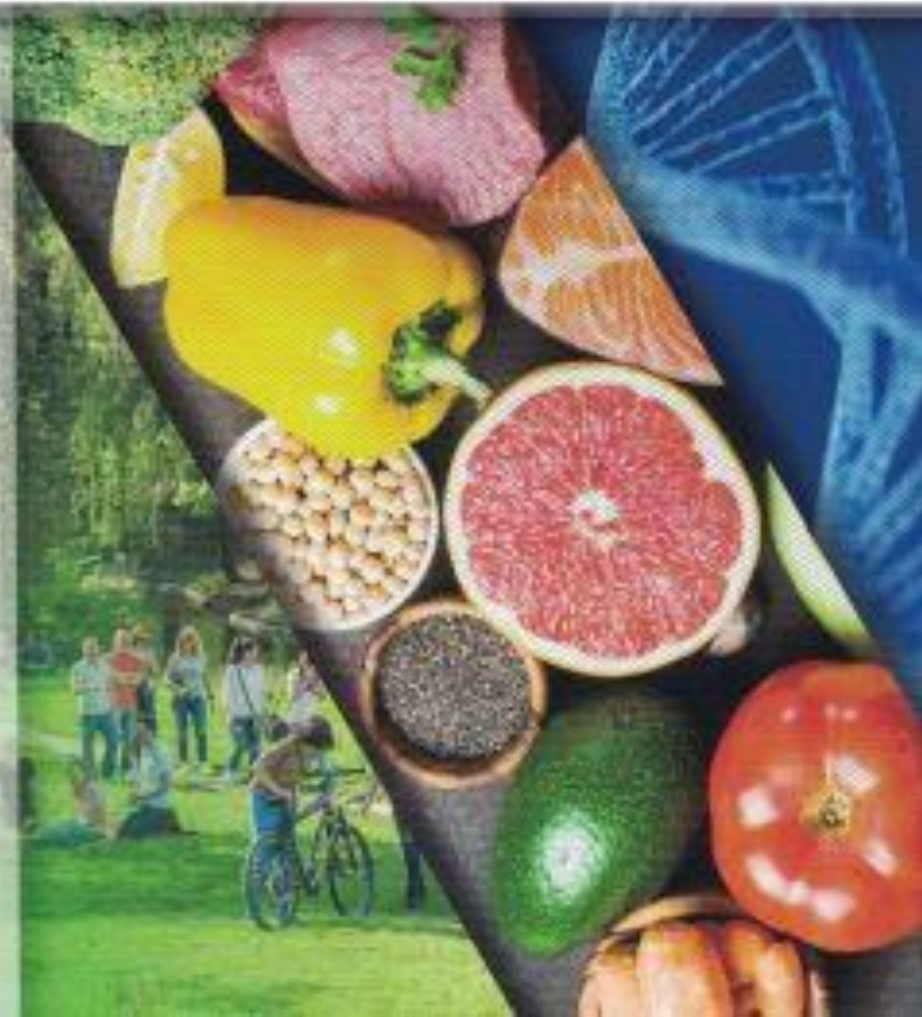




Lucantonio Debellis • Alessandro Poli

# Alimentazione, Nutrizione e Salute

Maria Berni  
Eliaberta Bernard  
Simone Bertoli  
Giuseppe Cibelli  
Giacchino D'Urso  
Lucantonio Debellis  
Irina Demori  
Danilo Di Majo  
Marco Giammarco  
Maurizio La Guardia  
Stefano Magnelli  
Vito Michele Paradiso  
Maria Parpinel  
Alessandro Poli  
Ezio Spisni



Alimentazione,  
Nutrizione e Salute  
Debellis/Poli  
EdidSES

## BILANCIO ENERGETICO



## EQUAZIONE DEL BILANCIO ENERGETICO

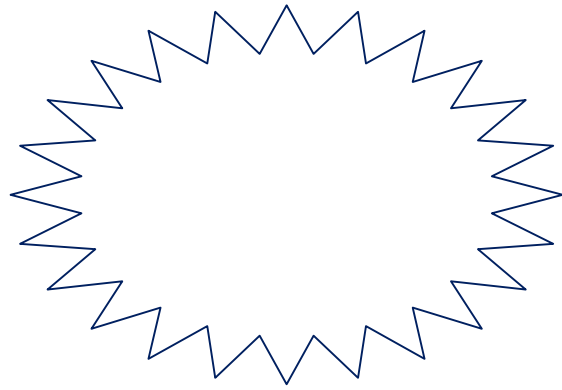
$$\text{Energia introdotta (cibo)} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Energia spesa (calore, lavoro, biosintesi)} \\ + \\ \text{Energia conservata} \end{array} \right.$$

## ***UTILIZZAZIONE DELL'ENERGIA INTRODotta***

L'energia chimica assorbita (assimilata) è utilizzata per svolgere lavoro fisiologico di tre tipi principali:

- **MECCANICO** → contrazione muscolare
- **ELETTRICO** → mantenimento dei gradienti ionici (e.g., Na-K ATPasi; 70% di ATP utilizzato dal rene e dal cervello utilizzato per mantenere i gradienti)
- **CHIMICO** → biosintesi (e.g., sintesi di macromolecole)

