

Università degli Studi di Palermo

Laurea Magistrale in Scienze e Tecniche dello Sport



Metodologia e programmazione dell'allenamento nelle discipline del fitness

CASO STUDIO DI  
ROSARIO CATALDO E GIUSEPPE PULEO

Caso Studio 1. Le fonti energetiche

Introduzione

Le fonti di energia dell'organismo sono strutturate per essere utilizzate in base all'intensità ed alla durata dell'esercizio. Tali fonti di energia sono immagazzinate in tre differenti forme di riserva energetica. La riserva più immediata di energia utilizzabile durante la contrazione muscolare è la **creatinfosfato** (CP). Tuttavia la sua concentrazione nel corpo è esigua, con conseguente capacità molto limitata; circa quella che servirebbe per correre 100 metri. La caratteristica di questa fonte di energia è l'immediatezza di utilizzo e la grande potenza muscolare erogabile. La seconda riserva energetica disponibile è a carico dei **carboidrati**, immagazzinati sotto forma di glicogeno e glucosio in fegato e muscoli. La terza riserva è a carico del **tessuto adiposo** sotto forma di **acidi grassi**. Questi elementi sono una grande fonte di energia, sono il 17% del peso corporeo nell'uomo ed il 20% - 25% nella donna. La quantità di energia che un grammo di grasso può fornire è circa il doppio di quella dei carboidrati. Teoricamente la riserva di grasso del corpo umano, ci permetterebbe di correre per oltre 500 Km a blanda andatura. Nel momento del bisogno le tre riserve di energia diventano disponibili per l'organismo sotto forma di ATP, definita la "moneta di scambio energetico". L'**ATP (adenosin-5'-trifosfato)** è l'unica forma di energia che il corpo umano può utilizzare nella contrazione muscolare. L'ATP deriva dall'utilizzo delle molecole che costituiscono gli alimenti e che diventano riserve energetiche per l'organismo.



L'ATP, dunque, immagazzina energia e la fornisce quando viene scisso per idrolisi in ADP (Adenosindifosfato) + P. Fino a poco tempo fa le **proteine** non erano considerate come riserva energetica. E' stato dimostrato che per lavori protratti nel tempo ad intensità elevata, il metabolismo proteico varia significativamente in base alla durata dello sforzo. La quantità di energia fornita da un grammo di proteine è uguale a quella dei carboidrati. Studi recenti hanno dimostrato che in lavori di 60' al 70% del VO<sub>2</sub> max, il contributo energetico delle proteine è circa del 10%. Le proteine non vengono considerate come fonte di energia perché costituiscono gran parte delle strutture del corpo umano (e cioè gli elementi plastici) ad eccezione di circa 300 grammi stoccati nel fegato. Una volta utilizzate le scorte presenti nel fegato il nostro organismo utilizza come fonte di energia le proteine muscolari (come avviene nei grandi digiuni). Nei sistemi biologici, l'energia si misura in kilocalorie ( kcal ). Per definizione, 1 kcal corrisponde alla quantità di energia termica necessaria per innalzare la temperatura di 1 kg di acqua di 1 C°, da 15° a 16° C.

4,0 Kcal = 1 g di Glucidi **4 kg** di H<sub>2</sub>O 15°C → 16°C  
 9,0 Kcal = 1 g di Lipidi **9 kg** di H<sub>2</sub>O 15°C → 16°C  
 4,1 Kcal = 1 g di Protidi **4,1 kg** di H<sub>2</sub>O 15°C → 16°C

**Tabella 1**

*Riserve energetiche*

Carboidrati	Grammi	Kcal
Glicogeno epatico	100 g	451 kcal
Glicogeno muscolare	500 g	2050 kcal
Glucosio ematico	15 g	62 kcal
Totale	625 g	2563 kcal

Grassi	Grammi	Kcal
Sottocutanei e viscerali	7800 g	73320 kcal
Intramuscolari	161 g	1513 kcal
Totale	7961 g	74833 kcal

*Tale stima è basata su un peso corporeo medio di uomo adulto di 65 kg con una percentuale di grassi pari al 12%*

## Adenosintrifosfato ( ATP )

Una molecola di ATP è composta da adenosina (adenina + ribosio) combinata con tre gruppi fosfato inorganico (P).

