

Capitolo 2

INDICI DEL CONSUMO METABOLICO

Daniele Giansanti (a), Donatella Isopi (b), Luana Bottini (b), Alberto Boschetto (b)
(a) *Centro Nazionale Tecnologie Innovative in Sanità Pubblica, Istituto Superiore di Sanità, Roma*
(b) *Università Sapienza, Facoltà di Ingegneria, Roma*

Introduzione

I test del cammino permettono di valutare quale è lo stato di forma fisica di un individuo in relazione alle prestazioni di quest'ultimo nello svolgimento di un preciso test fisico. Come visto, tali test, si soffermano principalmente sulla stima della massima quantità di ossigeno consumata dal soggetto e in relazione ad essa, valutano quale sia il suo stato di forma fisica. Per valutare, invece, la quantità di attività fisica svolta da un individuo si può far riferimento anche ad altre metodologie, che permettono, tramite la stima di diversi indici, di valutare la quantità di energia che verrà consumata dall'organismo in relazione allo svolgimento di specifiche attività. Per valutare quanta attività fisica facciamo in un certo periodo di tempo sono necessari strumenti quantitativi, che possono consistere in misurazioni individuali o stime. Le prime, più precise, sono applicabili a singole persone o a limitati numeri di individui sotto il controllo di uno specialista, per esempio un gruppo di sportivi con il loro istruttore. Per uso personale esistono strumenti portatili, come i contapassi, i cardiofrequenzimetri e i metabolimetri portatili che consentono di monitorare la propria attività fisica e di paragonarla a standard di riferimento: numero di passi, numero di battiti cardiaci al minuto, consumo di calorie. A livello di popolazione, le misurazioni di massa sono improponibili ed è più conveniente affidarsi a strumenti come questionari o interviste, di cui esistono modelli convalidati a livello internazionale. Questi modelli si basano su medie indicative, ottenute sperimentalmente e statisticamente da misure dirette effettuate su campioni di persone.

Di seguito vengono riportati i principali indici utilizzati più comunemente nella stima del consumo metabolico (1-2) e della spesa energetica giornaliera, necessaria affinché un individuo possa svolgere specifiche attività. Particolare attenzione è stata concentrata sull'indice MET (*Metabolic Equivalent Task*) che risulta essere un metodo semplice e scientificamente accettato per lo scopo suddetto. Oltre all'indice MET, che è sicuramente uno dei più conosciuti, esistono altri indici che vengono utilizzati per la valutazione del dispendio energetico di un individuo.

Indici per la stima del consumo metabolico

Gli indici storici del consumo metabolico sono:

– BMR (*Basal Metabolic Rate*)

Tale indice, conosciuto anche con il nome di *Basal Energy Expenditure* (BEE), rappresenta la quantità minima di energia necessaria all'organismo per far funzionare gli organi vitali quando il soggetto è completamente a riposo e a digiuno. Affinché possa essere misurato, è necessario ricreare condizioni molto restrittive: il soggetto deve stare in una stanza buia, sdraiato in posizione di riposo e il BMR va misurato immediatamente dopo il risveglio di

questo, dopo 8 ore di sonno e 12 ore di digiuno (per garantire che il sistema digestivo non sia attivo).

– RMR (*Resting Metabolic Rate*)

È conosciuto anche con il nome di *Resting Energy Expenditure* (REE). Esso rappresenta la quantità di energia necessaria a mantenere in funzione l'organismo, quando questo è completamente a riposo ma non a digiuno. È leggermente differente dal BMR e può essere misurato in maniera meno restrittiva. Il valore del RMR è maggiore di quello del BMR. Esso può essere calcolato come la somma del BMR e del TEF (*Thermic Effect of Food*) che rappresenta la spesa energetica richiesta per la digestione e l'assorbimento dei nutrienti:

$$\text{RMR} = \text{BMR} + \text{TEF} \quad [1]$$

– AEE (*Activity Energy Expenditure*)

Tale indice rappresenta la spesa energetica per lo svolgimento di attività fisiche.

