

**“MASSIMO CONSUMO D’OSSIGENO E SOGLIA ANAEROBICA.
COSTO ENERGETICO SU DIVERSI TIPI DI ERGOMETRI.”**

dott.ssa Elisa Dussin

OBIETTIVO

Misurare il MASSIMO CONSUMO D’OSSIGENO, la SOGLIA ANAEROBICA e il COSTO ENERGETICO durante esercizio al cicloergometro mediante tecnica basata sugli scambi gassosi polmonari.

PREREQUISITI

- Conoscenza della basi della energetica del lavoro muscolare (vie metaboliche aerobiche e anaerobiche);
- conoscenza dei concetti di massima potenza aerobica e soglia anaerobica;
- conoscenza delle nozioni di base per la gestione di un foglio di calcolo in Excel (apertura, salvataggio, calcolo della media, esecuzione di grafici).

PREPARAZIONE ALL’ESPERIENZA

Acquisizione delle informazioni e delle conoscenze necessarie relative all’argomento dell’esercitazione (vedi bibliografia) al fine di:

- 1) formulare un’ipotesi su quali variabili (fisiche, metaboliche, ventilatorie, cardiocircolatorie...) debbano essere misurate al fine di misurare il massimo consumo d’ossigeno, la soglia anaerobica ed il costo energetico;
- 2) definizione di un protocollo per la misurazione del massimo consumo d’ossigeno, della soglia anaerobica e del costo energetico.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ “IL TEST DA SFORZO CARDIOPOLMONARE. Teoria ed applicazioni” AA vari, Edizioni Cosmed, 2001, capitoli 4 e 5.
- ✓ “LOCOMOZIONE UMANA SU TERRA, IN ACQUA, IN ARIA. FATTI E TEORIE” P.E. Di Prampero, edi-ermes, 1985, capitolo 4.
- ✓ K.Wasserman “THE ANAEROBIC THRESHOLD: DEFINITION, PHYSIOLOGICAL SIGNIFICANCE AND IDENTIFICATION.” Adv. Cardiol., 35: 1-23, 1986.
- ✓ “VALUTAZIONE DELL’ATLETA. Analisi funzionale e biomeccanica della capacità di prestazione”. A. Dal Monte, M. Faina; UTET; capitoli 6 e 11.

SCHEMA DI LAVORO CONSIGLIATO E FASI DELL’ESERCITAZIONE

STUDIO DELLA LETTERATURA



CONCETTO DI MASSIMO CONSUMO D’OSSIGENO, SOGLIA ANEROBICA E COSTO ENERGETICO



DEFINIZIONE DELLE VARIABILI CHE DEVONO ESSERE MISURATE PER POTER CALCOLARE IL MASSIMO CONSUMO D’OSSIGENO, LA SOGLIA ANAEROBICA ED IL COSTO ENERGETICO



INDIVIDUAZIONE TRA GLI STRUMENTI DISPONIBILI IN LABORATORIO¹ DEL MATERIALE NECESSARIO PER CALCOLARE IL MASSIMO CONSUMO D’OSSIGENO e LA SOGLIA ANAEROBICA



SCELTA DI UN PROTOCOLLO² PER LA MISURAZIONE DEL IL MASSIMO CONSUMO D’OSSIGENO, LA SOGLIA ANAEROBICA ED IL COSTO ENERGETICO



ESECUZIONE DEL PROTOCOLLO³



RACCOLTA, ELABORAZIONE E ANALISI DEI DATI⁴



DISCUSSIONE DEI RISULTATI



CONCLUSIONI



RELAZIONE SCRITTA DEL LAVORO SVOLTO

-

1 Strumenti disponibili in laboratorio: METABOLIMETRO; CARDIOFREQUENZIMETRO, SPETTROSCOPIO NEL VICINO INFRAROSSO; SPIROMETRO; LATTACIDOMETRO; CRONOMETRO; CELLA DI CARICO; PLICOMETRO; SFIGMOMANOMETRO; PEDANA A SENSORI TIPO “BOSCO”; ELETTRICARDIOGRAFO.

2: TIPI DI PROTOCOLLO: INCREMENTALE (a rampa, step della durata di 1, 2 o 3 minuti); A CARICO COSTANTE(onda quadra o rettangolare).

3: per l'esecuzione della prova è necessario un volontario in tenuta sportiva.

4: I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO VERRANNO TRASFERITI IN UN FILE FORMATO EXCEL. OGNI COMPONENTE DEL GRUPPO DI RICERCA NE RICEVERA' COPIA.