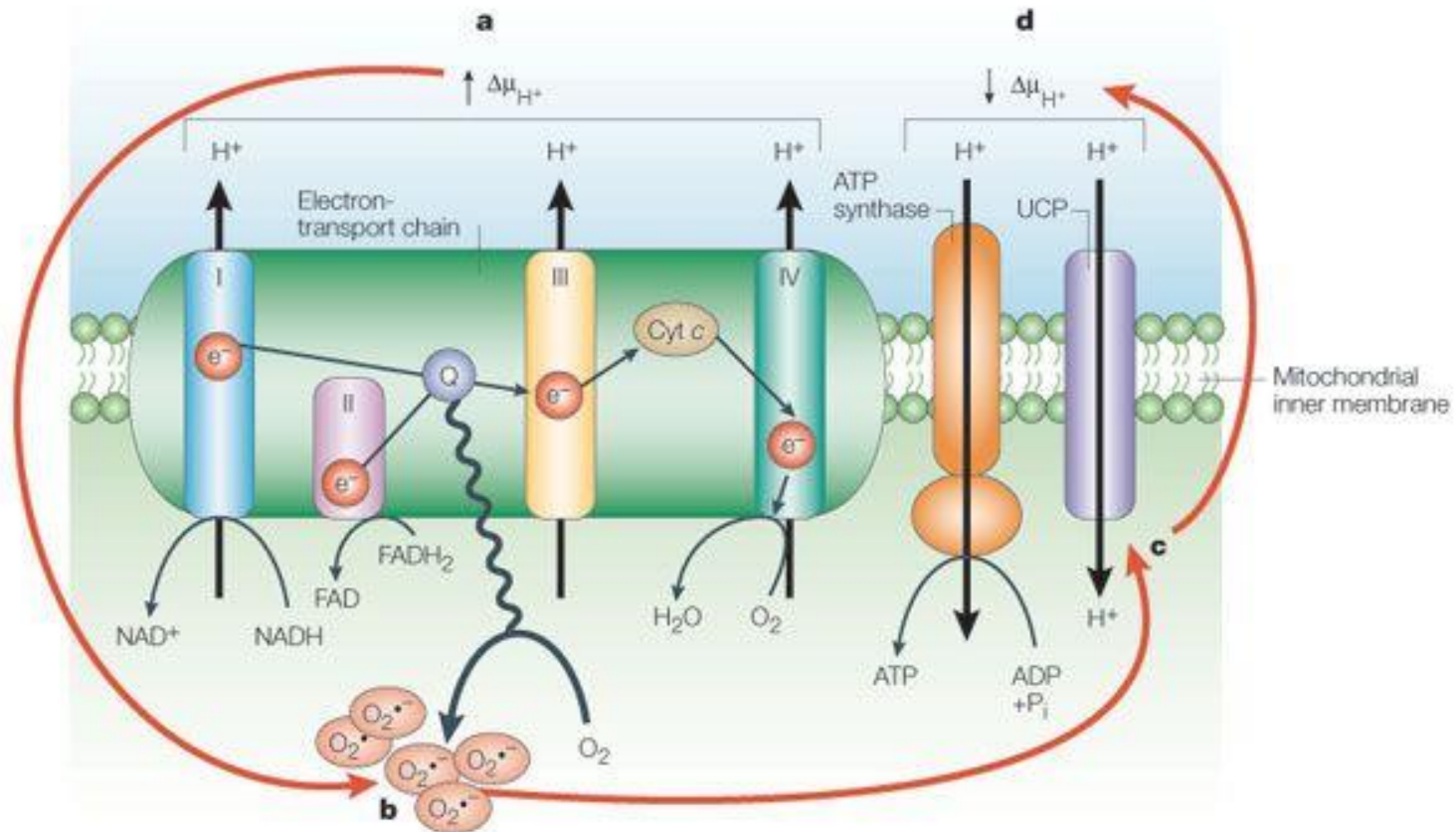
# INEFFICIENZA DEI PROCESSI DI TRASFORMAZIONE DELL'ENERGIA

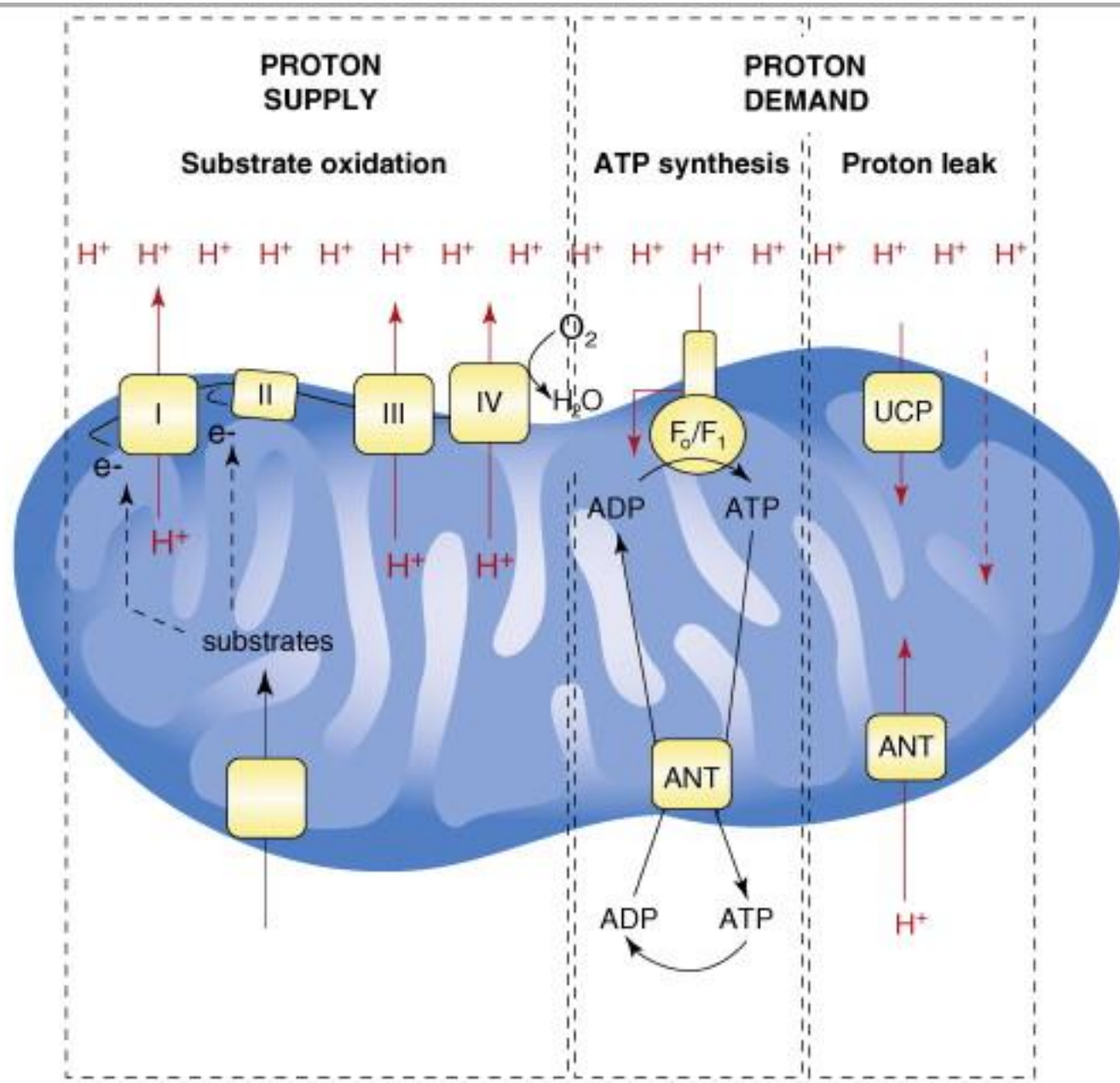


40% utilizzata per formare il legame ad alta energia del fosfato



