

# **LA VALUTAZIONE DELLO STATO NUTRIZIONALE**

Giorgio Bedogni

# Obiettivi

- Conoscere i fondamenti della valutazione dello stato nutrizionale
- Conoscere le principali tecniche di valutazione dello stato nutrizionale
- Utilizzare criticamente (alcune di) queste tecniche nella pratica professionale

[www.giorgiobedogni.it/mavsn.html](http://www.giorgiobedogni.it/mavsn.html)

mavsn

[copertina](#) [autori](#) [prefazione](#) [indice](#) [parte 1](#) [parte 2](#) [parte 3](#) [parte 4](#) [figure](#) [appendici](#) [bibliografia](#) [errata](#) [aggiornamenti](#)

**Manuale ANDID di valutazione dello stato nutrizionale (MAVSN)**



ISBN 978-88-89548-79-0

[copertina](#) [autori](#) [prefazione](#) [indice](#) [parte 1](#) [parte 2](#) [parte 3](#) [parte 4](#) [figure](#) [appendici](#) [bibliografia](#) [errata](#) [aggiornamenti](#)

© 2005-2012 Giorgio Bedogni [Contattami](#)

# Programma

- Introduzione alla valutazione dello stato nutrizionale
- Valutazione della composizione corporea
- Valutazione del bilancio energetico
- Valutazione della funzionalità corporea

# Programma

- *Introduzione alla valutazione dello stato nutrizionale*
- Valutazione della composizione corporea
- Valutazione del bilancio energetico
- Valutazione della funzionalità corporea

# **INTRODUZIONE ALLA VALUTAZIONE DELLO STATO NUTRIZIONALE**

# **Introduzione**

- Rilevanza della valutazione dello stato nutrizionale
- La definizione tradizionale di stato nutrizionale
- La definizione operativa di stato nutrizionale

# Rilevanza

- *Rilevanza della valutazione dello stato nutrizionale*
- La definizione tradizionale di stato nutrizionale
- La definizione operativa di stato nutrizionale

# Rilevanza

- L'alimentazione inadeguata e la scarsa attività fisica rappresentano la seconda causa di morte nella popolazione generale americana (anno 2000).
- Esse sono responsabili del 15% della mortalità generale, dopo il fumo di tabacco (18%) e prima del consumo di etanolo (4%).

# Rilevanza

- I casi di morte per alimentazione inadeguata e scarsa attività fisica nella popolazione americana sono inoltre aumentati del 20% tra il 1990 e il 2000 e nessuna delle altre cause di morte ha presentato un incremento così rilevante.

# Rilevanza

- La maggioranza dei decessi per alimentazione inadeguata e scarsa attività fisica è imputabile alla malnutrizione per eccesso.
- Ciononostante, anche la malnutrizione per difetto è presente nella popolazione generale.

# Rilevanza

- La prevalenza di anoressia nervosa tra le adolescenti dei Paesi Occidentali è compresa tra 0.5 e 2.0%.
- Nella popolazione ospedalizzata dei Paesi Occidentali, la malnutrizione per difetto ha una prevalenza del 20 – 30%.

# Rilevanza

- Questi dati epidemiologici dovrebbero essere sufficienti per capire perché la valutazione dello stato nutrizionale ha un ruolo centrale nella valutazione dello stato di salute.

# **La definizione tradizionale**

- Rilevanza della valutazione dello stato nutrizionale
- *La definizione tradizionale di stato nutrizionale*
- La definizione operativa di stato nutrizionale

# **La definizione tradizionale**

- Lo stato nutrizionale è tradizionalmente definito come la condizione risultante dall'introduzione, assorbimento e utilizzazione dei nutrienti.

# La definizione tradizionale



# **La definizione tradizionale**

- La definizione tradizionale di stato nutrizionale è fondata sui tre momenti fondamentali del processo della nutrizione e ha un indubbio valore didattico.
- Questa definizione è inoltre utile nella diagnosi differenziale della malnutrizione per difetto, che può dipendere da una riduzione dell'introito, da una riduzione dell'assorbimento o da un aumento dell'utilizzazione dei nutrienti.

# **La definizione tradizionale**

- La definizione tradizionale non fornisce però alcun criterio sufficientemente pratico per la valutazione dello stato nutrizionale.
- Questo limite può essere superato affiancando alla definizione tradizionale una definizione operativa basata sull'utilizzazione dei nutrienti.

# La definizione operativa

- Rilevanza della valutazione dello stato nutrizionale
- La definizione tradizionale di stato nutrizionale
- *La definizione operativa di stato nutrizionale*

# La definizione operativa

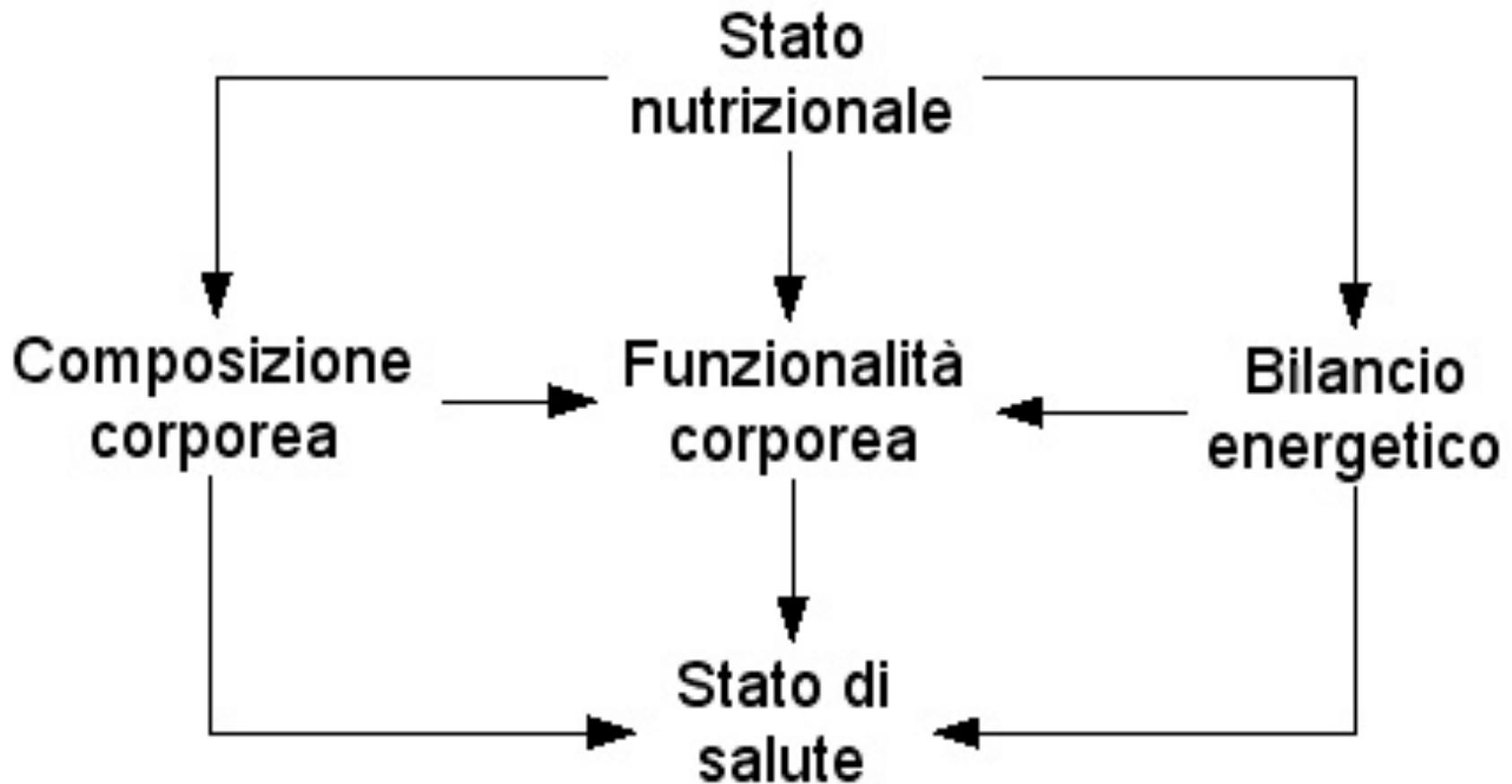
	Composizionale	Energetico	Funzionale
Carboidrati	+	+	+
Lipidi	+	+	+
Proteine	+	+	+
Vitamine	+	-	+
Minerali	+	-	+

Ruoli dei nutrienti

# La definizione operativa

- I ruoli dei nutrienti rappresentano le tre variabili della definizione operativa di stato nutrizionale:
  - composizione corporea
  - bilancio energetico
  - funzionalità corporea

# La definizione operativa



# La definizione operativa

- La funzionalità corporea occupa la posizione centrale della definizione operativa di stato nutrizionale perché è per il suo tramite che lo stato nutrizionale influenza lo stato di salute (e viceversa).
- L'interesse dell'operatore sanitario nei confronti di tutte e tre le componenti della definizione operativa di stato nutrizionale è infatti di tipo funzionale.