– TEE (*Total Energy Expenditure*)

Rappresenta la spesa energetica totale di un individuo. È data dalla somma degli indici introdotti in precedenza:

$$\text{TEE} = \text{BMR} + \text{TEF} + \text{AEE} = \text{RMR} + \text{AEE} \quad [2]$$

– BMI (*Body Mass Index*)

Rappresenta una valutazione del peso del soggetto in relazione alla sua altezza ed è usato come parametro per l'individuazione dello stato di peso-forma. Viene calcolato tramite la seguente formula:

$$\text{BMI} = \text{peso}(\text{kg}) / [\text{altezza}(\text{m}) \times \text{altezza}(\text{m})] \quad [3]$$

L'Organizzazione Mondiale della Sanità e la medicina nutrizionale utilizzano tale indice insieme a delle tabelle, come quella riportata di seguito, per definire lo stato di peso-forma di un individuo e quale è il rischio a cui questo è esposto circa malattie legate all'obesità. Generalmente, con il crescere del BMI, cresce anche il rischio di malattie. Bisogna tener conto però, che l'equazione usata per stimare il BMI non considera la percentuale di massa grassa dell'individuo, ma soltanto il suo peso. Questo implica che, se si calcola il BMI, per esempio per un atleta o per una persona molto muscolosa, la sola analisi dell'indice potrebbe indurre a posizionare il soggetto in una categoria di rischio più elevata rispetto a quella cui appartiene effettivamente. Si riporta in Tabella 1 una correlazione tra il BMI e il livello di forma fisica.

Tabella 1. Correlazione tra il valore del BMI e il livello di forma fisica

BMI	Livello di forma fisica
30-40	Obeso
25-30	Sovrappeso
18,5-25	Normale
< 18,5	Magro

– MI (*Metabolic Index*)

Risolve i problemi riscontrati con il BMI. Esso infatti, viene calcolato considerando sia il rapporto tra peso e altezza dell'individuo, sia la percentuale di massa grassa. Si ottiene dividendo il BMI per la percentuale di grasso corporeo. Quest'ultima può essere misurata

utilizzando diverse tecniche, tra le quali la più accurata risulta essere quella della pesatura idrostatica.

– *PI (Performance Index)*

È un indicatore che è stato introdotto dalla Technogym (Technogym SpA, Italia) per fornire una valutazione sintetica e facilmente comparabile dell'allenamento svolto. Per misurarlo è necessario che il soggetto indossi un cardiofrequenzimetro per almeno 3 minuti. Tale indice fa riferimento ad una scala di valutazione che va da 0 a 99. Più il valore dell'indice è elevato, maggiore sarà la capacità aerobica. Un aumento dell'indice di performance significa che, a parità di frequenza cardiaca, si è in grado di eseguire un esercizio ad una intensità maggiore. La Tabella 2 riporta la correlazione tra PI e valutazione qualitativa dell'allenamento.

Tabella 2. Correlazione tra PI e valutazione qualitativa dell'allenamento

Valore PI	Giudizio
<10	insufficiente
Da 11 a 20	sufficiente
Da 21 a 30	buono
Da 31 a 40	ottimo
>40	eccellente

– *RQ (Respiratory Quotient)*

È un indicatore che viene utilizzato nel calcolo del BMR, quando questo viene stimato mediante metodologie indirette che fanno riferimento alla quantità di anidride carbonica prodotta. Si calcola come rapporto tra l'anidride carbonica rilasciata dall'organismo e l'ossigeno consumato:

$$RQ = \text{CO}_2 \text{ eliminata} / \text{O}_2 \text{ consumato} \quad [4]$$

Il TEE è una misurazione importantissima che tuttavia è difficile da ottenere e generalmente può essere effettuata solo in condizioni sperimentali. È pratica comune misurare prima l'RMR, e quindi stimare le altre componenti del TEE.

Per valutare il metabolismo a riposo, si utilizzano le formule ottenute da Harris e Benedict (2):

- per gli uomini vale la formula

$$RMR = 66,5 + 13,8 \times w + 5 \times h - 6,8 \times a \quad [5]$$

- per le donne vale la formula

$$RMR = 655,1 + 9,6 \times w + 1,8 \times h - 4,7 \times a \quad [6]$$

dove: w = peso (kg); h = altezza (cm); a = età (anni).

Questo metodo consente di ottenere una stima di RMR con accuratezza del 20%.

Queste formule tengono conto del sesso, del peso corporeo, dell'altezza e dell'età. L'RMR calcolato deve poi essere modificato da un fattore per prevedere il fabbisogno energetico di attività totali in base allo stile di vita. I fattori di aggiustamento di attività per adulti sani spesso vanno da 1,2 (stile di vita sedentario) a 1,5 (moderatamente attivo), e sono anche ulteriormente aumentati per soggetti molto attivi.