Quando la molecola di ATP si combina con l'acqua (idrolisi) e subisce l'azione dell'enzima ATPasi, l'ultimo gruppo fosfato si scinde dalla molecola di ATP e rilascia subito una grande quantità di energia (circa 7,3 kcal per mole di ATP). L'ATP diventa quindi ADP + P. In seguito a diverse reazioni chimiche, un gruppo fosfato viene aggiunto all'ADP convertendolo in ATP. Questo processo è detto fosforilazione. Quando tali reazioni avvengono in assenza di ossigeno, il processo è denominato metabolismo anaerobico. Quando invece queste reazioni avvengono con l'aiuto di ossigeno, il processo complessivo è denominato metabolismo aerobico e la conversione aerobica di ADP in ATP è definita fosforilazione ossidativa. Le cellule producono ATP attraverso tre processi, o sistemi:

- 1- Il sistema ATP-PCr
- 2- Il sistema glicolitico
- 3- Il sistema ossidativo

Il sistema ATP-PCr è il più semplice dei sistemi energetici. Le cellule contengono, oltre all'ATP, un'altra molecola di fosfato altamente energetica che immagazzina energia; è la fosfocreatina, o PCr (detta anche creatinfosfato). Diversamente da quanto accade con l'ATP, l'energia liberata dalla scissione della PCr non viene utilizzata direttamente per produrre lavoro cellulare; serve invece a ricostruire l'ATP, per mantenere le riserve a un livello relativamente costante. Il rilascio di energia della PCr è facilitato dall'enzima creatinchinasi, che agisce sulla PCr per separare Pi dalla creatina.

L'energia rilasciata può quindi essere utilizzata per legare P a una molecola di ADP, formando ATP. Con questo sistema, man mano che l'energia è rilasciata dall'ATP con la scissione di un gruppo fosfato, le cellule procedono alla riduzione della PCr e rilasciano l'energia per formare altro ATP con ADP e Pi, impedendone così la deplezione. Si tratta di un processo rapido, che può essere compiuto senza alcuna struttura speciale all'interno delle cellule; può avvenire in presenza di ossigeno, ma non richiede ossigeno, perciò il sistema ATP-PCr è detto anaerobico. Durante i primissimi secondi di un'attività muscolare intensa, come uno sprint, il livello di ATP è mantenuto relativamente costante mentre quello della PCr declina rapidamente perché viene utilizzata per ricostruire le scorte di ATP. Tuttavia, quando si raggiunge lo stato di prostrazione, risultano decisamente bassi sia i livelli di ATP che quelli di PCr, motivo per cui tali composti non possono più fornire l'energia per ulteriori contrazioni e rilasciamenti. Pertanto, la capacità di mantenere i livelli di ATP mediante l'energia proveniente dalla PCr è limitata. Nel caso di uno sprint a intensità massimale, le scorte di ATP e di PCr possono soddisfare il fabbisogno energetico dei muscoli per poco tempo, da 3 a 15 secondi. Passati questi pochi secondi, i muscoli devono poter contare su altri processi per la formazione dell'ATP: ovvero, la combustione glicolitica e ossidativa dei carburanti dell'organismo umano.