# La definizione operativa

- Ad esempio, l'obesità è una condizione caratterizzata da un eccesso di massa grassa (variabile compositiva), prodotta da un bilancio energetico a lungo positivo (variabile energetica), che interessa in ragione dei suoi effetti sullo stato di salute (variabile funzionale).
- Esercizio: come definireste la magrezza patologica utilizzando questa definizione? E quella fisiologica?

# **Valutazione della composizione corporea**

- Introduzione alla valutazione dello stato nutrizionale
- *Valutazione della composizione corporea*
- Valutazione del bilancio energetico
- Valutazione della funzionalità corporea

# **VALUTAZIONE DELLA COMPOSIZIONE CORPOREA**

# Introduzione

- La valutazione della composizione corporea è intesa tradizionalmente come la misurazione di uno o più compartimenti corporei.
- Tale misurazione è realizzabile in maniera adeguata soltanto all'interno dei laboratori di ricerca.

# Introduzione

- La stima della composizione corporea, ottenuta attraverso l'impiego di tecniche indirette calibrate contro misure dirette dei compartimenti corporei, può essere accurata a livello di popolazione ma non è sufficientemente accurata per l'impiego nel singolo individuo.
- Per tali ragioni, il criterio guida per la scelta di una tecnica di valutazione della composizione corporea è la sua rilevanza funzionale.

# Introduzione

- Considereremo pertanto la valutazione della composizione corporea in tre sezioni:
  - misurazione
  - stima
  - valutazione funzionale

# Introduzione

- Esamineremo inoltre in dettaglio le due tecniche più utilizzate per la valutazione della composizione corporea:
  - antropometria
  - analisi dell'impedenza bioelettrica

# **Misurazione della composizione corporea**

# I 5 livelli

- La composizione del corpo umano può essere misurata a cinque livelli:
  - atomico
  - molecolare
  - cellulare
  - tessutale
  - corporeo

# I 5 livelli

---

Livello	Modello
Atomico	Peso corporeo = ossigeno + carbonio + idrogeno + azoto + calcio + fosforo + zolfo + potassio + cloro + magnesio
Molecolare	Peso corporeo = acqua totale corporea + massa proteica + massa minerale + massa grassa
Cellulare	Peso corporeo = cellule adipose + massa cellulare corporea + fluidi extracellulari + solidi extracellulari
Tessutale	Peso corporeo = tessuto muscolare + tessuto connettivo + tessuto epiteliale + tessuto nervoso
Corporeo	Peso corporeo = peso testa + peso collo + peso tronco + peso arti superiori + peso arti inferiori

---

I cinque livelli della composizione corporea.

# I 5 livelli

- *Atomico*
- Molecolare
- Cellulare
- Tessutale
- Corporeo

# **Modello atomico**

- Il modello atomico ha un interesse principalmente didattico perché il suo uso è limitato a pochi centri di eccellenza in tutto il mondo.

# Modello atomico

	Quantità (kg)	Percentuale peso corporeo (%)
Ossigeno	43	61
Carbonio	16	23
Idrogeno	7	10
Azoto	1.8	2.6
Calcio	1.0	1.4
Fosforo	0.58	0.83
Zolfo	0.14	0.20
Potassio	0.14	0.20
Sodio	0.1	0.14
Cloro	0.0095	0.14
Magnesio	0.0019	0.0027
Totale	69.874	99.537

# I 5 livelli

- Atomico
- *Molecolare*
- Cellulare
- Tessutale
- Corporeo

# Modello molecolare

- Il modello molecolare ha un grande interesse didattico ed è il più utilizzato nella ricerca.
- Per questa ragione, considereremo in dettaglio i suoi compartimenti.
- (A rigore, il modello comprenderebbe anche il glicogeno, che non viene misurato per la quantità trascurabile [400 g] e per la labilità intrinseca).

# Modello molecolare

	Quantità (kg)	Percentuale peso corporeo (%)
Acqua totale	42	60
Acqua extracellulare	18	26
Acqua intracellulare	24	34
Proteine	10.6	15
Minerali	3.7	5.3
Lipidi	13.5	19.1
Lipidi non essenziali	12	17
Lipidi essenziali	1.5	2.1
Totale	69.8	99.4

# Acqua totale corporea

- TBW = total body water
- Viene misurata utilizzando principalmente la diluizione dell'acqua marcata con deuterio ( $^2\text{H}$ , isotopo stabile) o trizio ( $^3\text{H}$ , isotopo  $\beta$ -emittente).

# **Acqua totale corporea**

- Un volume corporeo può essere calcolato dalla concentrazione all'equilibrio di un indicatore che si distribuisca unicamente in tale volume e non sia metabolizzato o eliminato prima di raggiungere l'equilibrio.

# Acqua totale corporea

- Concentrazione (C) = Quantità (Q) / Volume (V)
- $V_f = Q_f / C_f$  (f = finale)
- $Q_f = Q_i$  (i = iniziale)
- $V_f = C_i \times V_i / C_f$

# Acqua extracellulare

- ECW = extracellular water
- Viene misurata utilizzando principalmente la diluizione del bromuro.
- Comprende l'acqua interstiziale, plasmatica, linfatica e transcellulare.

# Acqua extracellulare

- L'acqua transcellulare è la somma dei compartimenti idrici in collegamento con il plasma e lo spazio interstiziale.
- In condizioni fisiologiche, i liquidi cerebrospinale, intraoculare, sinoviale e intestinale sono i principali costituenti dell'acqua transcellulare.
- In condizioni patologiche, anche i liquidi pericardico, pleurico e peritoneale possono contribuire al volume dell'acqua transcellulare.

# Acqua intracellulare

- ICW = intracellular water
- In condizioni fisiologiche, l'acqua intracellulare è un indicatore della massa metabolicamente attiva dell'organismo.
- L'acqua è infatti il costituente principale della cellula e le modificazioni del volume idrico intervengono nella regolazione del metabolismo cellulare.

# Massa proteica

- PM = protein mass
- È calcolata dall'azoto totale corporeo (TBN, total body nitrogen) misurato con l'attivazione neutronica in vivo (IVNAA, in vivo neutron activation analysis).
- La massa proteica è calcolata dall'azoto totale corporeo utilizzando l'equazione:

$$PM (g) = TBN (g) \times 6.25$$

# Massa minerale

- MM = mineral mass
- Comprende una parte ossea (90%) e una parte extra-ossea (10%).
- Viene tipicamente misurata con l'assorbiometria a doppio raggio X (DXA, dual-energy X-ray absorptiometry).
- La DXA è in grado di distinguere i tessuti ossei da quelli non-ossei in base al differente assorbimento di due fasci di raggi X di differente energia.

# Massa minerale

- I minerali che compongono la massa minerale ossea ed extraossea possono essere misurati con l'attivazione neutronica in vivo.

