

4 - LE FONTI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA

Le fibre muscolari

È noto che la qualità della contrazione di un muscolo dipende, essenzialmente dalla percentuale del tipo di fibre che lo compongono.

La dotazione o la distribuzione percentuale delle diverse fibre muscolari è geneticamente determinata (Weineck 2001).

Si distinguono due tipi principali di fibre muscolari:

Le fibre rosse di tipo I, sottili e lente denominate **ST** (slow twitch = fibre a contrazione lenta). Tali fibre intervengono nel lavoro muscolare di bassa intensità (alta capacità ossidativa, bassa capacità glicolitica). La loro capillarizzazione è di 4,8 capillari, in media, per fibra.

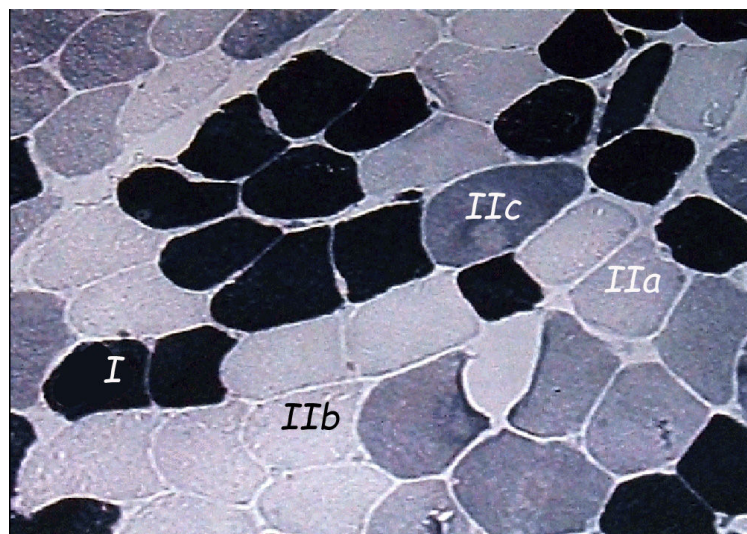
Le fibre bianche di tipo II, chiare, spesse e rapide denominate **FT** (fast twitch = fibre a contrazione rapida). Tali fibre entrano in azione nelle sollecitazioni muscolari intense e di forza rapida. La loro capillarizzazione è di 2,9 capillari, in media, per fibra.

Tre sono le sottocategorie delle fibre FT, e precisamente:

- Le fibre di **Tipo IIa** (capacità ossidativa-glicolitica);
- Le fibre di **Tipo IIb** (elevata capacità glicolitica);
- Le fibre di **Tipo IIc** (alta capacità ossidativa e buona capacità glicolitica, dette anche fibre intermedie).

