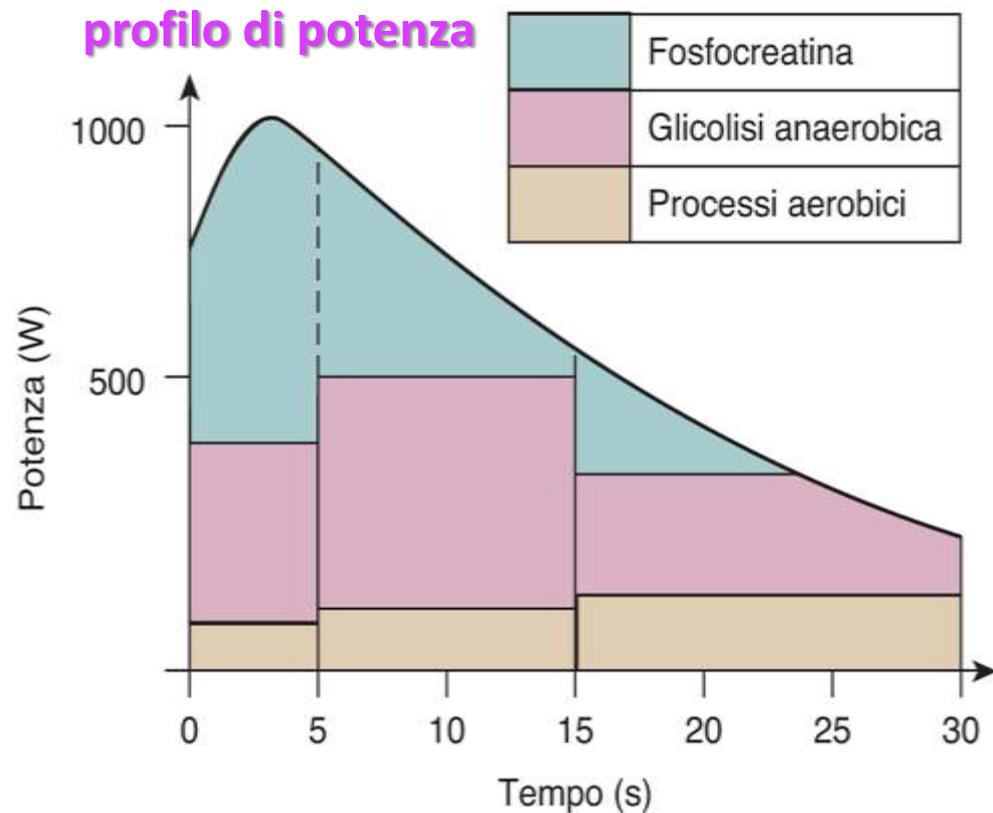


Effetti della durata dell'esercizio

Parolin et al. (1999) hanno misurato la potenza ottenibile in 30 sec di esercizio massimale (test Wingate)

« **il picco di potenza viene ottenuto nei primi 5 sec, seguito da un declino costante nei successivi 30 sec** »

→ uso predominante di **PCr** nei primi 5 sec, poi aumento della **glicolisi** nei successivi 25 sec, ed infine utilizzo del **metabolismo aerobico** (con ulteriore calo di potenza, dovuto alla velocità limitata di produzione dell'ATP).



Effetti dello stato nutrizionale

La sessione di esercizio ad alta intensità utilizza i carboidrati a una velocità molto elevata (metabolismo anaerobico)

Il glicogeno muscolare diminuisce rapidamente nelle fibre di tipo 2X → produzione di glucosio

Il glucosio nelle fibre di tipo 2X può indurre la fatica (per accumulo del lattato prodotto finale della glicolisi anaerobia).

Numerosi studi sostengono che la prestazione in un singolo sprint o in sprint ripetuti è generalmente superiore dopo una dieta ad alto contenuto di carboidrati rispetto ad una a basso contenuto di carboidrati.

La dieta ricca di carboidrati ...

Maughan e Poole (1981), Greenhaff et al. (1987a, 1987b e 1988) → la **dieta ricca di carboidrati ritarda il raggiungimento del livello di fatica** rispetto alla **dieta povera di carboidrati** (alto livello di carboidrati: 6,65 min; basso livello di carboidrati: 3,32 min).

Langfort et al. (1997), la **dieta di ricca in carboidrati (50%, circa 4,5 g/kg di massa corporea al giorno x 3 giorni)** rispetto a una **dieta povera di carboidrati (5%)**, **ha prodotto un picco di potenza più alto dell'8%** in un test di 30 s di Wingate.