## Il sistema glicolitico

L'ATP può essere prodotto anche con l'energia rilasciata attraverso la scissione (lisi) del glucosio. Questo sistema glicolitico, così denominato perché chiama in gioco la glicolisi, ossia la scissione del glucosio attraverso speciali enzimi glicolitici. Il glucosio rappresenta il 99% di tutti gli zuccheri circolanti, che proviene dalla digestione dei carboidrati e dalla scissione del glicogeno. Il glicogeno, sintetizzato dal glucosio attraverso la glicogenesi, viene immagazzinato nel fegato o nel muscolo fino a quando è necessaria la sua utilizzazione. Il glicogeno viene scisso in glucosio 1-fosfato attraverso la glicogeno lisi. Il prodotto terminale della glicolisi è l'acido piruvico. Questo processo non richiede ossigeno, ma il destino dell'acido piruvico formato con la glicolisi dipende dall'uso o meno di ossigeno. Nel caso in cui anche dopo la formazione di acido piruvico vi sia una condizione di carenza di ossigeno, l'acido piruvico viene convertito in acido lattico e successivamente in ione lattato (dopo la perdita di un atomo di H). La glicolisi si compone di 12 reazioni enzimatiche, che avviene all'interno del citoplasma, per la scissione del glicogeno in acido lattico. Se come substrato viene usato il glicogeno il prodotto netto è di 3 mol di ATP.

Se viene usato il glucosio il prodotto netto è di 2 mol di ATP, perché una mole serve per la conversione del glucosio in glucosio 6-fosfato. Questo processo non produce una grande quantità di ATP, ma permette al muscolo di produrre forza anche in caso di apporto limitato di ossigeno.

L'accumulo di lattato è un limite della glicolisi anaerobica.

Nelle prove di velocità massima della durata di 1 minuto, l'impegno del sistema glicolitico è molto elevato e i livelli di acido lattico muscolare può aumentare da 1 mmol/kg a riposo a più di 25 mmol/kg. Questa acidificazione delle fibre muscolari inibisce un'ulteriore scissione del glicogeno, perché comprometterebbe la funzionalità degli enzimi.

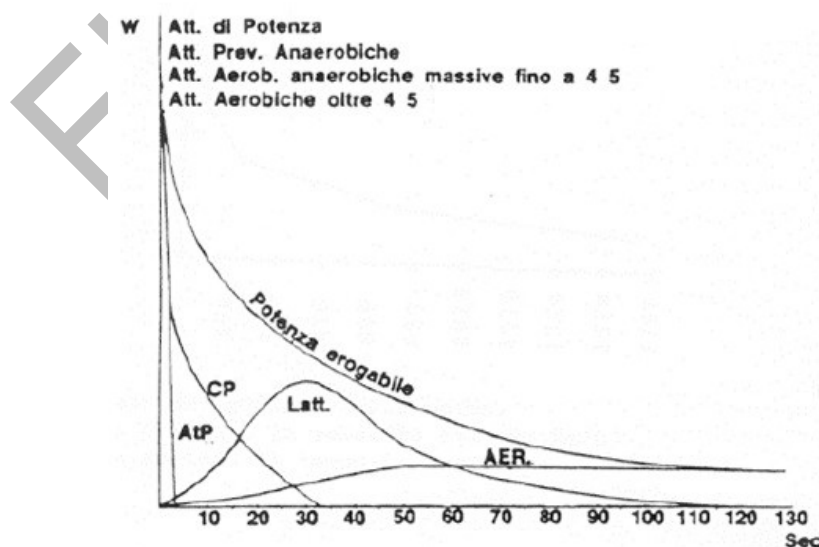
## Il sistema ossidativo

Il sistema ossidativo è il più complesso dei tre sistemi energetici. Il processo attraverso il quale l'organismo utilizza l'ossigeno per scomporre i combustibili e formare energia è chiamato respirazione cellulare. È un processo aerobico e tale processo avviene all'interno di particolari organelli citoplasmatici: i mitocondri.

Nel corso di un'attività fisica di lunga durata, i muscoli richiedono tanta energia per produrre contrazione muscolare. A differenza del sistema dell'ATP, del sistema anaerobico alattacido e del sistema anaerobico lattacido, il sistema ossidativo ha la capacità di produrre una gran quantità di energia. Il metabolismo aerobico è chiamato in gioco nelle discipline sportive di resistenza.