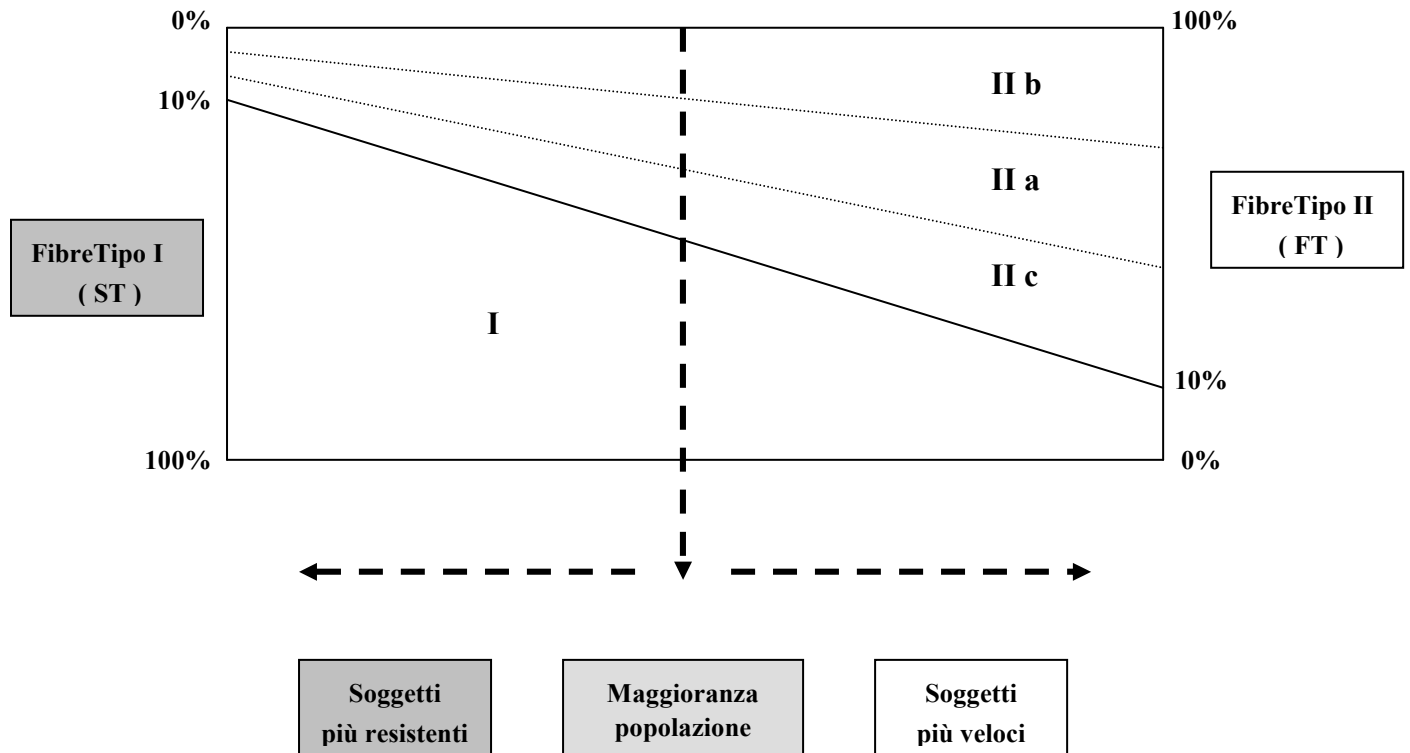
Tipo di fibre **I** <=====> **II c** <=====> **II a** <=====> **II b**

Fibre di tipo I (ST) e di tipo II (FT a, b, c) (Howald, 1982)



Microfotografia della sezione di un muscolo in cui si distinguono i vari tipi di fibre (Wilmore-Costill, 2005)

Grafico della distribuzione percentuale di fibre muscolari nella popolazione

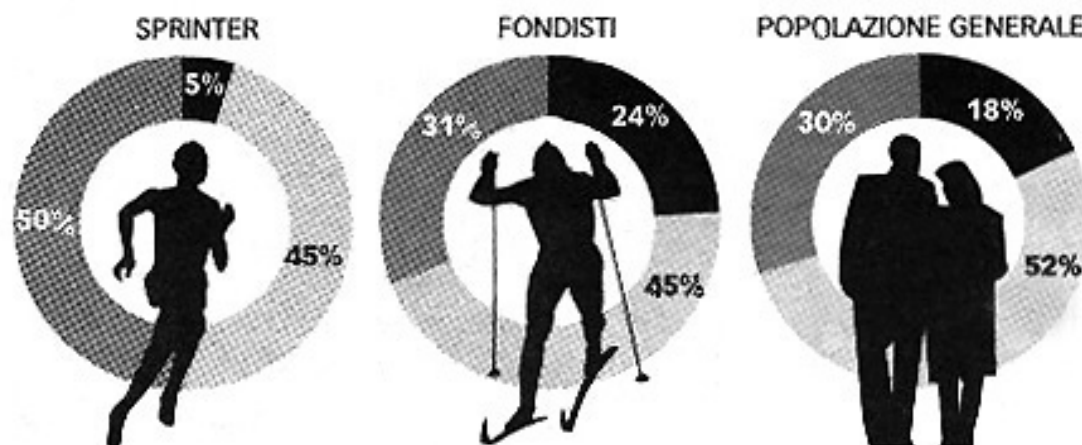


Secondo una recente scoperta di un gruppo di ricercatori australiani, Università di Sydney e di Camberra (American Journal of Human Genetics, settembre 2003; riportato dal Corriere della Sera, Ottobre 2003) gli atleti campioni godono di un privilegio genetico.

La ricerca ha scoperto un gene del Dna chiamato "*alfa-actinina-3*" che comanda nel muscolo la produzione dell'actinina, un costituente chiave delle fibre a contrazione veloce.

Il gene *alfa-actina-3* esiste in due forme alternative principali, dette "*alleli*", avute in regalo da ognuno dei genitori, che possono essere uguali o differenti, si può presentare con una doppia coppia

- di *alleli RR*, determinano la presenza nel muscolo della proteina dello sprint;
- di *alleli XX*, non comandano, invece, la produzione di actinina;
- di *alleli RX*, parziale produzione di actinina, maggioranza della popolazione.



