

l'assorbimento ed il debito di ossigeno

Accanto a questi principi generali dell'allenamento è opportuno ancora chiarire, con una sintetica esplicazione atta a facilitarne l'apprendimento, alcune espressioni che saranno usate più avanti.

Per effettuare un lavoro, abbiamo visto che l'organismo ha bisogno di una determinata quantità d'ossigeno nell'unità di tempo e, fin dall'inizio dell'attività, il fabbisogno si avvia verso il suo massimo. Ciò non si verifica però per l'assorbimento, dato che le attività respiratoria e cardiaca, deputate a far affluire l'ossigeno, tramite il sangue, ai muscoli impegnati, si intensificano soltanto gradualmente nell'adattamento alle condizioni di lavoro (vedi fig. 8).

Ne consegue che l'assorbimento di ossigeno, dall'inizio del lavoro, aumenta gradualmente e soltanto dopo un certo periodo di tempo raggiunge il reale fabbisogno. A tale proposito sono significative le delucidazioni di Onofrio Ceino e Giovanni L'Elto:

«... E' interessante distinguere la nozione di consumo di ossigeno da quella dell'utilizzazione. Si sa infatti che più lo sforzo è considerevole, minore è la quantità d'ossigeno assunta dal sangue da ogni litro d'aria: l'economia respiratoria diviene sempre meno efficiente. Questa utilizzazione dell'ossigeno dipende da numerosi fattori: non solamente dalla ventilazione polmonare e dalla portata cardiaca, ma anche dalla ricchezza del sangue in emoglobina, dalla curva di dissociazione dell'emoglo-

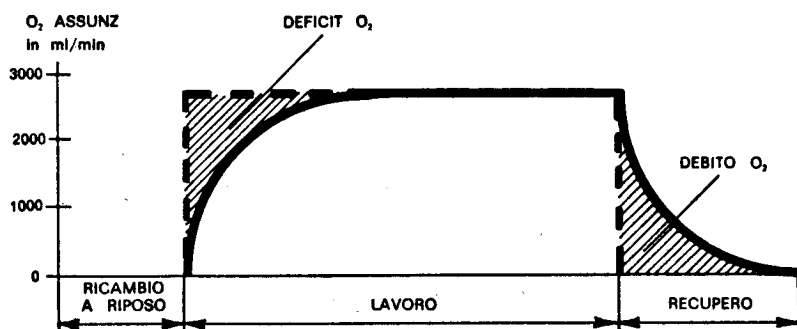


Fig. 8 — Rappresentazione schematica del deficit di ossigeno che si origina all'inizio di un lavoro e del debito d'ossigeno che verrà compensato nella fase di recupero (Keul)

bina, dalla circolazione periferica. Il rapporto *ventilazione - minuto/consumo O₂ - minuto* è dunque molto interessante a conoscersi, parallelamente al volume di O₂ consumato per litro d'aria, che è dai 50 ai 60 cm³, durante lo sforzo ... »⁽⁵²⁾.

Si è calcolato che la capacità massima di assorbimento di ossigeno varia, nell'uomo allenato, da 4 a 5,5 litri al minuto ed oltre⁽⁵³⁾. Ciò che determina la capacità di assorbimento non è dunque la ventilazione polmonare; sotto sforzo, l'assorbimento di ossigeno raggiunge ben presto il suo massimo, mentre la ventilazione continua a crescere; perciò il maggior fattore che limita l'assorbimento non è la respirazione, ma la circolazione. Le prestazioni in cui è prevalente l'assorbimento sono, dunque, prestazioni cardiache. Gli sforzi in cui è prevalente l'assorbimento di ossigeno saranno qui denominati prestazioni *aerobiche*⁽⁵⁴⁾.

Riportiamo, a tale proposito, ancora da R. Margaria:

« ... Un muscolo isolato si contrae bene così in assenza come in presenza di O₂. I fenomeni della fatica però compaiono

⁽⁵²⁾ Lucherini-Cervini: *Medicina dello Sport* Società Editrice Universo. Roma. 1960; pagg. 536-537

⁽⁵³⁾ Harre D.: *Trainingslehre* Sportverlag. Berlin 1970; s. 152.

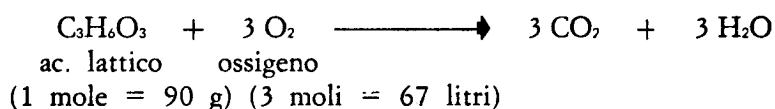
⁽⁵⁴⁾ Cioè che permettono un'estrinsecazione di lavoro meccanico (corsa) in gran parte attraverso l'immediata utilizzazione dell'ossigeno atmosferico

molto prima nel muscolo tenuto in condizioni anaerobiche, perché come appare dallo schema di K. Lohmann, gli viene via via a far difetto l'energia che deriva dalle reazioni ossidative.