La produzione ossidativa di ATP interessa tre processi:

- 1- Glicolisi aerobica
- 2- Ciclo di Krebs
- 3- Sistema di trasporto degli elettroni



Nel metabolismo dei carboidrati la glicolisi entra in gioco sia nella produzione di ATP per via aerobica che anaerobica in un processo uguale. La presenza o meno dell'ossigeno influenza solo il destino dell'acido piruvico. In presenza di ossigeno, l'acido piruvico viene convertito in un composto denominato acetilcoenzima A (acetil CoA). Questo composto entra nel ciclo di Krebs, formato da una serie complessa di reazioni chimiche porta alla completa ossidazione del composto. Al termine sono formate 2 mol di ATP + CO<sub>2</sub> e H. L'idrogeno rilasciato durante la glicolisi e il ciclo di Krebs si combina con 2 coenzimi il NAD (nicotinammide-adenin-dinucleotide) e FAD (flavin-adenin-dinucleotide) che trasportano gli ioni idrogeno al sistema di trasporto degli elettroni, dove vengono scissi in protoni ed elettroni. Alla fine della catena, gli ioni H si combinano con l'ossigeno per formare acqua e quindi evitare l'acidificazione. Gli elettroni separati passano attraverso una serie di reazioni al termine del quale forniscono energia per la fosforilazione dell'ADP in ATP. Le molecole ridotte di NAD chiamate NADH formate nel citoplasma non possono entrare nei mitocondri direttamente, devono prima cedere i propri elettroni alla catena di trasporto degli elettroni. Due molecole citoplasmatiche di NADH, che cedono i propri elettroni al NADH mitocondriale, producono 6 molecole di ATP, mentre se cedono gli elettroni al FADH mitocondriale ne producono solo 4.

Quindi il sistema ossidativo di trasformazione energetica può generare fino a 39 molecole di ATP (con substrato il glicogeno).

A seguire la Tabella 1 indica le principali caratteristiche dei tre sistemi energetici.

**Tabella 1**

*Sistemi di trasformazione dell'energia per il lavoro muscolare*

<b>Fonti Energetiche</b>	<b>Vie di Trasformazione</b>	<b>Tempo necessario per la trasformazione, s</b>	<b>Durata</b>	<b>Durata di massima produzione di energia</b>
Alattacide – anaerobiche	ATP, Creatinfosfato	0	Fino a 25 s	Fino a 10 s
Anaerobiche – lattacide	Glicolisi con formazione di lattato	15 – 20	Da 25 s a 5 – 6 minuti	Da 30 s fino a 1min30 s
Aerobiche	Ossidazione dei carboidrati e dei lipidi	90-180	Fino al alcune ore	2 – 5 minuti

## Tipi di fibre muscolari e loro sistemi energetici:

Esistono principalmente due tipi di fibre muscolari: le fibre bianche e le fibre rosse. Le fibre rosse sono caratterizzate da un colore scuro per la loro ricca vascolarizzazione e per la presenza di mioglobina. Sono fibre a lento reclutamento che svolgono principalmente attività di prolungate nel tempo e mantengono la postura. Le fibre bianche assumono il loro colore per la minore vascolarizzazione sanguigna e per il maggior contenuto di glicogeno muscolare. Le fibre bianche vengono reclutate rapidamente dal sistema nervoso e svolgono principalmente attività di forza ma le loro capacità energetiche vengono esaurite prima rispetto a quelle delle fibre rosse. A seguire la Tabella 2 indica le principali caratteristiche e differenze delle tre principali tipi di fibre muscolari.

Le fibre veloci, che vengono reclutate generalmente in maniera meno frequente, sono più predisposte all'ipertrofia. Questa diversa predisposizione dipende dal diverso metabolismo delle due fibre: in una fibra ossidativa con tanti mitocondri la velocità di utilizzo dell'ossigeno è elevata e la fibra deve essere mantenuta piccola per garantire che al suo interno la velocità di diffusione dell'ossigeno sia sufficientemente elevata, mentre per una fibra con pochi mitocondri può crescere più facilmente poiché il suo metabolismo è meno dipendente dall'ossigeno.