“MASSIMO CONSUMO D’OSSIGENO E SOGLIA ANAEROBICA”

dott.ssa Silvia Pogliaghi

La via metabolica utilizzata dal muscolo per la produzione dell’ATP necessaria alla contrazione muscolare, per esercizi di durata superiore ai 30s, è per la gran parte ricavata dalla combustione completa di glucosio ed acidi grassi per via aerobica.

Tale via metabolica comporta un consumo di ossigeno (O_2) proporzionale all’intensità dello sforzo che può essere misurato attraverso l’analisi dei gas ventilati secondo la formula:

$$VO_2 = (VI * FIO_2) - (VE * FEO_2)$$

VO_2 , consumo d’ossigeno (L/min); VI e VE, ventilazione inspiratoria ed espiratoria (L/min); FIO_2 ed FEO_2 , frazione inspiratoria ed espiratoria di O_2 (%)

La misurazione tradizionale del VO_2 si basava sulla raccolta dell’aria espirata per un tempo noto e sulla misurazione della composizione (FO_2 e FCO_2) e del volume (L/min) (metodo delle Sacche di Douglas). Più modernamente, sono stati impiegati dei sistemi per la misura del volume (spirometri) e della composizione del gas espirato (analizzatori rapidi di O_2 e CO_2 o spettrometri di massa) ad ogni atto respiratorio. Da tutte queste procedure è possibile misurare FEO_2 , $FECO_2$ e VE.

Le frazioni inspiratorie dei gas vengono in genere assunte come costanti e note ($FIO_2=21\%$; $FICO_2=0.05\%$), mentre la VI viene calcolata sapendo che per un composto inerte come l’azoto (N_2), il prodotto della ventilazione per la frazione inspirata equivale al prodotto della ventilazione per la frazione espirata:

$$VI * FIN_2 = VE * FEN_2 \quad \text{da cui deriva che}$$

$$VI = (VE * FEN_2) / FIN_2$$

Le frazioni dell’azoto si calcolano per differenza, noto che: $FN_2 + FO_2 + FCO_2 = 100$

Ai fini del calcolo qui sopra, i volumi devono essere corretti per la temperatura, pressione atmosferica, mentre le frazioni dei gas vanno corretti tenendo conto del contributo del vapor acqueo alla composizione dell’aria ventilata.

Un calcolo analogo viene fatto anche per la produzione della CO_2 (VCO_2) secondo la formula: $VCO_2 = (VE * FECO_2) - (VI * FICO_2)$

Mentre per i calcoli degli scambi gassosi la ventilazione viene espressa in unità standard di temperatura e pressione atmosferica (STPD: 0° , 760 mmHg, gas secco), al contrario, quando si considera la ventilazione come tale, essa va espressa a condizioni corporee (BTPS: $37^\circ C$, pressione ambientale, gas saturo di vapore acqueo).

I moderni apparati per le misure respiro per respiro sono basati sugli stessi principi.

Sono dotati di un sistema per la misura dei flussi (flussimetri), con tecnologia diversa (turbina, filo caldo), sistemi per l'analisi rapida dei gas (ossimetri, analizzatori di CO₂), un barometro ed un termometro interni. Data la diversa velocità di risposta dei diversi analizzatori, i metabolimetri sono dotati di sistemi interni di correzione che consentono l'allineamento corretto delle misure di un dato respiro.

Perchè misurare il VO₂max e la soglia anaerobica?

1. Sono i determinanti principali della velocità di spostamento in qualsiasi attività locomotoria. Infatti, la massima velocità (v_{max}) di ogni forma di locomozione umana dipende dalla massima potenza metabolica (W_{max}) disponibile e dal costo energetico (C) della forma di locomozione adottata ($v_{max} = W_{max}/C$). La massima potenza metabolica disponibile dipende dalla durata dello sforzo e, per esercizi di durata superiore a 8-10 minuti, coincide con la massima potenza aerobica (VO₂max). Per esercizi di durata superiore a 20-30 min, solo una frazione (F) del VO₂max è disponibile e tale frazione coincide con la soglia anaerobica.
2. Sono indici globali di fitness cardiorespiratoria. Entrambi si modificano in risposta a variazioni di fitness aerobica (i.e. allenamento, inattività, ecc.). VT è ritenuto un indice più precocemente sensibile rispetto al VO₂max.
3. Sono indici di salute cardiorespiratoria. Un basso VO₂max è un fattore indipendente di rischio per malattie degenerative cardiovascolari. Inoltre, un VO₂max di 20 ml*Kg*min segna il limite per una vita autonoma in anziani e malati.
4. Consentono di definire l'intensità metabolica relativa di un determinato esercizio. Un esercizio di intensità inferiore alla 1° VT è detto "leggero". Se di intensità tra la prima e la seconda soglia è detto "moderato". Se superiore alla 2° è invece "intenso".