# Massa grassa

- FM = fat mass
- È ottenuta come differenza tra il peso corporeo (BW, body weight) e la somma di acqua, proteine e minerali:

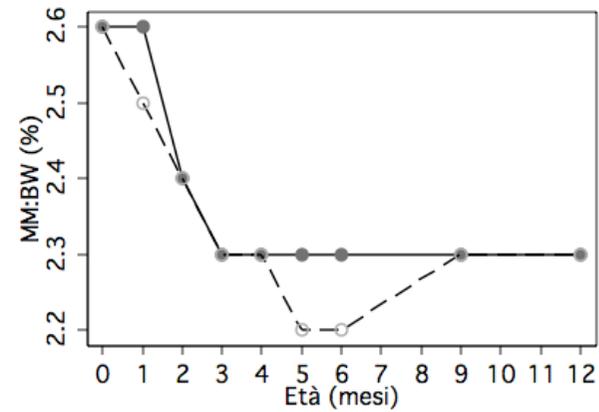
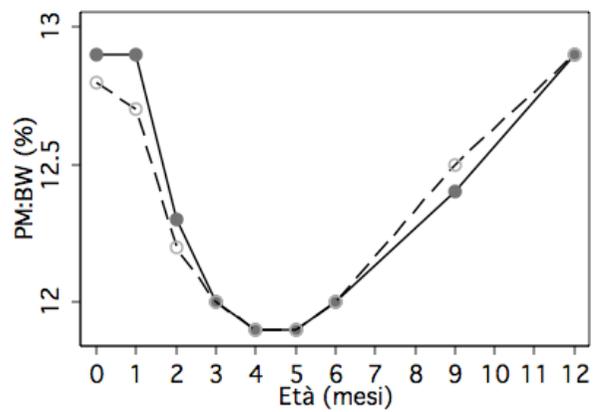
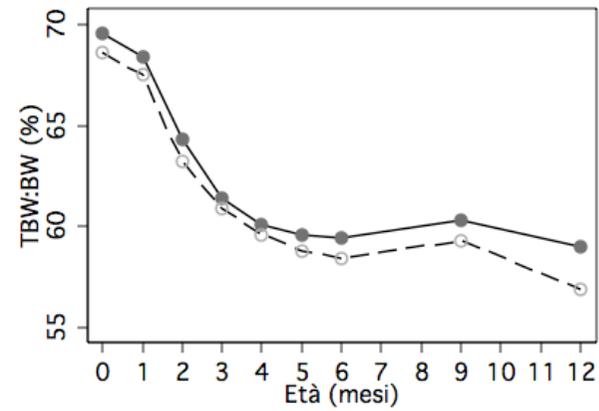
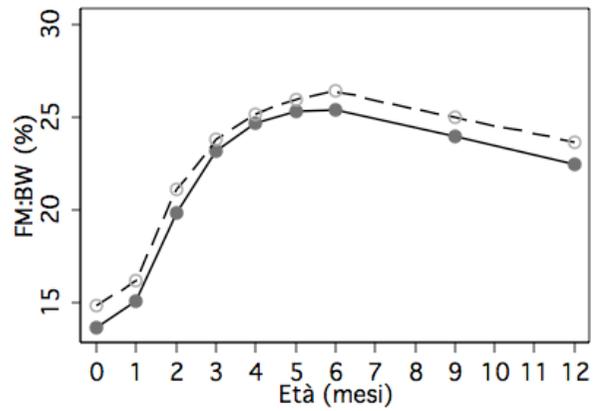
$$FM = BW - (TBW + PM + MM).$$

- (Può essere anche ottenuta dal carbonio totale corporeo misurato con l'attivazione neutronica in vivo.)

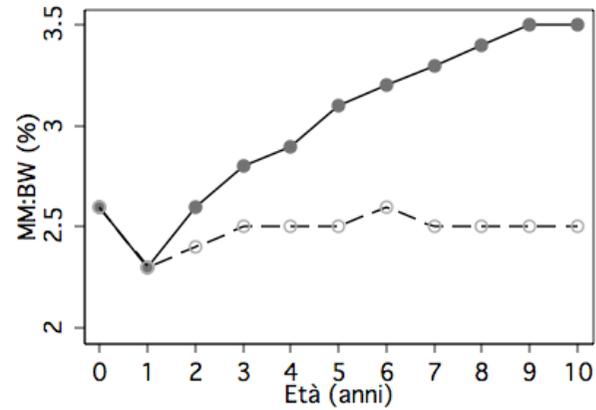
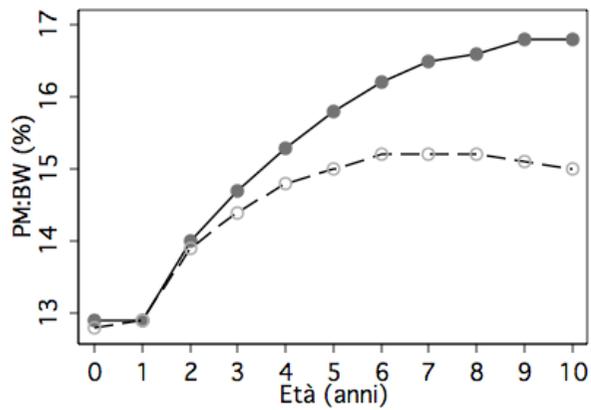
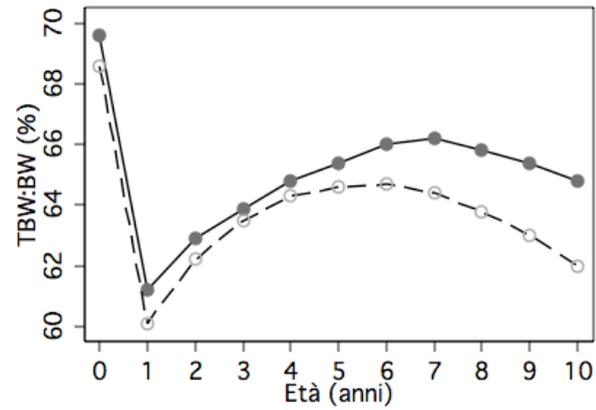
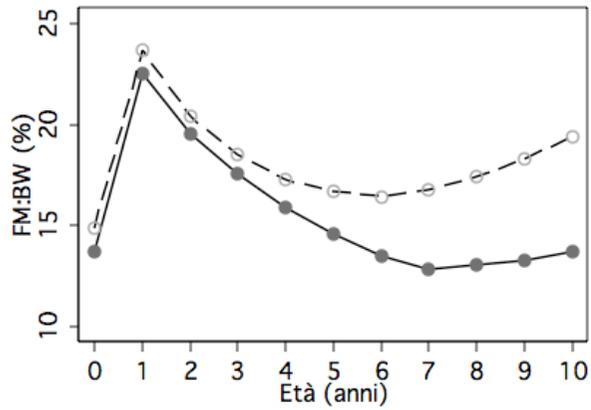
# **Il modello molecolare**

- Applichiamo ora il modello molecolare allo studio della composizione corporea in corso di accrescimento, invecchiamento e malattia.

# Il primo anno di vita



# I primi dieci anni di vita



# L'uomo di riferimento

	Quantità (kg)	Percentuale peso corporeo (%)
Acqua totale	42	60
Acqua extracellulare	18	26
Acqua intracellulare	24	34
Proteine	10.6	15
Minerali	3.7	5.3
Lipidi	13.5	19.1
Lipidi non essenziali	12	17
Lipidi essenziali	1.5	2.1
Totale	69.8	99.4

# Invecchiamento

- (Non si hanno a disposizione dati a sufficienza per definire una donna di riferimento al livello molecolare.)
- L'invecchiamento è caratterizzato da una riduzione assoluta dell'acqua totale corporea, della massa proteica e della massa minerale.

# Malattia

- Le modificazioni dell'idratazione corporea extracellulare (acqua extracellulare standardizzata sul peso corporeo) sono spesso clinicamente evidenti.
- La presenza di edema denuncia infatti un aumento dell'idratazione corporea extracellulare e l'emoconcentrazione (aumento della parte corpuscolata del sangue relativamente alla parte acquosa) può indicare una riduzione dell'idratazione corporea extracellulare.

# Malattia

- Un bilancio energetico negativo produce la contrazione della massa grassa.
- Se tale negativizzazione persiste, anche la massa proteica si riduce, con importanti ripercussioni funzionali.
- La contrazione della massa minerale è caratteristica dell'osteoporosi ma è comune anche a molte malattie croniche che non coinvolgono direttamente l'osso.