60% “persa” (?) come calore

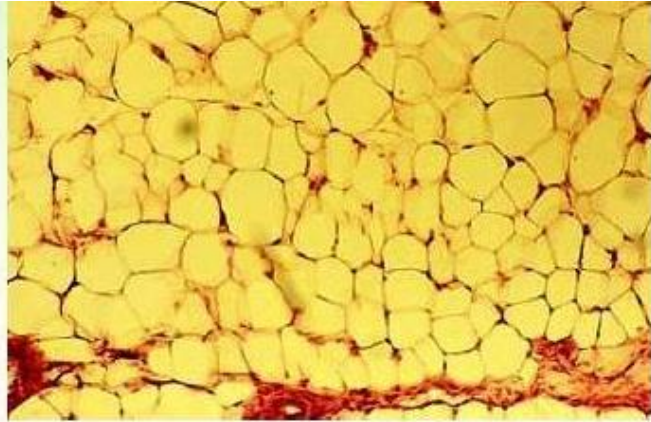




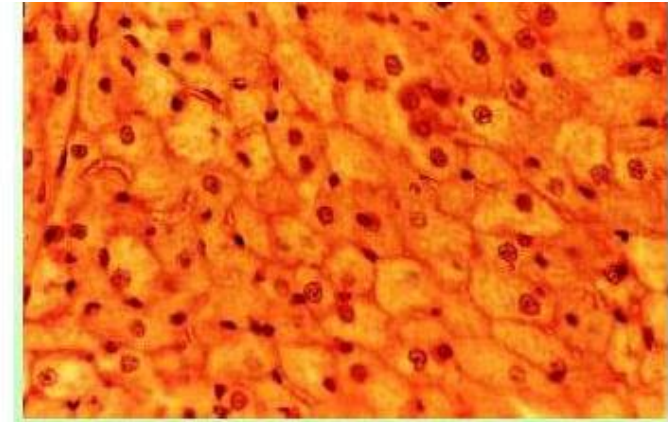
# TESSUTO ADIPOSO: deposito di materiale energetico