La composizione corporea influenza la spesa energetica e, di conseguenza, può influenzare la capacità predittiva delle formule. La massa magra è la più grande determinante della spesa energetica basale. Tuttavia, gli individui obesi hanno un RMR inferiore a quanto previsto se si

utilizzano le formule precedenti, a causa di una maggiore percentuale di massa grassa rispetto a quella magra. Pertanto le equazioni non possiedono uguale capacità predittiva tra individui di peso normale rispetto agli individui in sovrappeso o con storie differenti di perdita di peso.

Le seguenti rappresentano una modifica delle due formule per renderle più accurate (2) è la seguente:

- per gli uomini vale la formula

$$\text{RMR}=88,362+13,397\times w+4,799\times h-65,677\times a \quad [7]$$

- per le donne vale la formula

$$\text{RMR}=447,593+9,247\times w+3,098\times h-4,330\times a \quad [8]$$

Anche queste equazioni sono dipendenti dal peso corporeo e non tengono conto delle diverse attività che vengono condotte e della differenza tra massa magra e massa grassa.

Un indice emergente: il *Metabolic Equivalent Task*

Definizioni

Un semplice metodo per registrare e valutare l'intensità dell'attività fisica svolta è il *Metabolic Equivalent Task* (MET) (3) o equivalente metabolico: un MET è definito come il livello del metabolismo di un individuo dal peso standard di 70 kg peso e di 40 anni seduto tranquillamente a riposo. Multipli del MET indicano livelli crescenti di sforzo fisico: 2 MET indicano che l'energia spesa è il doppio che a riposo, 3 MET corrispondono al triplo del dispendio energetico a riposo e così via. Un MET corrisponde al consumo di 3,5 mL di ossigeno al minuto, per kg di peso corporeo.

L'indice MET può anche essere utilizzato per conoscere la quantità di lavoro svolta durante l'attività fisica. La quantità di lavoro infatti, può essere calcolata moltiplicando l'intensità (espressa in MET) per il tempo dell'esercizio (espresso in minuti): il risultato di tale prodotto ci fornirà la quantità di lavoro svolto espresso in MET-minuti. Per esempio se una persona pratica un'attività di 4 MET per 30 minuti, svolge un lavoro pari a $4 \times 30 = 120$ MET-minuti. Si noti inoltre che la stessa quantità di lavoro si ottiene svolgendo un esercizio di intensità 6 MET per 20 minuti: $6 \times 20 = 120$ MET-minuti. In pratica, camminare di buon passo a 5 km / h per mezz'ora (intensità di 3,3 MET) fa totalizzare circa 100 MET-minuti, equivalenti a correre a 10 km/h (intensità di 10 MET) per una decina di minuti. È stato appurato che i benefici dell'attività fisica sulla salute dipendono principalmente dal valore totale di energia consumata durante l'esercizio fisico: la maggior parte dei vantaggi si raggiungono totalizzando da 500 a 1.000 MET-minuti alla settimana. I benefici crescono in modo proporzionale al totale dell'energia spesa; già al di sotto della soglia di 500 MET-minuti c'è qualche beneficio, mentre al di sopra di 1.000 i vantaggi per la salute possono essere ancora maggiori.

Nella pratica comune, l'intensità dello sforzo fisico espresso in MET nello svolgere specifiche attività è riportato in apposite tabelle costruite tramite misurazioni dirette realizzate su campioni di popolazione. Un esempio di tali tabelle è riportata di seguito (Tabella 3).

Tabella 3. Correlazione tra MET e diverse attività con esempi

MET	Attività	Esempio
1	Dormire, riposare sdraiati	Prendere il sole, guardare la TV coricati su un divano
2	Attività da seduti	Mangiare, leggere, guidare l'auto, suonare strumenti musicali, bricolage leggero
3	Esercizio molto leggero	Lavoro d'ufficio, guidare mezzi pesanti, camminare di buon passo, curare pazienti
4	Esercizio leggero (respiro normale)	Spolverare, fare shopping, fare giardinaggio, camminare molto velocemente
5	Esercizio moderato (respiro profondo)	Camminare portando pesi, andare in bicicletta, pulire i vetri, imbiancare, lavori di carpenteria, ballare, sci alpino
6	Esercizio vigoroso (respiro accelerato, senso di calore)	Jogging moderato, nuotare, giocare a tennis, pattinare, portare le piante, salire e scendere le scale, sci di fondo
7	Esercizio pesante (dispnea e sudore profuso)	Giocare a basket, salire le scale portando pesi, praticare escursionismo
8-10	Esercizio molto pesante	Correre a velocità > 10 km/h

Si noti che:

- Per le attività sportive riportate in tabella è stata considerata una pratica a scopo ricreativo e non competitivo.
- Il MET corrisponde all'energia spesa al minuto da un soggetto di 40 anni del peso di 70 kg tranquillamente seduto, cioè un consumo di 3,5 mL di ossigeno per kg di peso corporeo al minuto.
- Il lavoro aerobico in un adulto sano in buona forma può raggiungere i 6 MET senza eccessiva sensazione di fatica.