Vandenberghé et al. (1995), Hargreaves et al. (1997) → **diete a contenuto di carboidrati tra 25-80% hanno incrementano il picco di potenza nella stessa misura.**

Diete a contenuto in carboidrati $\geq 25\%$ garantiscono la miglior prestazione esplosiva in atleti impegnati in un singolo esercizio ad alta intensità che duri tra 30 sec - 5 min

Quali integratori possono essere d'aiuto nell'HIT?

Gli integratori che hanno un effetto positivo sono:

- **creatina,**
- **caffeina**
- **β -alanina**
- **alcalinizzatori**

Creatina

la PCr è un'importante fonte di energia per esercizi fisici ad alta intensità e il suo deposito si esaurisce rapidamente.

L'ingestione di creatina per 1-5 giorni **augmenta la quantità di PCr nel muscolo** scheletrico e **migliora la prestazione negli esercizi HIT ripetuti piuttosto che nel singolo esercizio** (MacLaren, 2011).

Caffeina

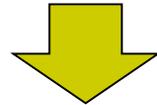
Il rilascio di Ca^{2+} è necessario negli esercizi ad alta intensità ed è anche essenziale per la contrazione muscolare. Il rilascio del Ca^{2+} sarcoplasmatico attraverso il recettore della rianodina aumenta il Ca^{2+} citosolico e attiva la contrazione muscolare. La ricaptazione del Ca^{2+} nel reticolo sarcoplasmatico avviene attraverso la pompa del Ca^{2+} (SERCA) per consentire il rilassamento dei muscoli. La caffeina provoca aumento della forza e durata della contrazione del muscolo scheletrico mediante **aumento del rilascio di Ca^{2+} dal reticolo sarcoplasmatico** (facilita i cambiamenti conformazionali nel recettore diidropiridina).

Chester, 2011; Stear et al., 2010 → **l'ingestione di caffeina da 30-60 min prima dell'esercizio HIT aumenta la potenza**. Inoltre la caffeina stimola il sistema nervoso centrale (SNC) e aumenta l'attività cerebrale.

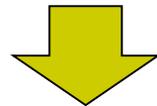
Durante l'**esercizio HIT** viene **prodotto acido lattico** che **riduce il pH** intracellulare nella fibra muscolare (pH 6,5)



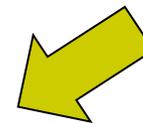
si **riduce l'attività degli enzimi** (hanno la massima attività a pH 7) tra cui anche quelli glicolitici impegnati nella produzione di ATP



impossibilità di produrre adeguati livelli energia per continuare a sostenere l'attività fisica



senso di fatica



altri meccanismi

β-Alanina

Il muscolo scheletrico possiede la **carnosina** come **tampone intracellulare dell'acidità** causata dal metabolismo anaerobico.

Castell et al., 2010; MacLaren, 2011 → l'ingestione di β-alanina per un periodo di 4 settimane o più **incrementa la quantità muscolare di carnosina che migliora la prestazione HIT.**

Alcalinizzatori

Il bicarbonato di sodio (normalmente presente nel sangue) e il citrato di sodio disciolti in soluzione acquosa impartiscono un pH basico e sono detti alcalinizzatori.

Castell et al., 2010 e MacLaren et al., 2011 → l'ingestione di bicarbonato di sodio e il citrato di sodio 2 o 3 ore prima dello sforzo HIT **aumenta la prestazione HIT se la durata dell'esercizio è superiore a 30 s** cioè nel momento in cui l'apporto energetico proviene in modo prevalente dalla glicolisi anaerobica.