	Senza actinina (XX)
	Con molta actinina (RR)
	Con una quota parziale di actinina (RX)

Dalla ricerca è emerso (vedi figura sopra) che gli atleti di vertice negli sport di sprint sono dotati di una quota molto alta della variante RR, gli atleti di vertice nelle specialità di resistenza sono dotati rispetto agli sprinter ed alla popolazione normale di una quota molto alta della variante XX.

Secondo i ricercatori australiani sarebbe proprio la maggior o minor presenza dell'allele RR a rendere scattante o resistente la nostra muscolatura.

Ogni gesto compiuto nell'attività umana, il camminare, il correre, il saltare, il calciare, ecc. avviene in virtù di contrazioni muscolari.

I muscoli possono essere considerati veri e propri motori, cioè macchine capaci di trasformare in energia meccanica altre forme d'energia.

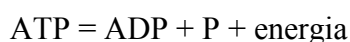
I motori, d'ogni genere, per poter funzionare hanno bisogno di carburante, anche i muscoli utilizzano un carburante, L'ACIDO ADENOSIN-TRI-FOSFORICO che s'indica più comunemente con la sigla ATP.

Senza l'ATP, i muscoli non sono in grado di contrarsi e quindi di creare movimento.

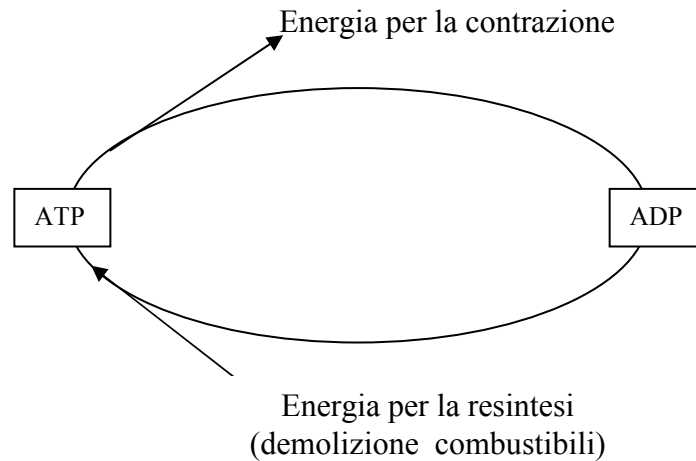
L'ATP è una grossa molecola contenente tre gruppi fosforici due dei quali sono uniti da legami altamente energetici la cui rottura libera una notevole quantità d'energia.

Simbolicamente la molecola di ATP può essere presentata A-P-P-P.

La reazione chimica di scissione dell'ATP in ADP + P (acido adenosindifosforico + gruppo fosforico) fornisce l'energia per la contrazione muscolare, tale reazione può essere schematizzata come segue:



La quantità di ATP depositata nel muscolo e disponibile per essere subito impiegata è assai limitata: è necessario quindi che l'ATP sia continuamente ricostituito.



L'ATP presente nei muscoli consente a malapena il succedersi d'alcune contrazioni per una durata di 2 o 3 secondi, quindi è utilizzata per "iniziare" qualsiasi tipo di lavoro anche di massima intensità.

Per potere continuare il lavoro il muscolo necessita d'altro ATP che pertanto deve essere prodotto o riformato.

Tale produzione avviene attraverso tre diversi sistemi (fonti o meccanismi):

ANAEROBICO ALATTACIDO	dal creatinfosfato CP
ANAEROBICO LATTACIDO	glicolisi trasformazione degli zuccheri
AEROBICO	ossidazione degli zuccheri e dei grassi

Analizziamo i tre sistemi per la produzione d'energia.

1) Sistema ATP-CP (anaerobico alattacido)

Nel muscolo sono presenti, perché immagazzinate, molecole di "creatinfosfato (CP)", il creatinfosfato si scinde in creatina (C) e fosforo (P), quest'ultimo con l'ADP va a riformare l'ATP.

Questo processo di ricostruzione di ATP è molto rapido, quasi simultaneo, purtroppo la quantità di CP presente nel muscolo è relativamente limitata e si esaurisce in brevissimo tempo (8-10 secondi).

Questo sistema consente al muscolo di eseguire contrazioni molto rapide, anche d'intensità massimale, ma per periodi di tempo assai limitati.