**Tabella 2**

*Classificazione e caratteristiche dei tipi di fibra muscolare*

	<b>Slow - twitch (tipo I)</b>	<b>Fast - twitch a (tipo IIa)</b>	<b>Fast - twitch b (tipo IIb)</b>
<b>Capacità ossidativa</b>	Elevata	Moderatamente elevata	Bassa
<b>Capacità glicolitica</b>	Bassa	Elevata	Molto elevata
<b>Resistenza alla fatica</b>	Elevata	Moderata	Bassa
<b>Forza dell'unità motoria</b>	Bassa	Elevata	Elevata
<b>Numero di fibre per motoneurone</b>	10-180	300-800	300-800

<b>Dimensione del motoneurone</b>	Piccola	Grande	Grande
<b>Velocità di conduzione nervosa</b>	Lenta	Rapida	Rapida
<b>Tipo di ATPasi miosinica</b>	Lenta	Rapida	Rapida
<b>Sviluppo del reticolo sarcoplasmatico</b>	Bassa	Elevato	Elevato
<b>Velocità di contrazione (ms)</b>	110	50	50

## Implicazioni pratiche:

Nell'ambito del fitness è importante avere una conoscenza dei principali processi energetici e delle loro fonti di energia. Un body builder utilizza maggiormente il sistema anaerobico lattacido mentre un soggetto che svolge danza o aerobica utilizza prevalentemente il sistema aerobico per produrre energie. L'utilizzo prevalente di uno dei tre sistemi metabolici implica adattamenti diversi nell'organismo.

L'attività più efficace per consumare acidi grassi è quella prolungata condotta a bassa intensità. Uno studio di Romjin et al. (1) condotto su ciclisti agonisti ben allenati ha cercato di ottenere informazioni precise sul tipo di substrato energetico utilizzato e sulla sua velocità di utilizzazione, quando gli atleti pedalavano al 25, 65 e 85% della loro VO<sub>2</sub>max. I risultati ottenuti indicavano che:

- Al 25% della VO<sub>2</sub>max, la maggior parte dell'energia prodotta (<80%) derivava dall'ossidazione degli acidi grassi plasmatici mobilizzati dal tessuto adiposo;
- Al 65% della VO<sub>2</sub>max, il glicogeno muscolare era il combustibile più importante; tuttavia, circa il 50% dell'energia prodotta derivava dagli acidi grassi plasmatici e dagli acidi grassi intramuscolari;
- All'85% della VO<sub>2</sub>max, più del 65% dell'ATP prodotto derivava dal glicogeno muscolare; la quota di ATP prodotta a partire dagli acidi grassi scendeva al 28%; plasma e muscolo contribuivano ugualmente come sorgenti degli acidi grassi.

Ciò accade poiché la mobilitazione degli acidi grassi non è sufficientemente rapida per compensare l'aumentata intensità di lavoro. In conclusione per dimagrire è consigliato lo svolgimento di un'attività a bassa intensità (intorno al 65% del  $\dot{V}O_2\text{max}$ ) e protratta nel tempo (> di 20-25min). La ragione principale è che, in queste condizioni di metabolismo aerobico, il funzionamento del ciclo di Krebs garantisce che le concentrazioni intracellulari di ATP e di citrato siano sufficientemente elevate da inibire la fosfofruttochinasi e la piruvico deidrogenasi. In questo modo, il glucosio non è utilizzato nella glicolisi e, di conseguenza, sia la produzione di acido piruvico che la sua trasformazione in cartil:CoA sono bloccate, al contrario, l'attivazione dell'AMPK causa inibizione dell'acetyl-CoA carboxilasi con conseguente riduzione dei livelli intracellulari di malonin.

## Bibliografia

1. Romjin J.A., Coyle E.F., Sidossis L.A., Gastaldelli A., Horowitz J.F., Endert E., Wolfe R.R., Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol* 265: E380-E391, 1993
2. Fondamenti dell'Allenamento e dell'Attività di Gara. Vladimir N. Platonov. Calzetti Mariucci 2004
3. Fisiologia dell'esercizio fisico e dello sport. Jack Wilmore. Calzetti e Mariucci 2005.
4. L'allenamento ottimale. Weineck. Calzetti e Mariucci 2001.
5. Dispense Fitness A. Bianco Scienze Motorie Palermo 2011.