## BIANCO

Sottocutaneo: 67 %, Intramuscolare: 12%, Viscerale: 21 %

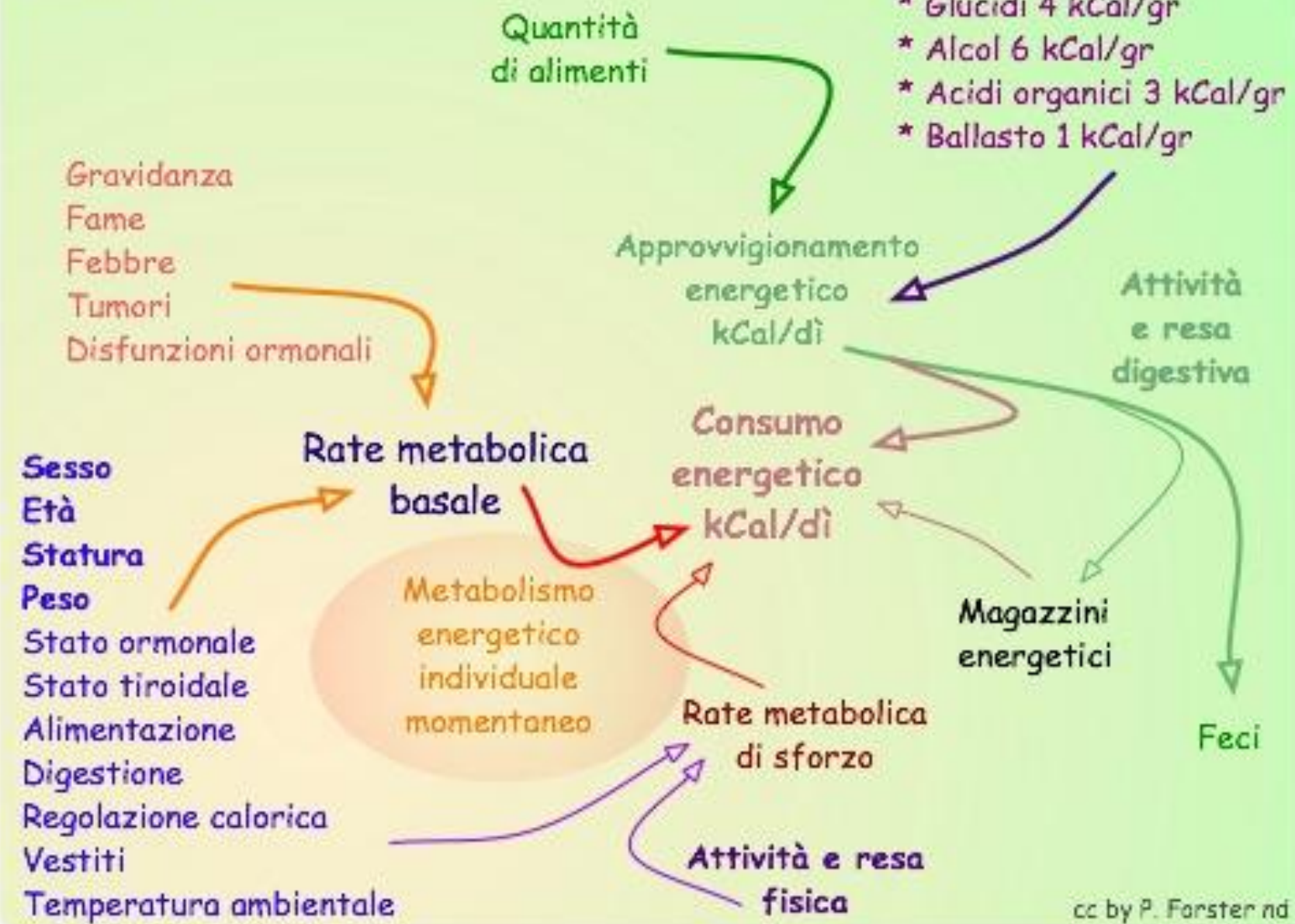


## BRUNO



	<b>BIANCO</b>	<b>BRUNO</b>
<b>Funzione</b>	Riserve energetiche	Termogenesi
<b>Risposta al freddo</b>	Lieve	Intensa
<b>Distribuzione</b>	Estesa	Limitata
<b>Vascularizzazione</b>	Scarsa	Estesa
<b>Gocce lipidiche</b>	Uniloculari	Multiloculari
<b>Mitocondri</b>	Scarsi	Numerosi
<b>Metabolismo</b>	Rilascia Acidi Grassi	Ossidazione in situ
<b>Acidi grassi</b>		
<b>UCP</b>	Assente	Presente

# Bilancio energetico umano



**ENTRATE**



**PESO**



**USCITE**

**Introito calorico**



**Energia  
metabolizzabile**



**Metabolismo basale**  
**Effetto termico del cibo**  
**Attività fisica**



**Depositi  
di grasso**

# Misura dell'introito calorico

Metodo diretto: Bomba Calorimetrica

- L'alimento è completamente ossidato a  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  (NO) producendo energia
- Il calore di combustione è misurato da un aumento della temperatura dell'acqua
- E' così misurata la densità energetica degli alimenti espressa in energia/g di alimento