# Malattia

- La magrezza e l'obesità, caratterizzate rispettivamente da un difetto e da un eccesso di massa grassa, producono un'alterazione di tutti i compartimenti del modello molecolare.
- Un bilancio energetico a lungo negativo produce infatti una contrazione della massa proteica, un incremento dell'acqua extracellulare e una riduzione della massa minerale.

# Malattia

- Al contrario, un bilancio energetico a lungo positivo produce l'espansione assoluta di tutti i compartimenti del modello molecolare.
- L'obesità genetica è caratterizzata per lo più da un'espansione isolata della massa grassa.

# I 5 livelli

- Atomico
- Molecolare
- *Cellulare*
- Tessutale
- Corporeo

# Modello cellulare

- Il modello cellulare considera il peso corporeo come la somma del peso delle cellule adipose, della massa cellulare corporea (BCM, body cell mass), dei fluidi extracellulari e dei solidi extracellulari.

# Modello cellulare

- La massa cellulare corporea è la componente metabolicamente attiva dell'organismo in relazione alle strutture di supporto.
- Essa non è misurabile direttamente ma è stimata dal potassio totale corporeo (TBK, total body potassium) assumendo la costanza del rapporto potassio / azoto.

# Modello cellulare

- La massa cellulare corporea viene infatti calcolata dall'equazione:

$$\text{BCM (kg)} = \text{TBK (mmol)} \times (25/3),$$

che assume un rapporto potassio / azoto pari a 3 mmol / g di tessuto e un contenuto di azoto pari al 4% del peso dei tessuti non grassi.

# Modello cellulare

- La metodica utilizzata per valutare il potassio totale corporeo è la misurazione del potassio 40 ( $^{40}\text{K}$ ), un isotopo  $\gamma$ -emittente presente nel corpo umano e in rapporto costante con il potassio corporeo.
- Anche i fluidi e i solidi extracellulari non sono misurabili direttamente e vengono stimati in base all'assunzione di rapporti fissi tra i compartimenti del modello.

# Modello cellulare

- Poiché la massa cellulare corporea, i fluidi extracellulari e i solidi extracellulari non possono essere misurati direttamente, l'interesse applicativo della formulazione tradizionale del modello cellulare è piuttosto limitato.
- *L'attrazione esercitata dal concetto di massa cellulare corporea fa peraltro sì che questo modello sia spesso utilizzato in maniera inappropriata.*

# I 5 livelli

- Atomico
- Molecolare
- Cellulare
- *Tessutale*
- Corporeo

# Modello tessutale

- Il modello tessutale considera il peso corporeo come la somma del peso dei tessuti e degli organi corporei.
- I tre compartimenti di maggiore interesse del livello tessutale sono il tessuto muscolare, il tessuto adiposo e il tessuto osseo, che rappresentano il 69% del peso corporeo dell'uomo di riferimento.

# Modello tessutale

- Il modello tessutale è utile da un punto di vista didattico ma richiede l'esame autoptico e non è pertanto utilizzabile nel vivente.
- Le tecniche per immagine (tomografia assiale computerizzata e risonanza magnetica per immagini) consentono una valutazione surrogata di alcuni compartimenti del modello tessutale, come il tessuto adiposo e il tessuto muscolare.

# I 5 livelli

- Atomico
- Molecolare
- Cellulare
- Tessutale
- *Corporeo*

# Modello corporeo

- Il modello corporeo considera il peso corporeo come la somma del peso di testa, collo, tronco, arti superiori e arti inferiori.
- Il suo interesse è correlato principalmente alla possibilità di valutare queste regioni corporee attraverso la tomografia assiale computerizzata, la risonanza magnetica per immagini e l'assorbiometria a doppio raggio X.

## Modelli bicompartimentali (2C)

- I modelli bicompartimentali considerano il peso corporeo (BW, body weight) come la somma di massa grassa (FM, fat mass) e massa magra (FFM, fat-free mass):

$$BW = FM + FFM,$$

dove la massa magra rappresenta la somma di acqua (TBW), proteine (PM) e minerali (MM):

$$FFM = TBW + PM + MM.$$

## **Modelli bicompartimentali (2C)**

- *La massa magra è dunque un compartimento assai eterogeneo dal punto di vista composizionale e, ciò che più conta, funzionale.*

## **Modelli bicompartimentali (2C)**

- I modelli bicompartimentali assumono la costanza di una proprietà fisica o chimica della massa grassa e/o della massa magra in relazione a una caratteristica misurabile.
- Ciò consente una valutazione della composizione corporea senza ricorrere al modello molecolare.

## **Modelli bicompartimentali (2C)**

- Le tecniche utilizzate per la valutazione bicompartimentale della composizione corporea sono:
  - densitometria corporea
  - diluizione dell'acqua corporea
  - misurazione del potassio 40

# Densitometria corporea

- La densitometria corporea consente la valutazione della composizione corporea a partire dalla densità corporea (BD, body density), ovvero dal rapporto tra la massa (BM, body mass) e il volume corporeo (BV, body volume):

$$BD = BM / BV$$

## Densitometria corporea

- Indicando con  $D_{FM}$  e  $D_{FFM}$  le densità della massa grassa e della massa magra, è possibile calcolare la massa grassa e la massa magra dal sistema di equazioni:

$$\begin{cases} BW = FM + FFM \\ BV = \frac{FM}{D_{FM}} + \frac{FFM}{D_{FFM}} \end{cases}$$

# Densitometria corporea

- Anche se peso e massa sono grandezze fisiche differenti, ciò non è particolarmente rilevante ai fini della valutazione densitometrica della composizione corporea.

# Densitometria corporea

- Nell'uomo di riferimento, la densità della massa grassa è  $0.9007 \text{ g / cm}^3$  e quella della massa magra  $1.100 \text{ g / cm}^3$  sicché:

$$\begin{cases} BW = FM + FFM \\ BV = \frac{FM}{0.9007} + \frac{FFM}{1.100} \end{cases}$$

# Densitometria corporea

---

	Densità a 37° C (g / cm <sup>3</sup> )
Acqua	0.99
Proteine	1.34
Minerali	3.04

---

Densità delle componenti della massa magra.

# Densitometria corporea

- Risolvendo il sistema di equazioni si ottiene:

$$\frac{FM(kg)}{BW(kg)} = \frac{4.971 \times BV(L)}{BD - 4.519}$$

# Densitometria corporea

- Anche se i coefficienti dell'equazione possono variare a seconda delle assunzioni relative alla composizione corporea, questa è la procedura generale con cui si ottiene una valutazione della composizione corporea da una misura di densità corporea.

# Densitometria corporea

- Ad esempio la cosiddetta “equazione 2C di Siri” assume la forma:

$$\frac{FM(kg)}{BW(kg)} = \frac{4.95}{BD - 4.50}$$

# Densitometria corporea

- Il peso corporeo fornisce un'approssimazione della massa corporea ma occorre misurare il volume corporeo.

# Densitometria corporea

- Le tecniche utilizzate per la misurazione del volume corporeo sono:
  - pesata idrostatica
  - pletismografia ad aria

# Pesata idrostatica

- La pesata idrostatica applica il principio di Archimede.
- Il volume di un corpo immerso in un liquido è pari al peso del liquido spostato.