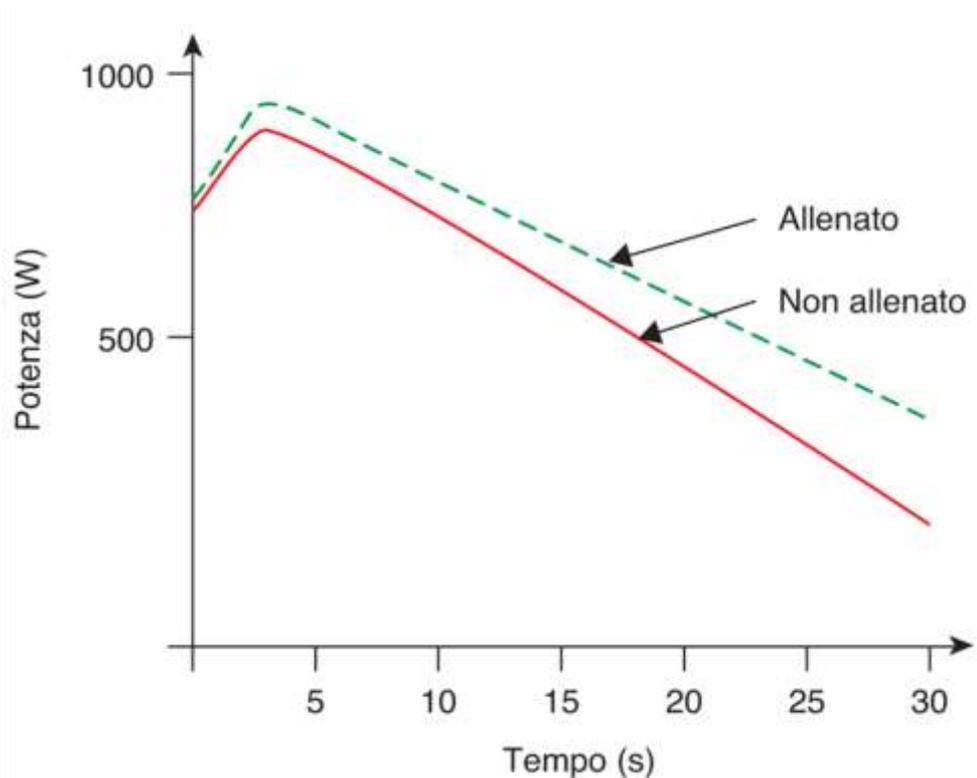
Alcalinizzatori e β-Alanina possono anche essere usati in modo sinergico

Effetti dell'allenamento

L'allenamento allo sprint porta a un aumento della capacità di eseguire esercizi alla massima intensità.

Migliorano sia il picco di potenza che la potenza media.

maggior capacità di generare energia attraverso il metabolismo anaerobico?



cambiamenti osservati in un test Wingate di 30 s prima e dopo un programma di allenamento allo sprint di 8 settimane

Quali enzimi sono ALLENABILI?

L'allenamento HIT aumenta l'attività del metabolismo anaerobico

Boobis (1983), Nevill (1989), Parra (2000), Rodas (2000) Roberts (1982)

→ in **soggetti non allenati** periodi di allenamento HIT (sprint massimali per 5-30 sec intervallati da periodi relativamente lunghi di riposo) – osservato un **aumento della glicolisi (+20%)**, osservato un **aumento della capacità di generare potenza (+8%)**. La quantità di PCr muscolare non veniva alterata ma **aumenta l'attività della CK (produce ATP dalla creatina-fosfato)**

ALLENABILI ma non SUPER-ALLENABILI

laia (2008), Bangsbo (2009)

→ in **soggetti ben allenati** - l'allenamento ad alta intensità **non modifica** l'attività massima degli enzimi glicolitici e della CK. Tuttavia sono stati **rilevati significativi cambiamenti nella prestazione**, suggerendo che i **cambiamenti nelle attività di questi enzimi non sono cruciali per il miglioramento della prestazione** (migliora la tecnica del gesto atletico? la motivazione? la convinzione?)

Quali enzimi sono ALLENABILI?

L'allenamento HIT aumenta l'attività del metabolismo anaerobico

laia (2008), Bangsbo (2009)

→ **in soggetti non allenati** - l'attività dell'enzima CK è più alta se il gruppo segue un programma di allenamento di sprint breve (corsa massimale di 6 s e da 1 min di recupero) piuttosto che un programma di allenamento di sprint lunghi (corse di 30 s a una velocità che richiede circa il 130% di VO₂ max).

Bangsbo (1992)

→ **in soggetti non allenati** - l'allenamento HIT aumenta la concentrazione di glicogeno muscolare. Tuttavia il glicogeno muscolare non è un fattore limitante negli esercizi brevi ad alta intensità.

Materiale didattico di supporto

- Materiale delle lezioni sarà reperibile nel minisito dell'insegnamento; esso è utile come traccia degli argomenti svolti, ma non sostituisce il libro di testo
- Piattaforma on line Moodle: approfondimenti e test di autovalutazione

Raccomandazione importante: Il materiale delle lezioni è per USO PERSONALE dello studente iscritto al corso di Biochimica per le Scienze Motorie UniFE ed è fatto divieto di diffonderlo in qualsiasi maniera, potendo contenere immagini/filmati per i quali valgono i diritti di copyright.