*L'apporto energetico di un alimento è misurato dalla  
kcaloria (kcal)*

**1 kcal = 4.184 kJ**

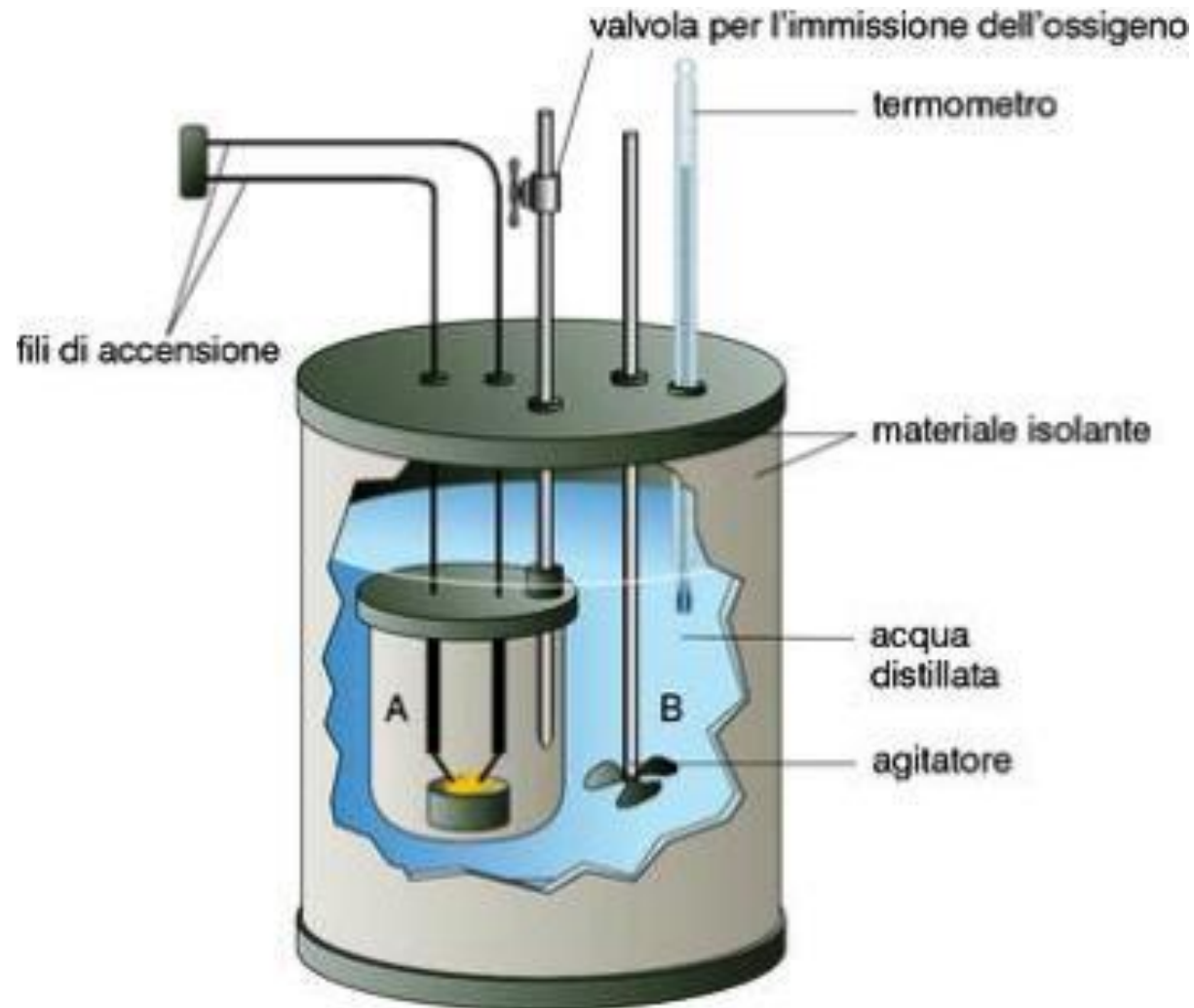


A calorie is the amount of energy needed to raise the temperature of one kilogram of water (about 4 cups) from 15°C to 16°C (59°F to 61°F).



# BOMBA CALORIMETRICA

misura il calore prodotto quando il cibo è ossidato



# DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO ENERGETICO DEGLI ALIMENTI

La bomba calorimetrica è un apparecchio usato per determinare il calore di combustione di sostanze solide o liquide, all'interno della quale si comprime ossigeno a circa 35 atmosfere (sotto pressione) attraverso un rubinetto apposito e si immerge il tutto in un calorimetro ad acqua costituito da un vaso di Dewar. La combustione della sostanza in esame viene provocata mediante una corrente elettrica.

In tale apparecchiatura il calore fornito dall'ossidazione dei substrati fa innalzare la temperatura di un volume noto di acqua che circonda la bomba calorimetrica e attraverso il valore (in °C) dell'innalzamento termico, il valore del calore specifico dell'acqua e la quantità precisa della sostanza sottoposta all'ossidazione si risale alle chilocalorie prodotte per grammo di sostanza contenuta nella capsula.

$$\Delta H = [(\Delta T \times e) - f] / m$$

**m** = massa della pasticca in mg

**f** = la correzione del filo di nichel

**e** = capacità termica dello strumento, calcolata utilizzando uno standard di acido

benzoico, di cui è noto il  $\Delta H$ , pari a 6318 cal g<sup>-1</sup>:  $(\Delta H \times m \text{ (g)} + f \text{ (cal)}) / \Delta T \text{ } ^\circ\text{C}$

Moltiplicare le Kcal per 4.18 per convertire il risultato in KJ.

# *Misura dell'energia metabolizzabile*

## *Metodo diretto:*

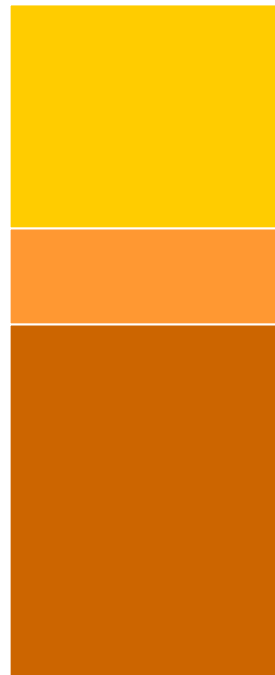
Sottrarre all'introito calorico l'energia persa con le feci e le urine

## *Metodo indiretto:*

Calcolo in base alla composizione in macronutrienti della dieta (tabelle di composizione degli alimenti), utilizzando fattori energetici di conversione detti valori calorici biologici:

- **Proteine: 17 kJ o 4 kcal/g**
- **CHO: 17 kJ o 4 kcal/g**
- **Lipidi: 37 kJ o 9 kcal/g**