# Pesata idrostatica

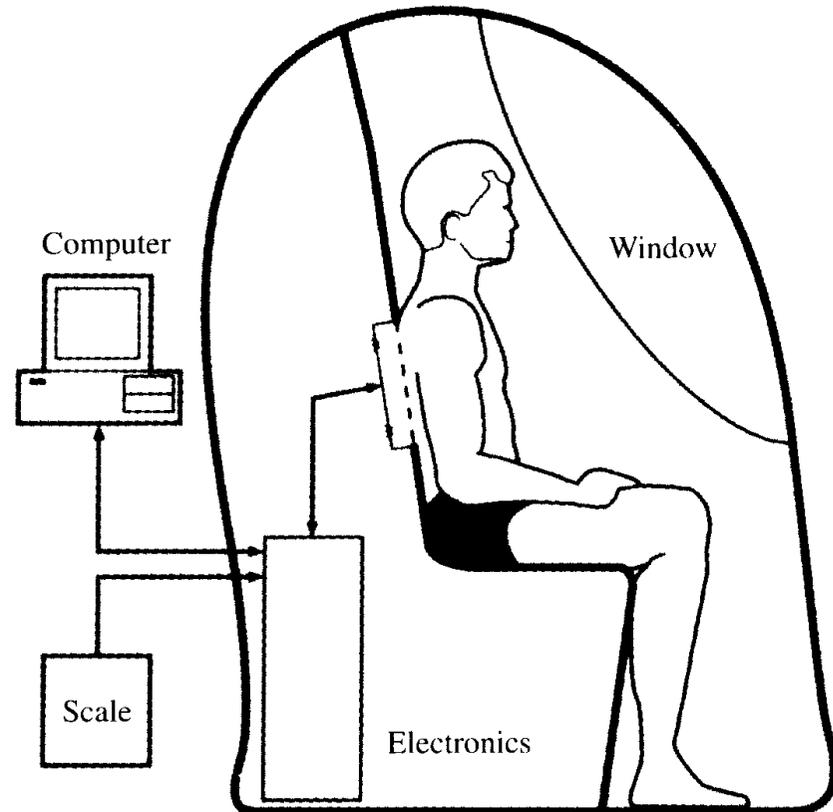
- La persona da misurare si immerge completamente in acqua e la sua densità corporea è calcolata dall'equazione:

$$BD = \frac{BW_a}{\frac{BW_a - BW_w}{D_w} - (RV + 100)}$$

dove  $BW_a$  rappresenta il peso in aria,  $BW_w$  il peso in acqua,  $D_w$  la densità dell'acqua,  $RV$  il volume residuo e il volume dei gas intestinali è assunto uguale a 100 mL.

# Pletismografia ad aria

- La pletismografia ad aria (BOD-POD) è una tecnica più recente della pesata idrostatica che consente di calcolare il volume corporeo dallo spostamento dell'aria prodotto all'interno di una camera chiusa (legge di Boyle).
- Essendo non invasiva, la pletismografia ad aria è particolarmente utile nei bambini e negli anziani.



# Idrometria

- La massa magra può essere calcolata dall'acqua totale corporea dietro assunzione di un'idratazione costante della massa magra.
- Nell'uomo di riferimento l'idratazione della massa magra è 0.73, cosicché la massa magra può essere ottenuta dalla relazione:

$$\text{FFM (kg)} = \text{TBW (kg)} \times 1.73$$

## Misurazione del potassio 40

- La massa magra può essere calcolata dal potassio totale corporeo dietro assunzione di un contenuto costante di potassio della massa magra.
- Nell'uomo di riferimento, il contenuto di potassio della massa magra è 0.000266 g / kg (68.1 mmol / kg), cosicché la massa magra può essere ottenuta dalla relazione:

$$\text{FFM (kg)} = \text{TBK (kg)} \times 376$$

# **Modelli densitometrici a tre e quattro compartimenti (3C e 4C)**

- La densità, il contenuto di acqua e il contenuto di potassio della massa magra si modificano in corso di accrescimento, invecchiamento e malattia.
- *I modelli 2C non possono essere pertanto utilizzati per la valutazione della composizione corporea in tali circostanze.*

## **Modelli densitometrici 3C e 4C**

- È possibile rimediare parzialmente a questo problema nell'infanzia e nell'adolescenza utilizzando valori più idonei di densità, acqua e potassio.
- Una soluzione decisamente migliore è misurare l'acqua totale corporea e/o la massa minerale insieme alla densità corporea.
- In questo modo, si ottengono modelli densitometrici 3C o 4C che sono più accurati dei modelli bicompartimentali per lo studio dell'accrescimento, dell'invecchiamento e della malattia.

## Modelli densitometrici 3C e 4C

- Per ottenere i modelli densitometrici 3C e 4C, è necessario riscrivere il sistema di equazioni 2C al livello molecolare:

$$\begin{cases} BW = FM + TBW + PM + MM \\ BV = \frac{FM}{D_{FM}} + \frac{TBW}{D_{TBW}} + \frac{PM}{D_{PM}} + \frac{MM}{D_{MM}} \end{cases}$$

dove  $D_{FM}$ ,  $D_{TBW}$ ,  $D_{PM}$  e  $D_{MM}$  rappresentano la densità della massa grassa, dell'acqua, della massa proteica e della massa minerale.

## **Modelli densitometrici 3C e 4C**

- Correggendo la densità della massa magra per una o più delle componenti della massa magra stessa, è dunque possibile ottenere una valutazione migliore della composizione corporea rispetto ai modelli 2C.
- La scelta si riduce alla misurazione dell'acqua totale corporea e/o della massa minerale perché la massa proteica può essere misurata soltanto in pochi centri di eccellenza.

## **Modelli densitometrici 3C e 4C**

- (Naturalmente, se avessimo a disposizione la massa proteica insieme all'acqua totale corporea e alla massa ossea, saremmo già in possesso di un modello molecolare.)

# Modelli densitometrici 3C e 4C

Modello	Equazione
Siri 3C	$\frac{FM}{BW} = \frac{2.118}{BD} - 0.78 \times \frac{TBW}{BW} - 1.354$
Lohman 3C	$\frac{FM}{BW} = \frac{6.386}{BD} + 3.961 \times \frac{MM}{BW} - 6.090$
Selinger 4C	$\frac{FM}{BW} = \frac{2.747}{BD} - 0.714 \times \frac{TBW}{BW} + 1.146 * \frac{MM_o}{BW} - 2.0503$

Principali modelli densitometrici 3C 4C.

Legenda: BW = peso corporeo; BD = densità corporea; FM = massa grassa; MM = massa minerale; MM<sub>o</sub> = massa minerale ossea; TBW = acqua totale corporea.

# Assorbiometria a doppio raggio X

- L'assorbiometria a doppio raggio X può essere utilizzata per misurare la massa magra e la massa grassa attraverso il modello tricompartimentale:

$$BM = LTM + BMC + FM$$

dove BM (body mass) rappresenta la massa corporea (sinonimo di peso corporeo), LTM (lean tissue mass) la massa magra non ossea, BMC (bone mineral content) la massa ossea e FM (fat mass) la massa grassa.

# Assorbiometria a doppio raggio X

- La separazione tra massa magra non ossea e massa grassa, resa possibile dall'impiego di algoritmi radiologici, è sperimentale e meno accurata di quella tra massa ossea e non ossea.



# **Assorbiometria a doppio raggio X**

- Nonostante l'assorbiometria a doppio raggio X non sia una tecnica di riferimento per la valutazione della massa grassa e della massa magra, essa presenta un notevole potenziale per lo studio epidemiologico e clinico della composizione corporea.
- La produzione di valori di riferimento nelle varie età della vita è un obiettivo centrale della ricerca contemporanea su questa metodica.

# **Assorbiometria a doppio raggio X**

- Una peculiarità dell'assorbiometria a doppio raggio X è che essa consente una valutazione della massa muscolare degli arti.
- La massa magra non ossea delle braccia e delle gambe è costituita infatti principalmente da tessuto muscolare.

# **Assorbiometria a doppio raggio X**

- Il limite principale dell'assorbiometria a doppio raggio X è il fatto che le misure ottenute da strumenti di differenti produttori non sono confrontabili in ragione dell'impiego di algoritmi proprietari.

# **Stima della composizione corporea**

# Stima della composizione corporea

- La stima di un compartimento corporeo richiede l'impiego di un'equazione predittiva.
- Tale equazione esprime la relazione empirica tra una grandezza  $Y$  e una variabile  $X$  ad essa correlata.

# Equazioni predittive

- L'equazione è spesso lineare e di primo grado

$$Y = a_0 + a_1 \times X_1$$

dove  $a_0$  è l'intercetta e  $a_1$  il coefficiente angolare.

- Nel caso sia presente più di un predittore, l'equazione assume la forma:

$$Y = a_0 + a_1 \times X_1 + a_2 \times X_2 \dots + a_n \times X_n$$

# Equazioni predittive

- Le tecniche di valutazione della composizione corporea che fanno uso di equazioni predittive sono dette “indirette”.
- L’equazione predittiva è il risultato della calibrazione della metodica indiretta contro una metodica “diretta”.
- Tale calibrazione richiede una metodica diretta idonea per la misurazione del compartimento di interesse.