Quindi possono essere utili per:

- ✓ selezionare talenti
- ✓ stratificare gli atleti per condizione fisica
- ✓ monitorare gli effetti di un allenamento, una terapia, un intervento nutrizionale, ecc.
- ✓ disegnare un regime di allenamento "su misura"

Come si misura il VO₂max?

I protocolli per la misurazione del VO₂max sono numerosi. Si basano su esercizi di intensità crescente eseguiti in maniera discontinua (i.e. intervallati da periodi di riposo) oppure in maniera continua (i.e. esercizi incrementali). Durata degli step ed ampiezza di

questi sono variabili. Per protocolli incrementali questi sono un compromesso tra la necessità di eseguire test rapidi ed affidabili, di non affaticare eccessivamente il soggetto in modo che sia in grado di arrivare ad un vero esaurimento senza che l'esercizio sia limitato da fatica muscolare. La durata degli step è fondamentale ai fini della determinazione del costo energetico. Se l'interesse è quello di conoscere il VO₂ ad ogni intensità di esercizio, è necessario consentire una durata sufficiente al raggiungimento dell'equilibrio (stato stazionario) per il VO₂, cioè almeno 3 min nei soggetti allenti e 5 min nei sedentari.

Se al contrario, non interessa la relazione W/VO₂ per esercizi sottomassimali, ma il test ha il solo scopo di determinare il VO₂max, possono essere utilizzati protocolli a step brevi (1 min). La migliore riproducibilità dei dati di VO₂max si ottiene utilizzando incrementi di carico che portino il soggetto ad esaurimento in circa 10-12 min. Una ipotesi preliminare sul livello di fitness del soggetto, consentirà di stimare il carico massimo di esaurimento e quindi di scegliere step di ampiezza costante ed adeguata.

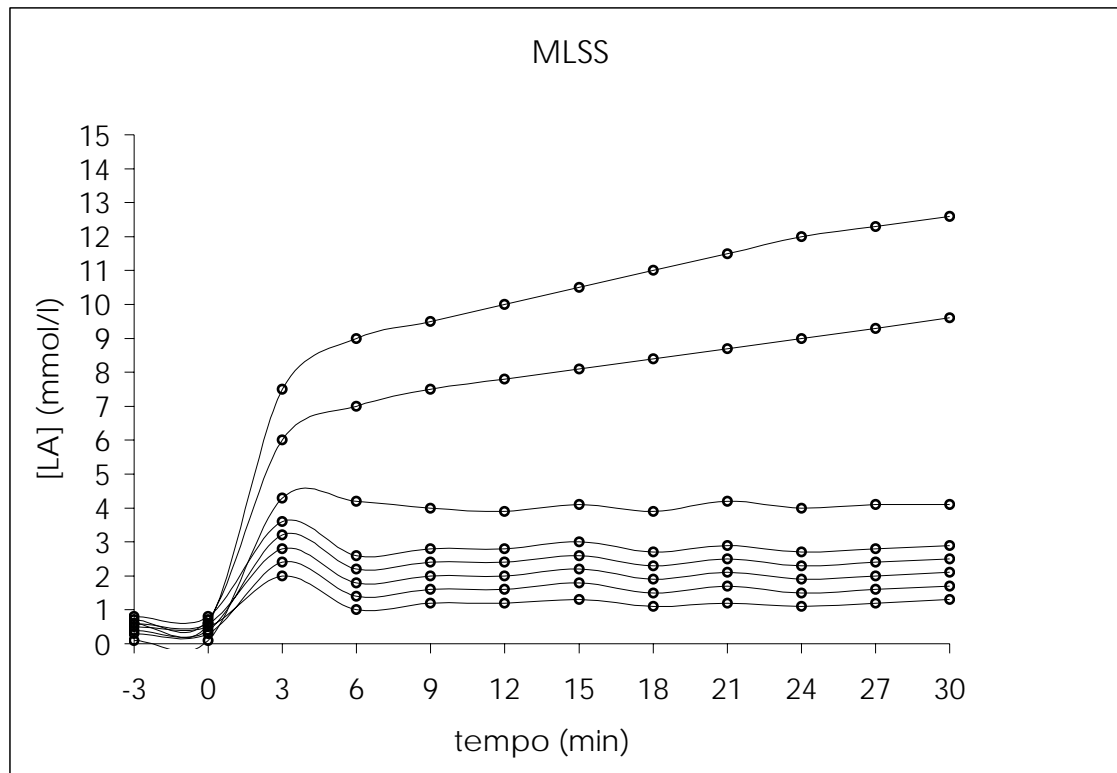
Non sempre, soprattutto in soggetti non atleti, è possibile individuare un vero VO₂max, ossia un livello di esercizio al di sopra del quale il VO₂ non sale, nonostante un incremento della potenza meccanica sostenuta. I criteri oggettivi per individuare il VO₂max sono:

- un aumento di VO₂ <150 ml *min⁻¹ all'aumentare del carico
- R>1.15
- FC stabile e > 90% della massima teorica

Se il primo criterio non viene soddisfatto, non si può parlare di vero e proprio VO₂max. Tuttavia, in presenza degli altri due criteri, si parlerà di VO₂picco.

Come misurare la soglia anaerobica?

Il metodo di riferimento per la misurazione della soglia anaerobica è il cosiddetto Maximum Lactate Steady State o MLSS. Questa tecnica prevede di eseguire, in giorni diversi, vari test a carico costante, della durata di 30 min ciascuno e di intensità crescenti (nel grafico d 50 a 400 W, con incrementi di 50 W). Durante questi test vengono eseguiti prelievi di lattato ogni 3 minuti ed i risultati sono posti in grafico come qui di seguito.



Il massimo livello di lattato stazionario (o MLSS) è definito come l'intensità di esercizio massima alla quale la concentrazione di lattato nel sangue resta stabile nel tempo (i.e. nessuna differenza tra i valori del 6° e del 30° minuto di esercizio).

Dal momento che, il valore medio di [LA] corrispondente al MLSS in una popolazione di soggetti normali è 4 ± 1.5 mmol/l, si è pensato di individuare, durante un test incrementale, l'intensità di lavoro che comporta una [LA] di 4 mmol/l. In effetti, si è visto che questa intensità di lavoro corrisponde al MLSS misurato con tecnica classica. Si è deciso quindi di utilizzare il secondo test, più semplice e rapido, per misurare il MLSS. Da qui nasce la consuetudine ormai consolidata di considerare la soglia anaerobica come l'intensità di esercizio che si accompagna ad una [LA] di 4 mmol/l. In realtà, ogni soggetto ha un proprio valore di lattato stazionario che può variare dalle 3 alle 7-8 mmol/l. Tuttavia, quando si considera una popolazione sufficientemente grande, l'errore che si commette sui dati medi utilizzando la tecnica delle 4 mmol è accettabile. Inoltre, questo metodo è molto preciso nel determinare variazioni di intensità di esercizio alle 4 mmol e quindi è affidabile per monitorare variazioni dello stato di fitness in uno stesso soggetto.

Oltre ai metodi diretti (ossia basati su misure di lattacidemia) per la determinazione della soglia anaerobica, esistono metodi indiretti, basati sulla misurazione di variabili diverse,