# PRINCIPALI DETERMINANTI DELLA SPESA ENERGETICA

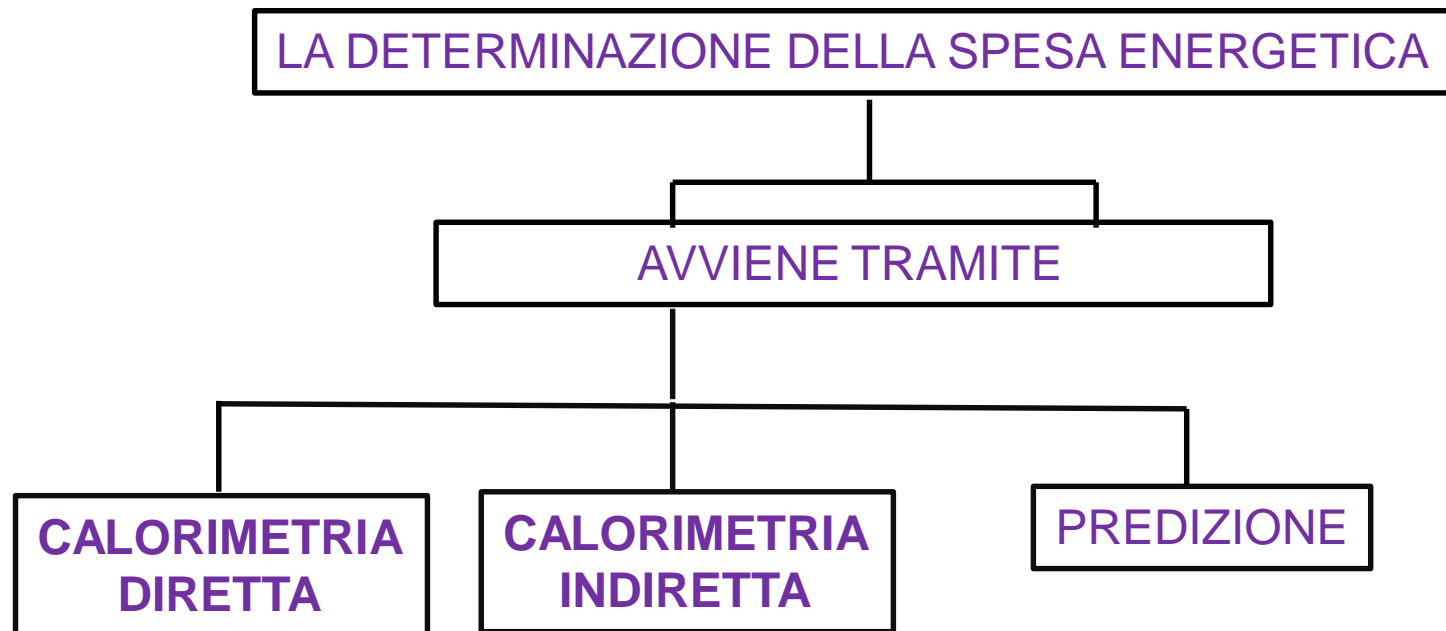


~ 30% Attività fisica

~ 10% Effetto termico del cibo

~ 60% Metabolismo basale

# METODICHE DI MISURAZIONE DELLA SPESA ENERGETICA



# CALORIMETRIA DIRETTA

Si basa sul principio secondo cui **tutti i processi metabolici** che si verificano nell'organismo portano alla **produzione di calore**

Richiede l'utilizzo di una **camera metabolica** che rende possibile la misurazione del calore prodotto dal soggetto in esame, che viene fatto soggiornare nella camera **per almeno 24 ore**

# CALORIMETRIA DIRETTA

## VANTAGGI

- Precisione ed accuratezza della Misura  
(= metodica di riferimento per la validazione delle altre tecniche)

## SVANTAGGI

- Costo elevato
- Difficoltà legate al funzionamento degli impianti
- Complessità
- Tempistiche d'esecuzione



**NON APPLICABILE A  
LIVELLO AMBULATORIALE**

# CALORIMETRIA INDIRECTA

Si basa sul principio della **TERMOCHIMICA RESPIRATORIA**:  
l'organismo ricava energia mediante l'ossidazione dei substrati energetici contenuti negli alimenti in reazioni stechiometriche conosciute in cui è consumato ossigeno e prodotta anidride carbonica



**Permette di stimare la spesa energetica a partire da:**

- consumo di ossigeno
- produzione di anidride carbonica
- escrezione urinaria di azoto

# CALORIMETRIA INDIRECTA

Come risalire da  $VO_2$  e  $VCO_2$  alla misura della spesa energetica ?

## EQUAZIONE DI WEIR

$$SE = 3,941 VO_2 + 1,106 VCO_2 - 2,17 uN_2$$

SE = spesa energetica (Kcal/min)

$uN_2$  = escrezione urinaria di azoto (gr/die)

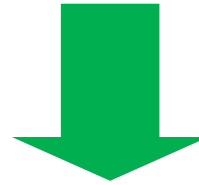
$VO_2$  e  $VCO_2$  misurate in l/min

Trascurando l'effetto del metabolismo proteico:  
errore dell'1% per ogni 12-13% di kcal derivanti da proteine -> equazione semplificata:

$$SE = 3,941 VO_2 + 1,106 VCO_2$$

# CALORIMETRIA INDIRECTA PER LA MISURA DEL METABOLISMO BASALE

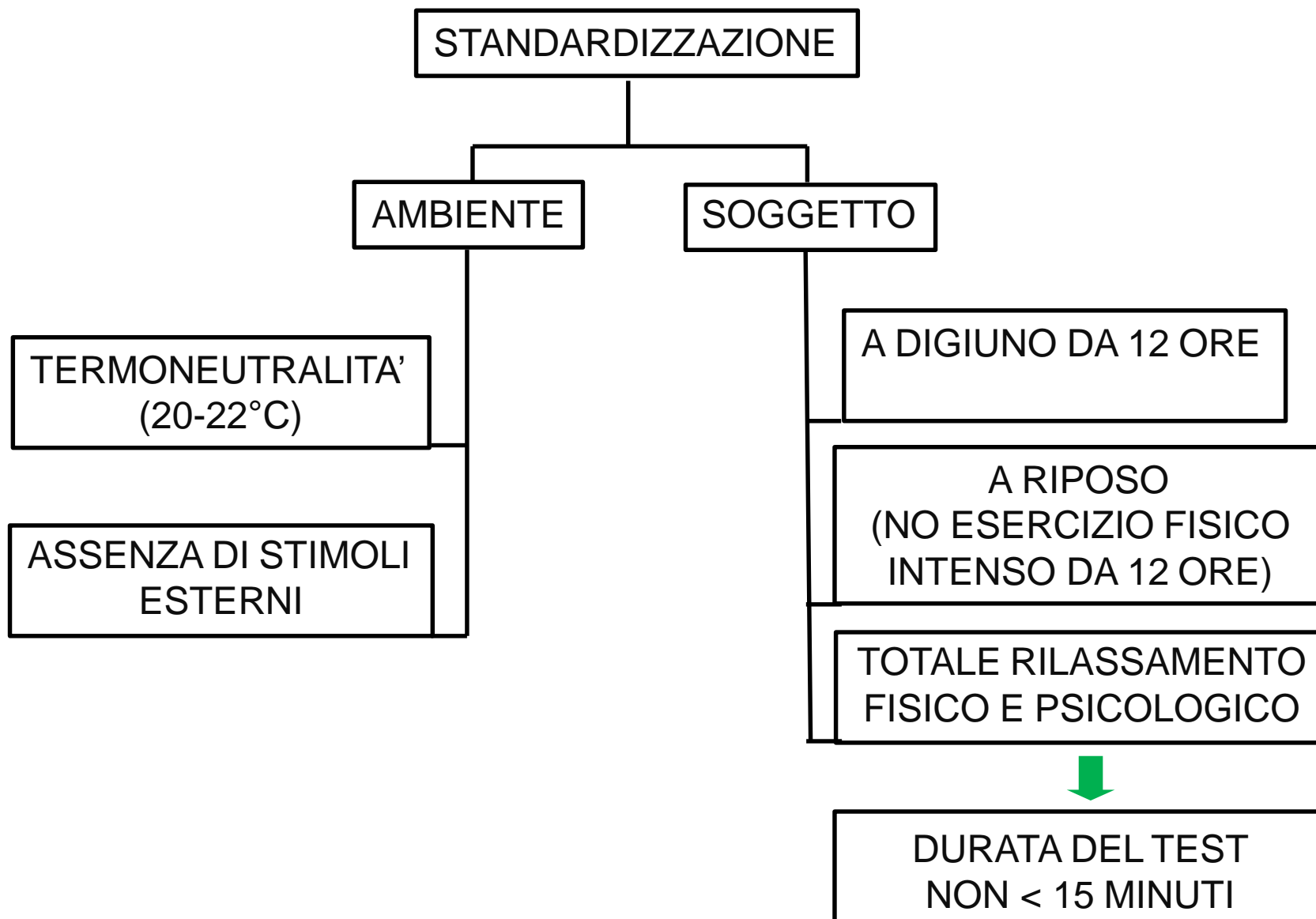
Se si vuole valutare **solo il METABOLISMO BASALE** e NON la tipologia di nutrienti ossidati si può determinare **solo il CONSUMO DI OSSIGENO**, utilizzando l'equivalente calorico per litro di ossigeno (4,82 kcal/l)