Limiti nell'uso del MET

I valori del MET, che possiamo trovare in apposite tabelle, dove differenti valori di questo indice sono associati allo svolgimento di specifiche attività, sono stati ricavati da studi statistici condotti su campioni di persone sottoposte a misurazioni reali durante sforzo muscolare. Per questo motivo tali valori devono essere considerati come indicativi e statisticamente validi per una persona media. Naturalmente, il livello di intensità con cui una persona svolge una specifica attività, si discosterà dai livelli usati per il calcolo sperimentale dei valori tabulati e inoltre il dispendio energetico e l'RMR varierà secondo il livello di forma fisica del soggetto e di altri fattori. Le stesse considerazioni valgono per i valori del MET forniti da attrezzature moderne per il fitness, che si basano su modelli statistici e hanno un valore puramente indicativo. Anche se i valori del MET forniti da tali macchine sono una stima migliore rispetto i valori tabulati, non esiste comunque un modo per correlare tali valori all'effettivo RMR della persona e quindi all'effettivo consumo energetico, che sarà influenzato da numerosi fattori fisici e ambientali, come il livello di forma fisica, la salute cardiovascolare nonché le condizioni ambientali in cui l'attività fisica viene svolta. Tenendo conto di quanto affermato fino ad ora, una persona può utilizzare il concetto di MET per pianificare o monitorare i livelli di attività fisica o per avere una indicazione dell'intensità aerobica e dell'ordine di grandezza dell'energia spesa per una specifica attività, ma non può usare tale concetto per calcolare l'effettivo dispendio energetico (3-5).

I limiti appena esposti rendono problematica anche la definizione di MET quando questa si riferisce ad una persona specifica. Si ricorda che per definizione si ha che 1 MET =

3,5 mL O₂/kg/min; tale valore è stato ricavato sperimentalmente dal consumo di ossigeno di un particolare soggetto (40 anni, in salute, 70 kg di peso) e per questo esso deve essere considerato standard. Dato che l'RMR di una persona dipende principalmente dalla massa magra (e non dal peso totale) e da altri fattori fisiologici, l'RMR reale (e quindi un MET equivalente di energia) può variare in modo significativo da una persona ad un'altra. Misurazioni dell'RMR realizzate in ricerche mediche, usando la calorimetria, hanno mostrato che il valore standard di un MET sottostima il reale consumo di ossigeno di un soggetto a riposo e il suo reale dispendio di energia di circa il 20-30%. Da tali studi è inoltre emerso che la variabilità del consumo energetico è da attribuirsi principalmente alla composizione corporea (rapporto tra massa magra e grassa).

L'esperienza statunitense: *Compendium of physical activities*

Il *Compendium of Physical Activities* (CPA) (6) fu sviluppato per essere utilizzato negli studi epidemiologici in maniera di standardizzare l'assegnazione dei valori da dare al MET nei questionari relativi all'attività fisica. Esso fu progettato dal Bill Haskell dell'Università di Stanford e fu usato per la prima volta negli USA per uno studio di monitoraggio dell'attività fisica *Survey of Activity, Fitness and Exercise* (SAFE) del 1987 e 1989. In seguito il CPA fu usato in tutto il mondo per l'assegnazione dei valori del MET e per sviluppare modi innovativi di valutare l'energia spesa nelle attività fisiche. La prima versione fu pubblicata nel 1993, a questa sono seguite versioni aggiornate nel 2000 e nel 2011.

Anche nell'uso del CPA si presentano le stesse limitazioni che sono state già sottolineate nell'uso dell'indice MET. Il CPA, infatti, non nasce come strumento per determinare il preciso costo energetico delle attività fisiche del singolo individuo, ma piuttosto per fornire una classificazione che standardizza l'assegnazione dei valori da dare al MET in relazione a differenti attività fisiche. Questo significa che i valori del MET riportati nel CPA non stimano il dispendio energetico tenendo conto delle differenze di massa corporea, età, sesso, efficienza nel movimento e condizioni ambientali in cui vengono svolte le attività e ciò implica che l'energia spesa da diversi individui nel compiere una stessa attività può essere molto diversa.