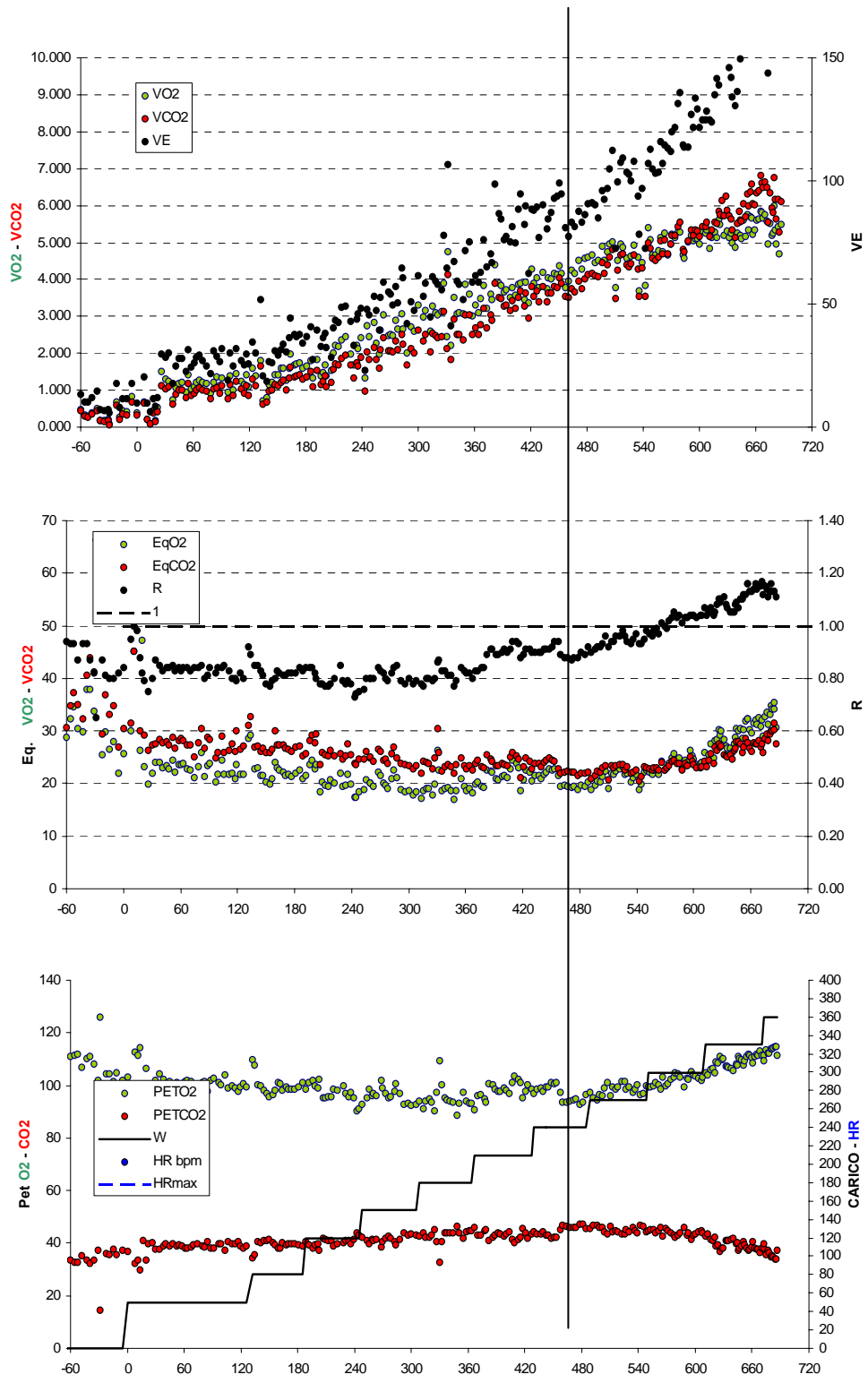
come la FC (Conconi) o variabili ventilatorie (Wasserman). Descriveremo il secondo metodo.

Il metodo si basa sulla possibilità di individuare l'intensità di esercizio alla quale l'organismo incomincia a ricorrere in maniera crescente al metabolismo anaerobico lattacido attraverso i fenomeni ventilatori che si accompagnano all'acidosi metabolica da accumulo di acido lattico. Questi fenomeni sono dovuti al tentativo di compenso ventilatorio dell'acidosi e sono un aumento della ventilazione sproporzionato rispetto all'aumento di VO_2 (impennata dell'equivalente ventilatorio per l'ossigeno, EqO_2), ciò consegue un aumento della pressione parziale di O_2 di fine espirazione ($PETO_2$). Tali fenomeni coincidono con un aumento del quoziente respiratorio (R) oltre l'uno, a testimoniare l'utilizzo del glucosio per via anaerobica. A questo primo fenomeno ventilatorio, detto prima soglia ventilatoria o VT_1 , dopo una fase detta di tamponamento isocapnico, ne segue un secondo. Questo fenomeno, detto seconda soglia ventilatoria o VT_2 è contraddistinto da un'ulteriore impennata della ventilazione, che in queste fasi eccede l'aumento dell'eliminazione respiratoria di CO_2 (aumenta quindi l'equivalente ventilatorio della CO_2 , $EqCO_2$). Questo si accompagna ad una riduzione della pressione parziale di CO_2 di fine espirazione ($PETCO_2$).

Secondo l'interpretazione tradizionale dell'ideatore di questo metodo indiretto, nei soggetti sedentari, la prima soglia ventilatoria (VT_1) viene fatta corrispondere alla soglia anaerobica delle 4 mmol. La seconda soglia invece dà delle informazioni sull'efficacia del compenso ventilatorio dell'acidosi metabolica.

D'altro canto, negli atleti si osserva una migliore corrispondenza tra la soglia delle 4 mmol e la seconda soglia ventilatoria (VT_2), mentre la prima soglia ventilatoria corrisponde invece alla cosiddetta soglia aerobica (o delle 2 mmol).

Questi risultati vengono utilizzati per determinare e monitorare nel tempo lo stato di fitness del soggetto, ma anche per strutturare un regime di allenamento "su misura" basato precisamente sull'intensità metabolica dell'esercizio per uno specifico soggetto.