Viene utilizzato dallo sportivo nelle corse di piena velocità su distanze brevi (fino a 100 metri circa) ed in esercitazioni come salti, lanci, ecc. che richiedono un impiego d'energia massimale.

L'utilizzazione di questo sistema può andare ben oltre gli 8-10 secondi qualora l'impiego muscolare sia tale da non richiedere la massima potenza del processo, ma percentuali più basse.

Il meccanismo ANAEROBICO ALATTACIDO ricopre un ruolo importantissimo sia negli sforzi brevi e di massima velocità, sia in quelli più lunghi (durata massima 40-45 secondi), ma d'intensità inferiore alla massima.

2) Sistema dell'acido lattico (anaerobico lattacido)

Quando l'atleta ha esaurito tutta la riserva di CP presente nel muscolo, e quindi non può più ricostituire l'ATP con le proprie riserve chimiche, non cessa la sua attività, ma riesce a continuarla perché subentra il sistema dell'acido lattico o glicolisi.

Il glicogeno muscolare (zuccheri che abbiamo accumulato con l'alimentazione) si trasforma e produce direttamente ATP e acido lattico.

Quest'ultimo deve essere eliminato perché limita il lavoro del muscolo.

Se la richiesta di ATP è molto elevata e protratta nel tempo, l'acido lattico non può essere totalmente eliminato e si accumula, quando esso raggiunge una determinata concentrazione causa la fatica muscolare ed in breve tempo conduce l'atleta all'esaurimento.

La capacità lavorativa dell'individuo decresce gradatamente in relazione all'aumento di concentrazione d'acido lattico nel sangue.

Il processo anaerobico lattacido è di fondamentale importanza per compiere prestazioni fisiche nelle seguenti specialità sportive:

- quelle individuali continuative sub-massimali di durata compresa tra i 40-45 secondi e i 4 minuti circa;
- quelle di squadra con riferimento agli atleti che forniscono un impegno intenso e continuo (ciò avviene raramente nel calcio).

Nell'uso corrente i termini **acido lattico e lattato** vengono erroneamente utilizzati l'uno per l'altro; l'acido lattico e il lattato sono composti chimici diversi.

- L'acido lattico è un acido dalla formula chimica $C_3H_6O_3$.
- Il lattato è un qualunque sale dell'acido lattico.

Quando l'acido lattico rilascia un H^+ (ione positivo di idrogeno), il composto restante si unisce a Na^+ o K^+ (ioni positivi di sodio e potassio) per formare un sale.

La glicolisi anaerobica produce acido lattico, che però si dissocia velocemente formando un sale, **il lattato**.

3) Sistema dell'ossigeno (aerobico)

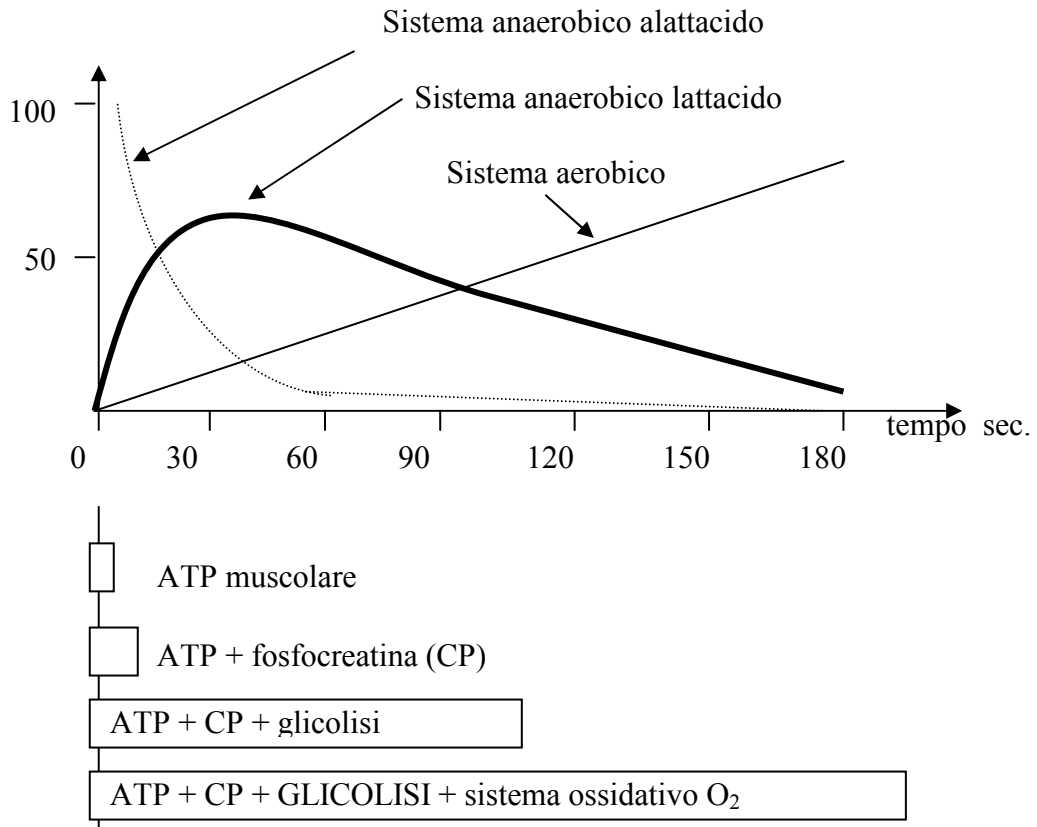
Se la quantità di ATP richiesta dal muscolo per svolgere la sua attività non è molto elevata, l'ossigeno (O_2) che viene immesso nel nostro organismo per mezzo della respirazione ha la possibilità di ossidare (combinare) le sostanze presenti (zuccheri, proteine e grassi) e di