Se un muscolo, che ha lavorato fino all'esaurimento in condizioni anaerobiche, viene portato in ambiente di O₂, dopo un certo tempo può tornare a contrarsi e a lavorare, perché le reazioni ossidative, ripristinate appena è venuto a trovarsi in presenza di O₂, ... hanno fornito l'energia per ... la resintesi di quelle sostanze che, scindendosi, forniscono l'energia della contrazione muscolare. Quando il muscolo si contrae, traendo l'energia da reazioni chimiche anaerobiche, ... si dice normalmente che « *contrae un debito di ossigeno* » e quando le sostanze che si sono scisse in quelle reazioni vengono resintetizzate a spese d'una reazione ossidativa, si dice che il muscolo *paga il debito d'ossigeno* ..

Il quoziente di ossidazione dell'acido lattico

Quando il muscolo venga fatto contrarre in assenza di O₂, per esempio in atmosfera di azoto, vi si accumula acido lattico: se poi gli si somministra O₂, l'acido lattico diminuisce. Paragonando la quantità di acido lattico che scompare con quella dell'O₂ consumato, potremo trovare che non tutto l'acido lattico è stato rimosso per ossidazione. Infatti il consumo di O₂ in tali condizioni non è mai maggiore di 1/4 della quantità di O₂ necessaria per bruciare tutto l'acido lattico che scompare dal muscolo, quantità che può essere calcolata dalla seguente equazione:

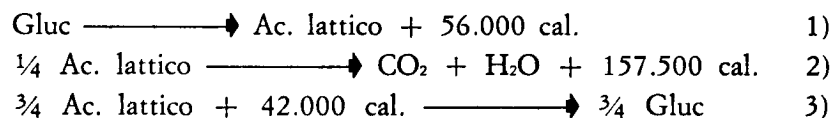


Sappiamo già che una parte soltanto dell'acido lattico viene bruciata quando è pagato il debito di O₂, mentre una parte viene resintetizzata in glicogeno. Il rapporto fra la quantità di ac. lattico bruciata e la quantità di ac. lattico che scompare (= ac. lattico bruciato + ac. lattico resintetizzato in glicogeno) è detto *quoziente di ossidazione dell'acido lattico*. Si può misurare questo quoziente, determinando parallelamente la scomparsa dell'ac. lat-

tico dal muscolo e, per mezzo del microspirometro, il consumo di O₂; supponendo che tutto l'O₂ consumato sia stato impiegato nella combustione dell'ac. lattico, è facile calcolare, dalla reazione sopra riportata, la quantità corrispondente di acido lattico.

Su questo presupposto il valore del quoziente era stato determinato da Meyerhof come eguale a 1/4-1/5. Margaria, Edwards e Dill hanno trovato erroneo il criterio secondo cui era stato calcolato il detto quoziente, non essendo provato che tutto l'O₂ consumato debba essere impiegato nella combustione dell'acido lattico.

Infatti il rendimento della sintesi del glicogeno dall'acido lattico risulterebbe troppo alto, partendo dal presupposto che il valore del quoziente di ossidazione dell'acido lattico sia 1/4: ciò risulta evidente dalle seguenti reazioni che si riferiscono a una mole di unità glucosidica (Gluc).



Il rendimento della reazione 3) a spese della 2) dovrebbe essere del 26%, valore di gran lunga troppo basso, se si tiene conto che il rendimento della contrazione muscolare è del 25%: lo stesso valore di rendimento di questi due fenomeni implicherebbe che tutte le altre trasformazioni chimiche che hanno luogo nella contrazione muscolare, compresa la trasformazione dell'energia chimica in energia meccanica, debbano avvenire con un rendimento del 100%.

Molto verosimilmente una parte dell'O₂ viene impiegata nella combustione di altre sostanze; per conseguenza il valore del quoziente calcolato da Meyerhof rappresenta un limite massimo, non il suo valore reale. Infatti, da esperimenti sull'uomo è risultato un valore di circa 1/10 ... » ⁽⁵⁵⁾.

Poiché tuttavia dopo lo sforzo, per un periodo di un'ora è stato accertato lattato nella muscolatura, non si può radicalmente

⁽⁵⁵⁾ Margaria R op cit, pagg. 1800-1801, 1802-1803

affermare che un aumento del bisogno di ossigeno nel muscolo serve esclusivamente per la resintesi del glicogeno dal lattato.

Si può affermare invece che la grande quantità di lattato estratto da alcuni organi e principalmente dalla muscolatura scheletrica in riposo e dal cuore, con questa generale distribuzione *serve in alto grado alla erogazione ossidativa dell'energia e non alla ricostruzione del glicogeno*

Per un debito di ossigeno dunque non si dovrebbe intendere il pagamento di un deficit, bensì la copertura, con ossidazioni durante il lavoro ancora in atto, di un maggior bisogno di ossigeno.