COSTO ENERGETICO E MOVIMENTO

Le velocità massime nelle differenti forme di locomozione variano da un minimo di poco più di 7 km/h (nuoto: 50 m stile libero) a oltre 70 km/h (ciclismo: 20 m lanciati su pista) a dispetto del fatto che la massima potenza muscolare negli atleti di alto livello non presenta enormi differenze. Le suddette differenze di velocità non possono pertanto essere attribuite alla macchina uomo che, in ogni caso, eroga approssimativamente la stessa potenza massima ma dipendono da quell'insieme di caratteristiche intrinseche a ciascuna forma di locomozione che ne determina il COSTO ENERGETICO (CE).

SIGNIFICATO DEL COSTO ENERGETICO

Il CE rappresenta la quantità di energia necessaria per svolgere una determinata attività. Si esprime in millilitri di ossigeno (o chilocalorie) spesi per trasportare un chilogrammo del proprio corpo per lo spazio di un metro o di un chilometro.

La misurazione del costo energetico delle differenti forme di attività fisica (non solo in ambito sportivo ma anche lavorativo) risulta senza dubbio utile per definirne l'impegno metabolico o il fabbisogno calorico.

Ancor più interessante, inoltre, è la possibilità di utilizzare il CE nello sport, come indicatore dello "stile" dell'atleta, essendo il soggetto più economico quello con una "armonia" di movimento e una coordinazione neuromuscolare migliore. Questa considerazione supporta l'ipotesi che la misura del CE possa fornire indicazioni sulle capacità di prestazione dell'atleta, in quanto a parità di potenza metabolica (consumo di ossigeno), minore risulta il CE, maggiore sarà la potenza meccanica sviluppata (Di Prampero, 1986).

Strettamente connesso al concetto di costo energetico risulta il concetto di **RENDIMENTO** o **EFFICIENZA**. Con tale termine si indica la percentuale di energia spesa che viene effettivamente trasformata in lavoro meccanico esterno. Il rendimento viene rappresentato dal rapporto tra la potenza meccanica espressa (ad esempio: watt al cicloergometro) e la potenza metabolica impiegata (ad esempio: $V'O_2$).

$$E_f = \text{potenza meccanica} / \text{potenza metabolica} = W / V'O_2$$

Per poter fare il calcolo i due parametri devono essere riportati alla medesima unità di misura; il rapporto risultante è un numero puro.

Il rendimento del nostro organismo è sensibilmente inferiore al 100%, poiché gran parte dell'energia consumata durante l'attività fisica viene dissipata sotto forma di calore e solo una frazione minore viene trasformata in lavoro esterno. Mediamente, l'efficienza della locomozione umana (cammino, corsa, ciclismo) oscilla tra il 20 e il 30%.

Come è già stato detto, il CE rappresenta la quantità di energia necessaria per percorrere una distanza unitaria.

IN CHE MODO VIENE UTILIZZATA L'ENERGIA SPESA?

Viene utilizzata per:

- vincere la RESISTENZA dell'ARIA o dell'ACQUA
- vincere FORZE GRAVITAZIONALI (sollevamento/abbassamento baricentro corporeo)
- vincere FORZE INERZIALI (accelerazione/decelerazione baricentro corporeo)
- vincere l'attrito del punto di contatto con il terreno (ruota, pattini)
- contrazione muscolare necessarie al mantenimento della postura
- sostenere l'ATTIVITA' CARDIACA e dei MUSCOLI RESPIRATORI
- vincere il carico interno (energia spesa per vincere le resistenze al movimento degli arti)

COME SI MISURA IL COSTO ENERGETICO?

L'unità di misura nel S.I. del LAVORO è il JOULE (1J = lavoro svolto quando il punto di applicazione della forza di un N è spostato di 1 metro lungo la direzione della forza = 1 Newton · 1 metro). Il CE viene espresso generalmente in kJ/km.

Poiché 4.185 kJ equivalgono a 1 kcal e 1 litro di ossigeno consumato nell'organismo umano sviluppa circa 5 kcal o 20.92 kJ, il CE può essere espresso anche come consumo di ossigeno o kcal per distanza unitaria (litri di O₂/km).

1 kcal =	4.185 kJ
1 L di O₂	= 5 kcal = 20.92 kJ

Per confrontare soggetti di taglia differente, inoltre, è necessario normalizzare il CE per una dimensione corporea (peso corporeo o meno frequentemente superficie corporea).