riformare ATP producendo anidride carbonica (CO_2) e acqua (H_2O) che sono espulsi mediante la respirazione e la sudorazione.

In tale situazione il lavoro muscolare può essere protratto più a lungo, teoricamente senza alcun limite.

Utilizzando questo sistema, la quantità d'ossigeno trasportata ai muscoli non è mai inferiore a quella necessaria per riformare l'ATP e quindi l'organismo può lavorare in "steady-state" cioè in stato d'equilibrio.

Nella figura viene mostrato il contributo dei tre meccanismi energetici nella sintesi di 100 molecole di ATP.



Rapporto tra velocità e trasformazione di energia				
Combustibile	Processo	Durata		Rapidità
		Potenza	Capacità	
ATP preformato		fino a 3''		Massima
CP	Anaerobico alattacido	Da 0'' a 7''	Da 7'' a 15''	Massima
Glicolisi	Anaerobico lattacido	Da 15'' a 45''	Da 45'' a 2'	Elevata
Ossidazione degli zuccheri	Aerobico	Da 2' a 10'	Da 10' a 20/30'	Moderata
Ossidazione dei grassi	Aerobico	Dopo circa 20' e per ore		Bassa

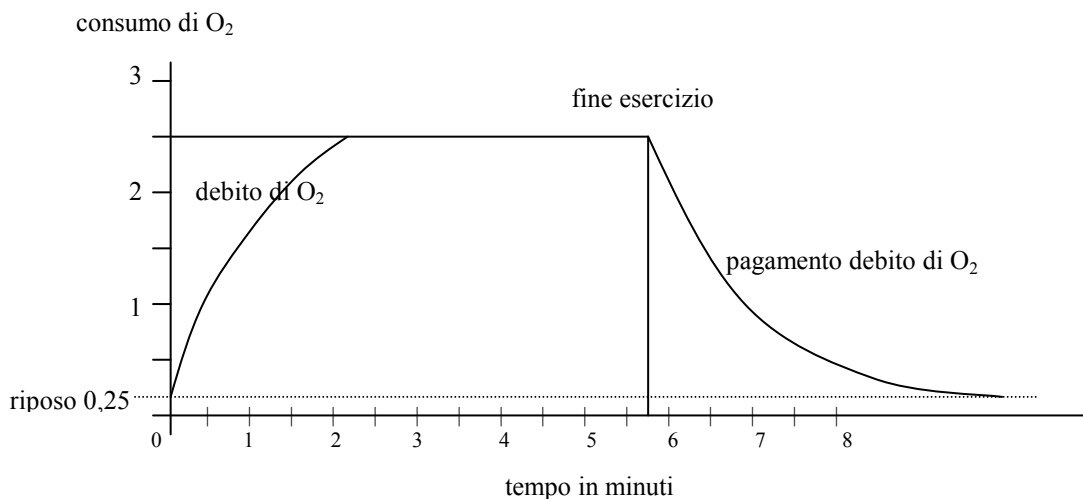
Ricostituzione delle fonti di produzione d'energia

Dopo avere esaminato per quali vie il nostro organismo provvede alla produzione di ATP necessario per la contrazione muscolare, è opportuno capire quali sono i modi e i tempi che permettono a queste fonti energetiche di ricostituirsi dopo che sono state esaurite o comunque usate.