# Equazioni predittive

- *L'abuso delle equazioni predittive è molto frequente sia nella pratica clinica sia nella ricerca.*
- Pertanto, è necessario valutare criticamente un'equazione predittiva utilizzando (almeno) 7 criteri che riassumeremo attraverso un case study.

# Case study



European Journal of Clinical Nutrition (2005) 59, 932–937  
© 2005 Nature Publishing Group All rights reserved 0954-3007/05 \$30.00  
www.nature.com/ejcn

## ORIGINAL COMMUNICATION

### **Accuracy of eight-polar bioelectrical impedance analysis for the assessment of total and appendicular body composition in peritoneal dialysis patients**

G Medici<sup>1</sup>, C Mussi<sup>2</sup>, AL Fantuzzi<sup>3</sup>, M Malavolti<sup>4</sup>, A Albertazzi<sup>1</sup> and G Bedogni<sup>4,5\*</sup>

<sup>1</sup>*Cattedra di Nefrologia, Università di Modena e Reggio Emilia, Italy;* <sup>2</sup>*Cattedra di Geriatria, Università di Modena e Reggio Emilia, Italy;* <sup>3</sup>*Modulo di Scienza dell' Alimentazione e Dietetica, Azienda USL, Modena, Italy;* <sup>4</sup>*Cattedra di Nutrizione Umana, Università di Modena e Reggio Emilia, Italy;* and <sup>5</sup>*Centro Studi Fegato, AREA Science Park, Basovizza, Trieste, Italy*

# Criterio 1

Qual è la grandezza (Y) stimata dall'equazione predittiva?

Y è la massa magra di soggetti nefropatici in dialisi peritoneale. L'equazione è la seguente:

$$FFM(kg) = 9.742 + 1.291 \times RI_{500} (\Omega / cm^2)$$

dove FFM è la massa magra, 9.742 l'intercetta, 1.291 il coefficiente angolare e  $RI_{500}$  l'indice di impedenza corporea ottopolare a 500 kHz.

Commento: si tratta di un'equazione di primo grado.

## **Criterio 2**

La grandezza (Y) stimata dall'equazione predittiva è stata misurata con una metodica appropriata?

La massa magra è stata misurata con l'assorbiometria a doppio raggio X. Tale metodica è attendibile in assenza di alterazioni rilevanti dell'idratazione corporea. Nessuno dei soggetti studiati presentava caratteristiche tali da invalidare questa assunzione.

Commento: la metodica è appropriata per il fine dello studio.

## **Criterio 3**

Qual è il predittore ( $X_1$ ) o quali sono i predittori ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ )?

L'unico predittore è l'indice di impedenza corporea ottopolare a 500 kHz.

Commento: per dettagli sulla scelta del predittore si rimanda all'articolo.

## Criterio 4

Se l'equazione è basata su più predittori, qual è il contributo di ciascun predittore ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) alla stima della grandezza ( $Y$ )?

L'equazione è basata su un solo predittore.

*Commento: se l'equazione avesse avuto più di un predittore, ci saremmo dovuti chiedere qual era il contributo di ciascun predittore alla stima. Molte equazioni predittive utilizzano variabili che non contribuiscono alla stima in maniera rilevante, rendendo inutile la loro misurazione.*

## **Criterio 5**

Qual è l'accuratezza dell'equazione predittiva a livello di popolazione?

L'errore assoluto a livello di popolazione è 2.3 kg di massa magra e l'errore percentuale a livello di popolazione è il 5% della massa magra.

Commento: questo errore è accettabile a livello di popolazione.

## **Criterio 6**

Qual è l'accuratezza dell'equazione predittiva nel singolo individuo?

L'errore individuale varia da - 4.6 a 4.6 kg di massa magra nel 95% dei casi.

*Commento: L'errore individuale è sempre superiore all'errore di popolazione. Questa è la regola per tutte le equazioni predittive.*

## **Criterio 7**

L'equazione è stata testata in un campione esterno?

No. Gli Autori hanno però dimostrato che le equazioni ottenute su un gruppo di controllo di soggetti sani non sono utilizzabili nei pazienti in dialisi peritoneale.

*Commento: la valutazione dell'accuratezza di un'equazione predittiva su una popolazione esterna è essenziale per stabilire la validità dell'equazione. Le equazioni predittive sono di regola meno accurate nelle popolazioni esterne.*

# **Valutazione funzionale della composizione corporea**

# **Valutazione funzionale della composizione corporea**

- La valutazione dei compartimenti corporei è possibile in maniera adeguata soltanto all'interno dei laboratori di ricerca e la stima della composizione corporea presenta molti limiti nel singolo individuo.

# **Valutazione funzionale della composizione corporea**

- Poiché il nostro interesse per la composizione corporea è di tipo funzionale, la soluzione più ragionevole per la pratica clinica e la ricerca epidemiologica è rinunciare alla quantificazione diretta o indiretta dei compartimenti corporei e utilizzare indicatori composizionali di dimostrata rilevanza funzionale.

# **Valutazione funzionale della composizione corporea**

- La valutazione antropometrica dello stato nutrizionale rappresenta la miglior applicazione pratica di questo concetto.

# **Valutazione antropometrica dello stato nutrizionale**

# **Antropometria**

- L'antropometria è la tecnica di riferimento per la valutazione della composizione corporea nella pratica clinica e nella ricerca epidemiologica.

# Antropometria

- Essa possiede infatti le sei caratteristiche ideali di una tecnica di valutazione della composizione corporea:
  - assenza d'invasività
  - semplicità d'esecuzione
  - portabilità
  - basso costo
  - disponibilità di valori di riferimento
  - rilevanza funzionale

# Antropometria

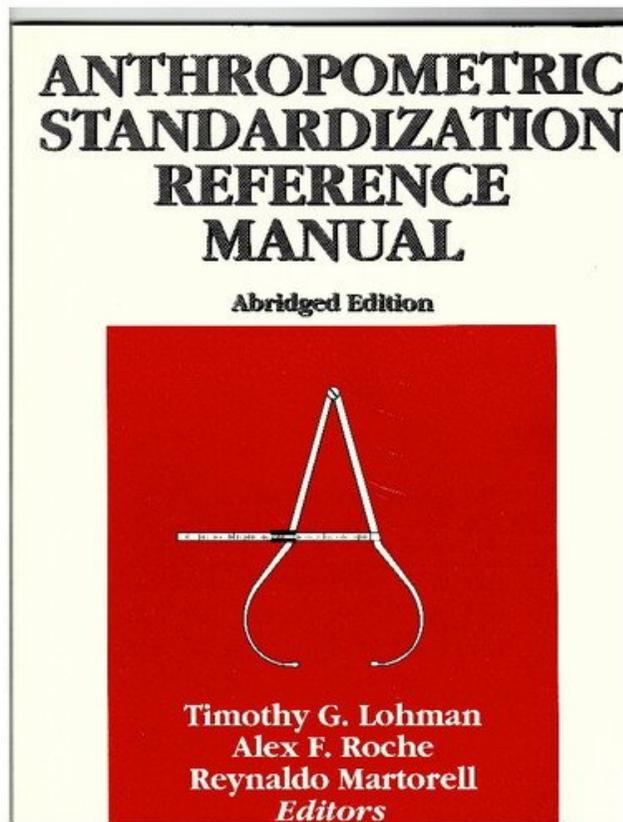
- Ai fini didattici, è utile distinguere quattro fasi:
  - 1) misurazione di peso e statura e calcolo dell'indice di massa corporea
  - 2) misurazione di circonferenze e pliche e calcolo degli indici di adiposità e muscolarità
  - 3) misurazione dei diametri e valutazione della taglia corporea
  - 4) misurazione delle lunghezze segmentali e valutazione dell'accrescimento