Ne consegue che il CE potrà essere espresso in:

- $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$
- $\text{ml O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$

Quindi:

il CE per una data forma di attività fisica o di locomozione umana è dato dal RAPPORTO tra DISPENDIO ENERGETICO per UNITA' di TEMPO (POTENZA METABOLICA) e la VELOCITA'.

$$\begin{array}{c}
 \text{litri O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \\
 \text{oppure} \\
 \text{ml O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \\
 \nearrow \\
 \dot{E} \\
 \text{CE} = \frac{\text{---}}{v} \\
 \longleftarrow \\
 \begin{array}{l}
 \text{ml O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1} \\
 \text{oppure} \\
 \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}
 \end{array} \\
 \searrow \\
 \begin{array}{l}
 \text{m} \cdot \text{sec}^{-1} \\
 \text{oppure} \\
 \text{Km} \cdot \text{h}^{-1} \\
 \text{oppure} \\
 \text{Km} \cdot \text{min}^{-1}
 \end{array}
 \end{array}$$

dove:

\dot{E} = **POTENZA METABOLICA:** dispendio energetico per unità di tempo ($V'O_2/\text{min}$)*

v = **VELOCITA':** m/sec, Km/h, km/min (1 m/sec = 3.6 Km/h)

- * Il dispendio energetico per unità di tempo (= consumo di ossigeno/min = $V'O_2$ /min) si misura con un metabolimetro

Trasponendo i termini dell'equazione:

$$v = \frac{\dot{E}}{CE}$$

Questa equazione mette in evidenza come la massima velocità di ogni forma di locomozione è data dal rapporto tra la potenza metabolica massima del soggetto divisa per il CE della locomozione in questione. Il CE è a sua volta funzione della velocità.

CONDIZIONI NECESSARIE PER POTER MISURARE IL COSTO ENERGETICO

➤ $V'O_2$ NETTO

Per misurare il CE di un determinato esercizio, attività fisica o forma di locomozione umana, è necessario in primo luogo tenere in considerazione che esiste una differenza tra **SPESA ENERGETICA TOTALE ($V'O_2$ totale)** e **SPESA ENERGETICA NETTA ($V'O_2$ netto)**. La SPESA ENERGETICA TOTALE ($V'O_2$ totale) corrisponde alla potenza metabolica registrata durante la valutazione dell'attività fisica in esame; la SPESA ENERGETICA NETTA ($V'O_2$ netto) rappresenta il valore della SPESA ENERGETICA TOTALE alla quale viene sottratto il la POTENZA METABOLICA in condizioni di RIPOSO ($V'O_2$ basale).

$$V'O_2 \text{ netto} = V'O_2 \text{ totale} - V'O_2 \text{ basale}$$

➤ **INTENSITA' DELL'ESERCIZIO.**

In secondo luogo devo considerare l'INTENSITA' alla quale deve essere svolta la prova.

Il presupposto per la misurazione del CE è che il soggetto che sta effettuando l'esercizio stia utilizzando esclusivamente energia ad origine aerobica e si trovi in una condizione di equilibrio tra dispendio e richiesta di energia. Ciò è possibile quando l'intensità dell'esercizio è inferiore all'intensità della soglia anaerobica.

In realtà, sarebbe possibile misurare il CE anche ad intensità di lavoro superiori all'intensità corrispondente alla soglia anaerobica. In questo caso, le richieste energetiche dell'esercizio superano le possibilità di sostentamento energetico ad origine esclusivamente aerobica e si rende indispensabile l'intervento di meccanismi energetici anaerobici. In questa condizione, il dispendio energetico dell'esercizio è rappresentato dalla somma della componente ad origine aerobica (rappresentata dal $V'O_2$) alla componente ad origine anaerobica lattacida (rappresentata dal lattato). Il contributo energetico fornito dal metabolismo aerobico lattacido non è facilmente quantificabile. Presuppone la determinazione della lattatemia in condizioni basali (poco prima dell'inizio della prova: lattato basale) e al termine della prova (lattato di picco) e la conversione delle mM di lattato accumulato (lattato di picco – lattato basale) in equivalenti di consumo di ossigeno (1 mM di lattato accumulato corrisponde all'energia prodotta da $3 \text{ mlO}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$; Di Prampero, 1991).

➤ **DURATA DELL'ESERCIZIO**

Infine, deve essere considerata la durata della prova. Requisito necessario per la misurazione del CE è la stabilità nel tempo della richiesta energetica e di conseguenza del dispendio energetico ($V'O_2$ stazionario). Affinché ciò possa avvenire, il carico di lavoro deve essere costante (esercizio "rettangolare" o "a onda quadra") e di durata non inferiore a 6 minuti.