Questa ipotesi chiarisce anche l'errato rapporto fra deficit di ossigeno e debito d'ossigeno. Quest'ultimo non è un dato valido per il giudizio dell'economia dei processi ossidativi. Il debito di ossigeno, nell'organismo umano, non è una grandezza esattamente misurabile e perciò sono da attendersi contraddizioni. I rapporti del debito di ossigeno sono fortuiti e non causali. Il deficit di O_2 nello sforzo fisico viene eguagliato ad una energia anossidativa; J. Keul infatti sostiene che sarebbe meglio eliminare il termine ⁽⁵⁶⁾.

Riportiamo ancora da Margaria

Modi diversi di contrarre il debito di ossigeno

« Dallo schema di Lohmann appare che la formazione di acido lattico dal glicogeno non è l'unico modo per cui un debito di O_2 possa essere contratto, sebbene sia il più importante. Anche la scissione dell'ATP e del CP lo fanno contrarre, poiché la loro resintesi non può avvenire, in ultima analisi, che a spese di reazioni ossidative. Il debito di O_2 riferibile alla formazione di acido lattico è detto *debito di O_2 lattacido*. Ritenendo che il valore del quoziente di combustione dell'ac. lattico sia 1/10, il debito di O_2 lattacido è dato dalla quantità di O_2 necessaria per la combustione di 1/10 dell'acido lattico forma-

⁽⁵⁶⁾ Keul-Doll-Keppler op cit

tosì. Il debito di O_2 riferentesi alla resintesi dell'ATP, del CP e di altre sostanze, che eventualmente si scindono anaerobicamente, con liberazione di energia nella contrazione muscolare, si dice *debito di O_2 alattacido*.

La distinzione tra questi due modi di contrarre e di pagare il debito di O_2 ha molta importanza pratica: il debito di O_2 lattacido non viene contratto che in mancanza o scarsezza di O_2 e viene pagato con una velocità più che 30 volte inferiore a quella con cui viene pagato il debito alattacido, che viene contratto sempre, anche in presenza di O_2 , quando il muscolo si contrae ... » ⁽⁵⁷⁾.

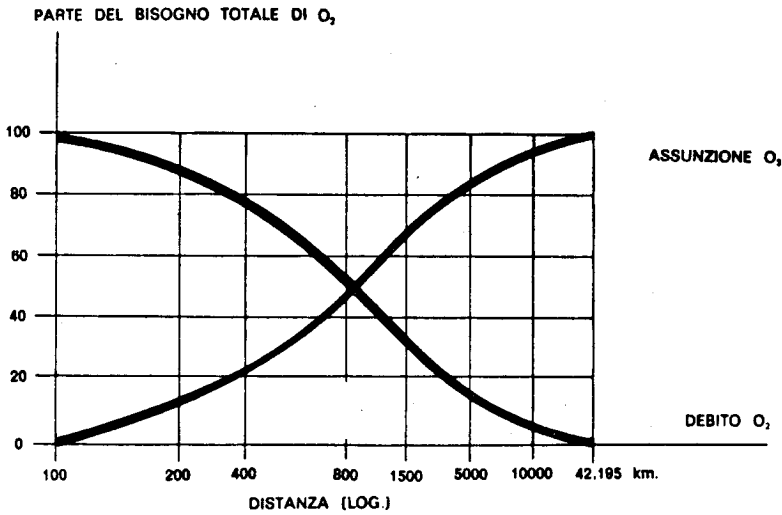


Fig. 9 — Ripartizione dell'assunzione e del debito, nel totale fabbisogno di ossigeno, in diverse distanze di gara, secondo Münchinger.

⁽⁵⁷⁾ Margaria R.: op. cit.; pag. 1803.

SCHEMA RIASSUNTIVO

Alla luce delle considerazioni che precedono, possiamo così riassumere i concetti fisiologici essenziali dell'allenamento allo stimolo motorio:

- a — fonti energetiche anossidative ed ossidative (vedi fig. 4);
- b — principi dell'adattamento ed adattamento specifico;
- c — supercompensazione;
- d — assorbimento e debito di ossigeno.

Poiché i dati sopra elencati sono sperimentali, un'eventuale teoria dell'allenamento allo stimolo motorio per la funzione resistente non può prescindere da essi ed una prima conseguenza di quanto sopra si ha nella suddivisione delle distanze di gara, in atletica leggera, in corse aerobiche ed anaerobiche, stabilendo grossolanamente che quando nel fabbisogno totale di ossigeno, per l'effettuazione del lavoro, il 75% o più sia dato dai processi anossici, si tratterà di corse anaerobiche, quando il 75% o più sia dato dai processi ossidativi, si tratterà di corse aerobiche.

Praticamente al primo gruppo appartengono le distanze fino agli 800 metri, al secondo le distanze che vanno oltre i 1.500 metri.

Le distanze intermedie assumono valori corrispondentemente intermedi (vedi fig. 9).