# Antropometria

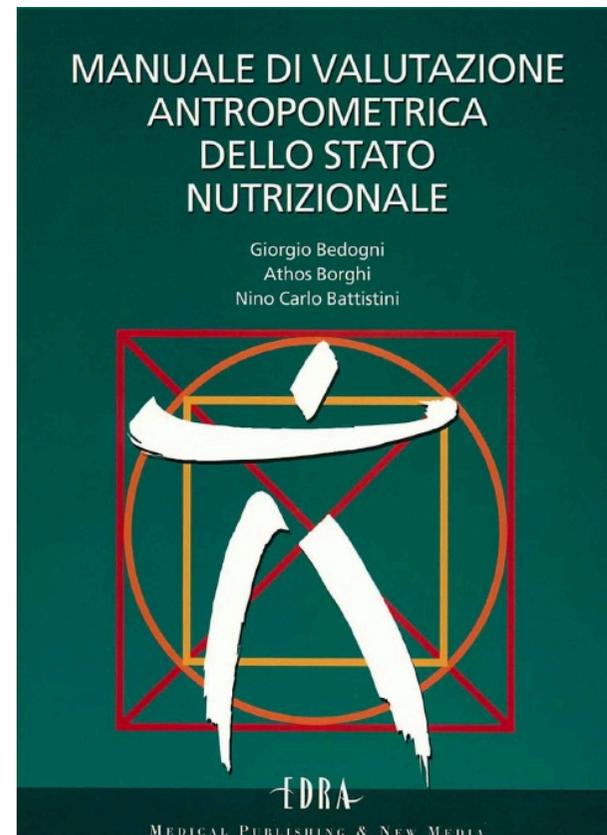
- Consideriamo in dettaglio ciascuna delle prime due fasi illustrandone il razionale e le tecniche di misurazione così come sono state concordate alla Airlie Consensus Conference (1992).

# Bibliografia

1992



2001



**<http://www.giorgiobedogni.it/faq/pfaq.html>**

## **Come posso ottenere i libri sull'impedenza bioelettrica e l'antropometria non più in stampa?**

I testi IMPEDENZA BIOELETTRICA E COMPOSIZIONE CORPOREA (I ed. 1998 e II ed. 2001) e MANUALE DI VALUTAZIONE ANTROPOMETRICA DELLO STATO NUTRIZIONALE (2001) sono esauriti. Se vuoi, puoi scaricare il loro PDF a questa [pagina](#). Ricordati di aggiornarli con quanto è contenuto nel [Manuale ANDID di valutazione dello stato nutrizionale \(2009\)](#)! In fondo sono passati 10 anni...

# Peso

- Il peso è un indicatore grossolano della composizione corporea.
- Esso è infatti la somma di quattro compartimenti corporei dal differente significato funzionale

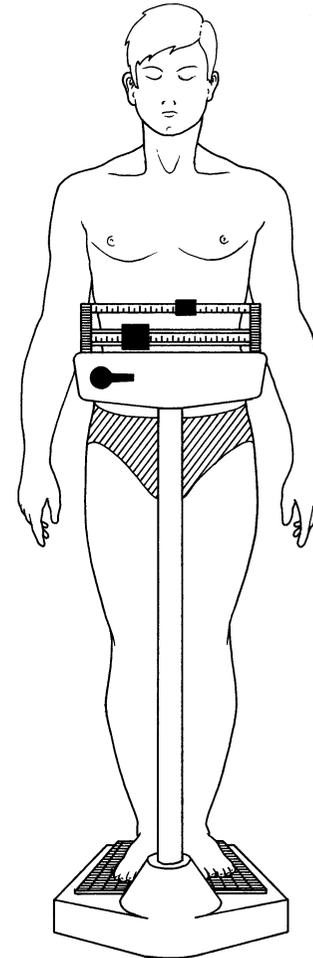
$$BW = TBW + PM + MM + FM$$

# Peso

- Una modificazione a breve termine del peso ( $\leq 24$  ore) è sempre dovuta a una modificazione dell'acqua corporea.
- *L'interpretazione delle modificazioni a medio e lungo termine del peso deve invece tenere conto della sua eterogeneità come indicatore composizionale.*

# Peso

- Il peso è misurato con una bilancia a bascula o elettronica.
- La persona deve indossare soltanto la biancheria intima ed essere a digiuno.
- La precisione strumentale consigliata è 100 g.

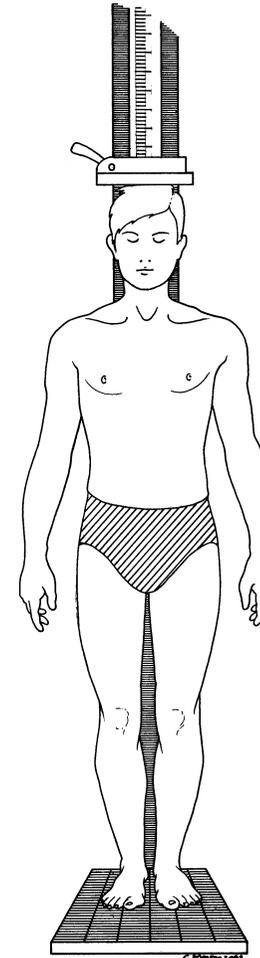


# Statura

- La statura (altezza) è la principale dimensione corporea oltre al peso.
- Essa è misurata utilizzando lo stadiometro, costituito da un'asta verticale incorporante un metro e da una barra orizzontale da portare a contatto con il punto più alto del capo.

# Statura

- La persona da misurare è in posizione eretta, senza scarpe e indossa soltanto la biancheria intima.
- I piedi formano un angolo di  $60^\circ$  e il peso è distribuito uniformemente su di essi. La linea ideale tracciata tra il margine posteriore dell'orbita sinistra e il trago omolaterale (piano di Francoforte) è parallela alla barra orizzontale dello stadiometro.
- Le scapole e le natiche sono in contatto con l'asta verticale dello stadiometro. Le braccia pendono ai lati del corpo e il palmo delle mani è rivolto verso le cosce.
- La misurazione è effettuata al termine di una normale espirazione.
- La precisione strumentale consigliata è 1 mm.



# Indice di massa corporea

- L'indice di massa corporea (BMI, body mass index o indice di Quételet) è calcolato dalla formula:

$$BMI(kg / m^2) = \frac{Peso(kg)}{Statura(m)^2}$$

# **Indice di massa corporea**

- L'indice di massa corporea è utilizzato principalmente come indicatore della morbidità e della mortalità associate all'eccesso ponderale.

# Indice di massa corporea

Stato ponderale	BMI (kg / m <sup>2</sup> )	Rischio
Sottopeso	< 18.5	Basso*
Normale	18.5 - 24.9	Medio**
Sovrappeso	25.0 - 29.9	Aumentato
Obesità di grado I	30.0 - 34.9	Moderato
Obesità di grado II	35.0 - 39.9	Severo
Obesità di grado III	≥ 40	Molto severo

\* Il rischio è calcolato per l'eccesso ponderale

\*\* Valore di riferimento per la valutazione del rischio

Valutazione del rischio cardio-metabolico associato al BMI negli adulti (18-65 anni) di entrambi i sessi e di etnia caucasica (classificazione National Institute of Health, NIH).

# Circonferenze

- Le circonferenze sono misure delle dimensioni trasversali dei segmenti corporei.

# Circonferenze

- Esse sono utilizzate:
  - come indicatori del rischio di malattia
  - come indicatori della distribuzione del tessuto adiposo sottocutaneo
  - per il calcolo delle aree muscolo-adipose degli arti
  - per la stima della massa grassa totale e viscerale

# Circonferenze

- Le circonferenze vengono misurate con un metro flessibile e anelastico.
- Il sistema di misurazione impresso sul metro dovrebbe avere uno spessore di almeno 0.7 cm.

# Circonferenze

- Il sito di misurazione è identificato e contrassegnato con una matita dermografica.
- La mano sinistra regge l'estremità zero del metro e la mano destra sposta il metro fino ad ottenere la misura (operatore destrimane).
- Il metro non deve comprimere i tessuti molli.
- La misura viene approssimata a 1 mm.