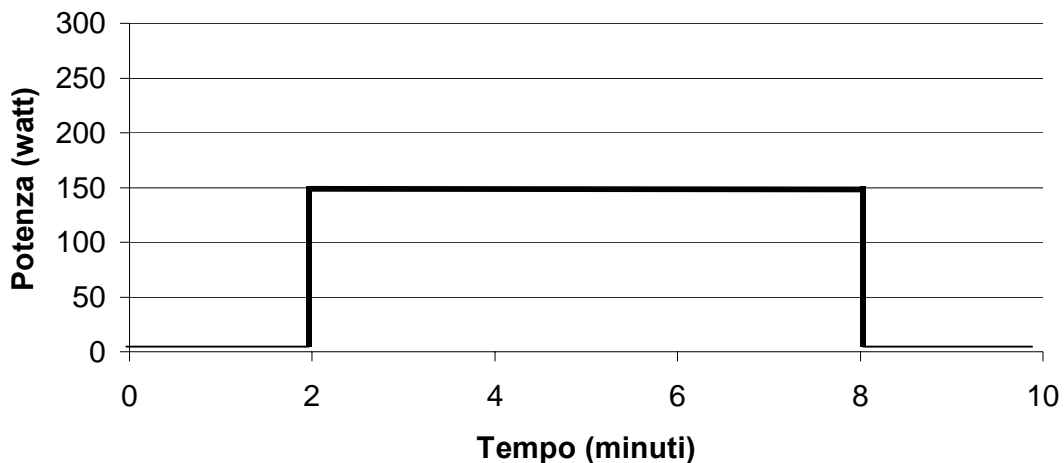
PROTOCOLLI PER LA MISURAZIONE DEL COSTO ENERGETICO

Considerati i requisiti necessari per una corretta misurazione del CE, sarà possibile scegliere tra i seguenti protocolli di esercizio:

1) TEST “RETTANGOLARE” o “A ONDA QUADRA”

Il soggetto deve effettuare un unico carico di lavoro di intensità costante e per una durata non inferiore a 6 minuti.

Protocollo test "rettangolare" o "a onda quadra"

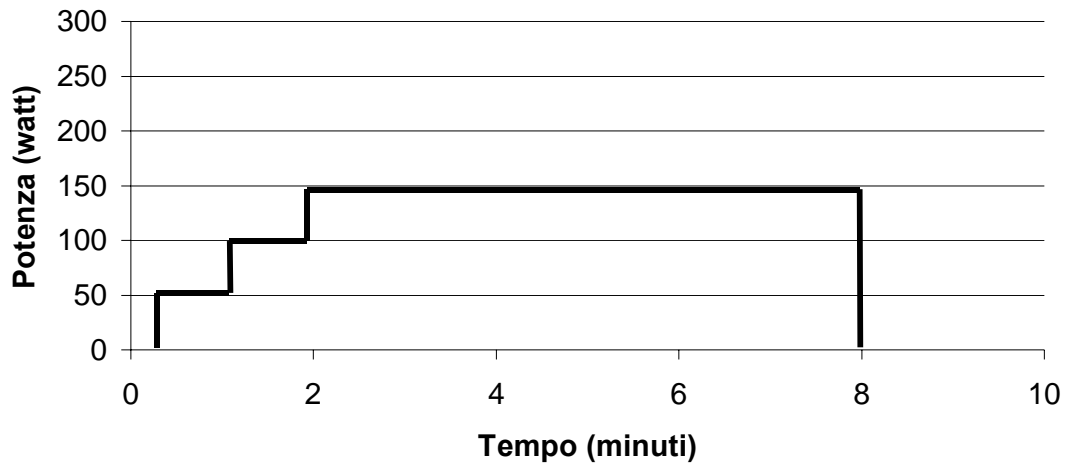


La scelta del carico può essere fatta sulla base di un test precedente, di un test incrementale con carichi crescenti eseguiti per la misurazione della massima potenza aerobica (massima potenza aerobica = $\dot{V}O_2$; al fine di stabilire la percentuale di $\dot{V}O_2$ max alla quale eseguire il test per la misurazione del CE) o, infine, sulla base delle caratteristiche di gara e dell'atleta in modo da testare la velocità specifica più interessante.

2) TEST “TRAPEZOIDALE”

Il soggetto viene sottoposto a carichi di lavoro crescenti; una volta raggiunta la potenza meccanica o la FC richiesta, il carico di lavoro viene mantenuto costante per almeno 6 minuti

Protocollo test "trapezoidale"



3) TEST DI TIPO PERIODIZZATO

Il soggetto deve compiere fasi successive di test rettangolari, ciascuno usualmente di 6 minuti, intervallate da periodi di recupero di durata crescente. Il test viene interrotto quando il soggetto, al termine di un carico, presenta valori di lattatemia superiori alle 4 mM.

Viene usato quando si vogliono ottenere più misure dello stesso soggetto.