Questo spiega il diffuso utilizzo di strumenti (facilmente applicabili a livello ambulatoriale) contenenti equazioni calorimetriche basate solo sul consumo di ossigeno



# CONDIZIONI DI MISURAZIONE STRUMENTALE DEL MB



# Fattori che influenzano il metabolismo basale

- 1) Composizione e dimensioni corporee:  
↑ massa magra corporea ↑ metabolismo basale
- 2) Età: ↑ età ↓ massa magra corporea ↓ metabolismo basale
- 3) Sesso: Maschi ↑ metabolismo basale ↑ massa magra corporea
- 4) Attività fisica: ↑ massa magra corporea ↑ metabolismo basale
- 5) Efficienza metabolica: ↑ efficienza metabolica ↓ metabolismo basale
- 6) Disfunzioni ormonali

## L'energia del metabolismo basale è così ripartita

<b>Metabolismo epatico</b>	<b>26 %circa</b>
<b>Tono muscolare</b>	<b>25 %circa</b>
<b>Funzione cerebrale</b>	<b>18 %circa</b>
<b>Funzione respiratoria</b>	<b>10 %circa</b>
<b>Funzione cardiaca</b>	<b>9% circa</b>
<b>Funzione renale</b>	<b>7%circa</b>
<b>Altro</b>	<b>5%circa</b>

# Formule per calcolare il metabolismo basale

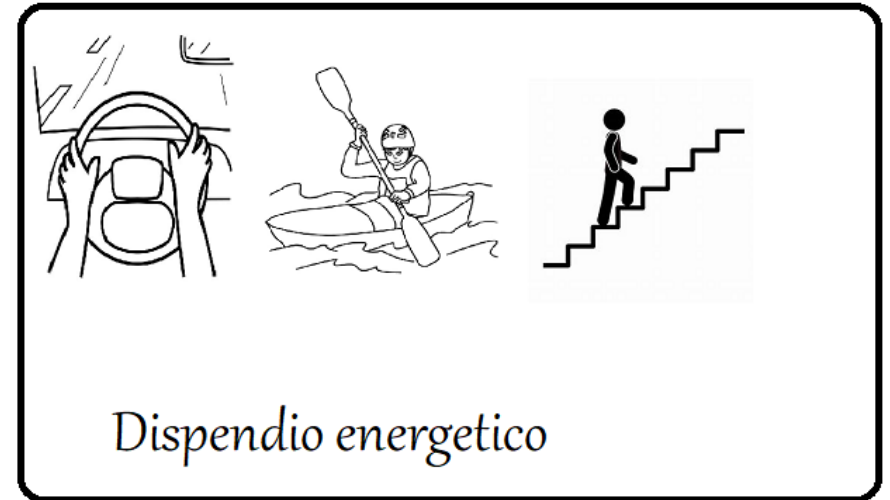
Formula per il calcolo del metabolismo basale (MB) (metodo della Commission of the European Communities-LARN 1996)		
Età in anni	Maschi (kcal/giorno)	Femmine (kcal/giorno)
< 3	$(59,5 \cdot \text{kg di peso corporeo}) - 31$	$(58,3 \cdot \text{kg di peso corporeo}) - 31$
3 - 9	$(22,7 \cdot \text{kg di peso corporeo}) + 504$	$(20,3 \cdot \text{kg di peso corporeo}) + 485$
10 - 17	$(17,7 \cdot \text{kg di peso corporeo}) + 650$	$(13,4 \cdot \text{kg di peso corporeo}) + 693$
18 - 29	$(15,3 \cdot \text{kg di peso corporeo}) + 679$	$(14,7 \cdot \text{kg di peso corporeo}) + 496$
30 - 59	$(11,6 \cdot \text{kg di peso corporeo}) + 879$	$(8,7 \cdot \text{kg di peso corporeo}) + 829$
60 - 74	$(11,9 \cdot \text{kg di peso corporeo}) + 700$	$(9,2 \cdot \text{kg di peso corporeo}) + 688$
> 75	$(8,4 \cdot \text{kg di peso corporeo}) + 819$	$(9,8 \cdot \text{kg di peso corporeo}) + 624$

# Livelli di attività fisica

LAF giornalieri			
ADULTI	Attività leggera	Attività moderata	Attività pesante
Uomini	1,55	1,78	2,01
Donne	1,56	1,64	1,82
ANZIANI			
Uomini	1,45		
Donne	1,48		

**Spesa energetica = Metabolismo basale x LAF**

## ***Dispendio energetico nelle varie attività***



- svolgere attività leggere come lavorare in ufficio, far compere o lavori domestici leggeri da 125-310 kcal/ora
- svolgere attività moderate di vario tipo da 315 a 480 kcal/ora
- attività pesanti come praticare diversi sport o spalare neve da 480 a 625 kcal/ora.