Nonostante l'obiettivo del CPA sia quello riportato sopra, molto spesso quest'ultimo viene utilizzato al di fuori del suo scopo originale. Questo ha reso necessario fornire un metodo che permetta di "aggiustare" i valori del MET forniti dal CPA stesso per poterli utilizzare per altri scopi. Come già affermato in precedenza, nel CPA, il termine MET, è utilizzato per riflettere il costo energetico di un'attività fisica e pur di grande utilità soffre dei limiti precedentemente esposti (3-5). Pertanto da taluni studiosi sono state mosse critiche al CPA.

Nella Tabella 4 si mette in evidenza come variazioni nell'età, nell'altezza, nella massa corporea possono influenzare il dispendio energetico nello svolgere una stessa attività. Nella tabella vengono confrontati i valori del MET standard e i valori corretti per soggetti di entrambi i sessi di 35 anni, con peso normale e per soggetti di entrambi i sessi di 55 anni, in sovrappeso, in relazione a 7 attività diverse. Un valore di riepilogo in MET-minuti è calcolato, a scopo di confronto, per ogni colonna, usando come tempo di esecuzione di ogni attività il valore 30 minuti. I valori del MET presi dal CPA 2011 sono i valori standard. I dati delle altre colonne invece mostrano come sia rilevante l'impatto, nella stima del costo energetico di una attività, del peso, dell'età e del sesso. Dalla tabella, si nota, che in tutte le attività considerate, i valori standard del MET sottostimano i valori corretti. Inoltre, si vede, che i soggetti più giovani e con peso normale hanno livelli di MET più vicini a quelli standard rispetto l'altro gruppo di soggetti. I dati mostrano anche che il costo energetico effettivo aumenta all'aumentare della massa corporea (BMI) e dell'età.

Tabella 4. Valori del MET in relazione ad attività specifiche secondo il CPA 2011

Attività	Valori di MET	Valore corretto del MET			
		Femminile		Maschile	
		<i>peso normale</i> 60 kg, 168 cm, 35 anni	<i>sovrappeso</i> 77 kg, 168 cm, 55 anni	<i>peso normale</i> 70 kg, 178 cm, 35 anni	<i>sovrappeso</i> 91 kg, 178 cm, 55 anni
Salto con la corda	12,3	13,5	16,5	12,9	15,4
Corsa di 6 miglia/h	9,8	10,7	13,1	10,3	12,3
Bicicletta	7,5	8,2	10,0	7,9	9,4
Spingere un passeggino	4,0	4,4	5,4	4,2	5,0
Ginnastica ritmica	3,5	3,8	4,7	3,7	4,4
Shopping	2,3	2,5	3,1	2,4	2,9
Guardare la TV	1,3	1,4	1,7	1,4	1,6
Totale MET in minuti*	1221	1335	1635	1294	1530

*usando come tempo di esecuzione 30 min

Nelle *Physical Activity Guidelines for Americans (7)* del 2008, è dato particolare spazio al MET. L'intensità delle diverse attività è stata classificata in 3 categorie:

- Leggera : < 3MET
- Moderata: 3 MET-5,9 MET
- Alta : ≥ 6 MET

Bibliografia

1. Howley ET. You asked for it: question authority. *ACSM'S Health Fitness J* 2000; 4(1): 6-40
2. Harris JA, Benedict FG. A biometric study of human basal metabolism. *Proc Natl Acad Sci USA* 1918;4(12):370-3.
3. Brooks AG, Withers RT, Gore CJ. Measurement and prediction of METs during household activities in 35- to 45-year-old females. *Eur J Appl Physiol* 2004;91:638-48.
4. Kwan M, Woo J, Kwok T. The standard oxygen consumption value equivalent to one metabolic equivalent (3.5 mL/min/kg) is not appropriate for elderly people. *Int J Food Sci Nutr* 2004;55(3):179-82.
5. Kozey S, Lyden K, Staudenmayer J, Freedson PJ. Errors in MET estimates of physical activities using 3.5 mL x kg(-1) x min(-1) as the baseline oxygen consumption. *Phys Act Health* 2010;7(4):508-16.
6. Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR Jr, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC, Leon AS. 2011 Compendium of physical activities: a second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(8):1575-81.
7. US Department of Health and Human Services. *2008 Physical Activity Guidelines for Americans*. Washington, DC: Secretary of Health and Human Services; 2008.