Il ripristino delle riserve energetiche consumate durante l'attività muscolare è assolto completamente dal processo respiratorio.

Al termine di un'attività fisica, durante il riposo o fase di recupero il fabbisogno di ATP cala notevolmente, non cessa invece il fabbisogno d'ossigeno che si mantiene elevato per un periodo di tempo più o meno lungo, secondo l'intensità e la durata del lavoro precedente.

La quantità d'ossigeno necessaria a ristabilire l'equilibrio del nostro organismo prende il nome di "debito d'ossigeno".



Il pagamento completo del debito d'ossigeno non significa che l'organismo si trova di nuovo in stato di completa efficienza; il tempo occorrente per il completo ripristino energetico può variare da alcuni minuti (salti e lanci) ad alcune ore (corse di velocità prolungata) sino ad uno o più giorni (partita di calcio, rugby, basket, ecc.).

Per alcuni sport particolarmente traumatici (es. pugilato) si richiedono addirittura più settimane.

Per quanto riguarda la partita di calcio l'esperienza attuale, consiglia di lasciare intercorrere almeno 48 ore tra una competizione e l'altra ricordandoci però che in genere entro le 24-36 ore, i processi di recupero sono completati.

A scopo riassuntivo forniamo il seguente schema:

FINALITA' DEL CARICO	DURATA ESERCIZIO	INTENSITA' ESERCIZIO	TEMPO DI RECUPERO	NUMERO RIPETIZIONI
FORZA RAPIDA anaerobico alattacido	fino a 6''	max	1'2' fra le prove 3'5' tra le serie	6 /7 prove 5/6 serie
RESISTENZA VELOCITA'	20''/45'' una sola prova	sub - max	--	--
anaerobico lattacido	20''/45'' più prove	sub - max o grande	1'2' fra le prove 3'5' tra le serie	2/3 prove 4 serie
TUTTE LE CAPACITA' CONDIZIONALI	12''	grande	12''/30'' fra le prove 3' fra le serie	2/4 prove 5/6 serie
	30''/90''	grande	30''/90''	10 o più, in serie unica 5/6 in 2/4 serie
	3'10'	grande	fino al recupero completo	2/6
	30'	media - grande	--	--
RESISTENZA GENERALE	1'3'	media	30''/90''	10 o più nelle ripetute 5/8 in 2/8 serie
	3'10'	media	Illimitato secondo la forma fisica	6/8
	30'	da scarsa a grande	--	--

Conviene ricordare che il recupero è completato nel sistema:

- ANAEROBICO ALATTACIDO in circa 3'-5', con la seguente progressione (1/2 nei primi 30", 1/4 nei secondi 30", 1/8 nei terzi 30" e così via).
- ANAEROBICO LATTACIDO se la prestazione è intensa in circa 45' con la seguente progressione (1/2 nei primi 15', 1/4 nei secondi 15', 1/8 nei terzi 15' e così via. Il lattato prodotto, è eliminato per $\frac{3}{4}$ dall'O₂ formato dal lavoro delle fibre lente, il rimanente $\frac{1}{4}$ dall'O₂ respiratorio ed anche per $\frac{3}{4}$ dai muscoli non impegnati nel lavoro e $\frac{1}{4}$ dal fegato, solo una minima quantità viene smaltito da urine e sudore.
- RECUPERI COMPLETI:

per la Resistenza	si ha un ristoro completo in 48/72 ore
per la Forza	si ha un ristoro completo in 24 ore
per la Velocità	si ha un ristoro completo in 12 ore
per la Rapidità	Si ha un ristoro in completo in 6 ore

- DOPO UNA PARTITA, per ripristinare i depositi di glicogeno sono necessarie 72 ore.
- GLI ATLETI CON FORTE CAPACITÀ AEROBICA possono sviluppare una grande quantità di lavoro ma mantengono una capacità di recupero alattacido della stessa durata degli atleti poco allenati.

Utilizzo d'energia da parte del nostro organismo

- Il nostro corpo riesce ad utilizzare il 35% della nostra energia disponibile.
- Un altro 10% di quest'energia è disponibile, ma non si utilizza quasi mai soprattutto con il passare dell'età.
- Il rimanente 55%, il nostro organismo l'impiega solamente in caso d'estremo pericolo di vita, altrimenti non riesce ad utilizzarla.