<b>Attività</b>	<b>Kcal/min</b>
Dormire	0,9
Stare seduto	1,0
Stare in piedi inattivo	1,1
Scrivere al computer	1,3
Lavare la biancheria a mano	3,0-4,0
Pulire i pavimenti	3,6
Stirare	3,5-4,2
Pulire e battere i tappeti a mano	7,8
Montare circuiti elettronici	2,7
Intonacare una parete	4,1-5,5
Fare lavori agricoli	5,5-7,0
Spalare	6,0
Camminare in piano (4 km/ora)	2,5-3,5
Correre in bicicletta (22 km/ora)	11,1
Correre a piedi (12 km/ora)	15,0

## Costo energetico di alcune attività ricreative e sportive

(Riferito ad un minuto effettivo di attività fisica senza pause)

Tipo di attività	Cal/min	Tipo di attività	Cal/min
Alpinismo	9,8	Nuoto ricreativo	9,1
Ballo calmo:	4,3	Nuoto competizione	25,0
Ballo dinamico	11,3	Pallacanestro	14,3
Baseball	4,6	Pallamano	13,7
Canottaggio ricreativo	9,1	Pallavolo	8,5
Canottaggio competiz.	25,5	Pattinaggio ricreativo	5,2
Calcio	11,7	Pattinaggio velocità	28,6
Canoa ricreativa	8,5	Pesca	3,9
Canoa competizione	25,5	Sci discesa ricreativo	12,0
Cavalcare al passo	3,3	Sci discesa competiz.	21,5
Cavalcare al trotto	8,5	Sci fondo ricreativo	12,0
Ciclismo ricreativo	5,9	Sci fondo competiz.	21,5
Ciclismo competizione	26,0	Scherma	9,8
Corsa ricreativa	10,4	Sollevamento pesi	127,0
Corsa maratona	20,0	Tennis singolo	11,1
Ginnastica	5,9	Tennis doppio	9,1
Golf	5,2	Tennistavolo	5,2
		Tiro con l'arco	4,6

# IL QUOZIENTE RESPIRATORIO

$$QR = \text{CO}_2 \text{ prodotta} / \text{O}_2 \text{ consumato}$$

E' un parametro utile a valutare la **miscela metabolica** ossidata in condizioni fisiologiche e patologiche.

Infatti, la completa metabolizzazione di grassi, proteine e carboidrati richiede quantità diverse di ossigeno; il tipo di substrato energetico ossidato andrà ad incidere anche sulla quantità di anidride carbonica prodotta

**QR carboidrati = 1**

**QR grassi = 0,7**

**QR proteine = 0,8**

## QR dei carboidrati

glucosio  $6C\ 12H\ 6O + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O$

$$QR = 6\ CO_2 / 6\ O_2 = 1$$

## QR dei lipidi

palmitico  $16C\ 32H\ 6O + 23O_2$

$$QR = 16\ CO_2 / 23\ O_2 = 0.696$$

## QR delle proteine

albumina  $72C\ 112H\ 2N\ 20\ S + 77O_2$

$$QR = 63\ CO_2 / 77\ O_2 = 0.818$$

# QUOZIENTE RESPIRATORIO

In condizioni fisiologiche postassorbitive:

$$QR = 0,82$$



Il QR aumenta in caso di:

iperventilazione  
acidosi metabolica  
ipernutrizione con lipogenesi  
esercizio fisico  
ipertermia

...



Il QR diminuisce in caso di:

ipoventilazione  
privazione di cibo  
diabete con ketoacidosi  
metabolismo dell'etanolo  
ipotermia

...

- Valori di **QR < 0,707**: gluconeogenesi e chetogenesi
- Valori di **QR > 1,000**: lipogenesi

# NPRQ

Non protein respiratory quotient

1 g N= 6,25 g proteine

1 g proteine ox=1 L O<sub>2</sub>



$$VCO_2 = QR \cdot VO_2$$



Protein QR



$$QR - PQR = \text{NPRQ}$$

Equivalenti calorici (kcal/litro di ossigeno) e percentuale di calorie totali fornite da carboidrati e grassi a seconda del diverso *R* non-proteico.

<i>R</i>	kcal/litro di O <sub>2</sub>	Percentuale di calorie totali fornite da	
		Carboidrati	Grassi
0,707	4,688	0,0	100,0
0,71	4,690	1,02	98,98
0,72	4,702	4,44	95,6
0,73	4,714	7,85	92,2
0,74	4,727	11,3	88,7
0,75	4,739	14,7	85,3
0,76	4,751	18,1	81,9
0,77	4,764	21,5	78,5
0,78	4,776	24,9	75,1
0,79	4,788	28,3	71,7
0,80	4,801	31,7	68,3
0,81	4,813	35,2	64,8
0,82	4,825	38,6	61,4
0,83	4,838	42,0	58,0
0,84	4,850	45,4	54,6
0,85	4,862	48,8	51,2
0,86	4,875	52,2	47,8
0,87	4,887	55,6	44,4
0,88	4,899	59,0	41,0
0,89	4,911	62,5	37,5
0,90	4,924	65,9	34,1
0,91	4,936	69,3	30,7
0,92	4,948	72,7	27,3
0,93	4,961	76,1	23,9
0,94	4,973	79,5	20,5
0,95	4,985	82,9	17,1
0,96	4,998	86,3	13,7
0,97	5,010	89,8	10,2
0,98	5,022	93,2	6,83
0,99	5,035	96,6	3,41
1,00	5,047	100,0	0,00

(Da: Lusk G. *Science of Nutrition*, 4<sup>a</sup> ed. Philadelphia: W.B. Saunders Co., 1928, pag. 65).