# Circonferenza del braccio

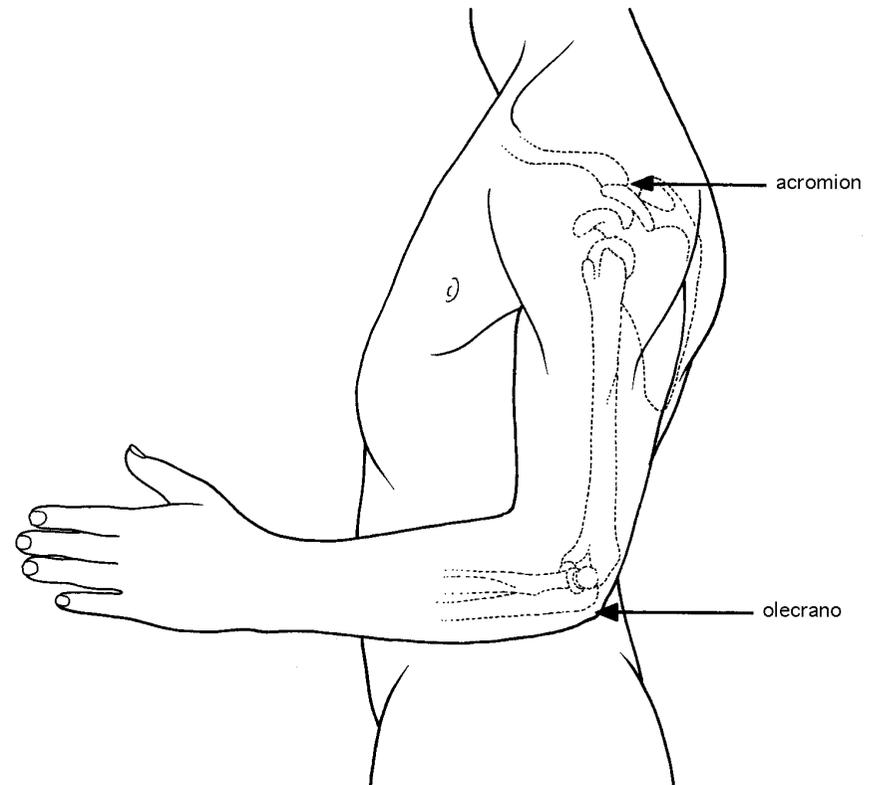
- La circonferenza del braccio è utilizzata principalmente come indicatore prognostico nella malnutrizione per difetto.
- *Essa è specialmente utile quando il peso e/o la statura non sono rilevabili.*
- Utilizzata insieme alla plica tricipitale, la circonferenza del braccio consente il calcolo delle aree muscolo-adipose del braccio.

# Circonferenza del braccio



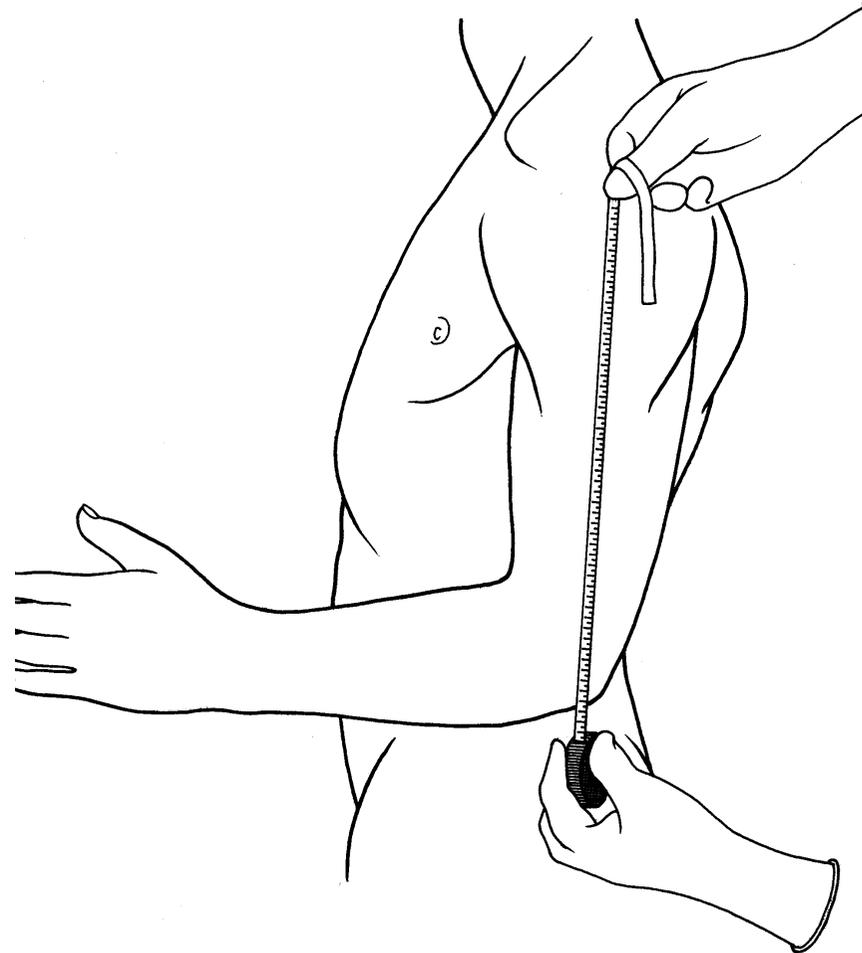
# Circonferenza del braccio

- La persona da misurare è in posizione eretta e col gomito flesso di 90°.



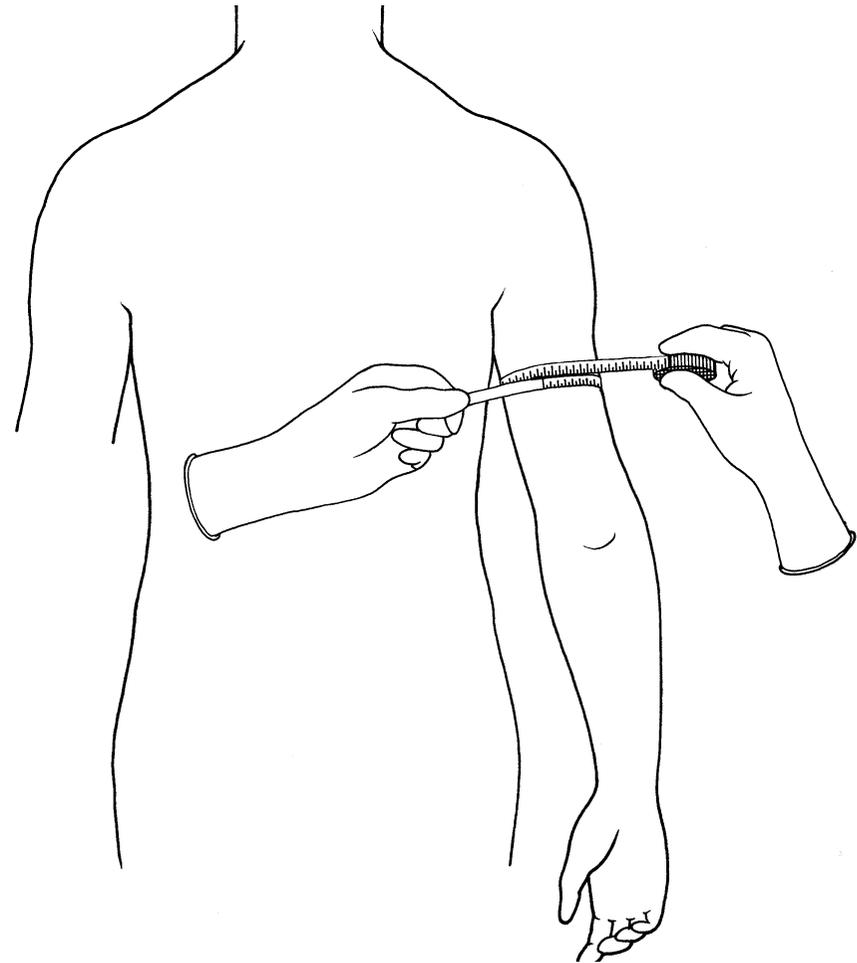
# Circonferenza del braccio

Il reperi per la misurazione è il punto medio di una linea tracciata tra il margine laterale del processo coraco-acromiale della scapola e il margine inferiore del processo olecranico dell'ulna.



# Circonferenza del braccio

La misurazione viene effettuata a gomito esteso.



# **Circonferenza della vita**

- La misurazione della circonferenza della vita è una componente centrale della valutazione antropometrica.
- La circonferenza della vita è infatti un indicatore di morbidità e mortalità indipendente dall'indice di massa corporea.

# Circonferenza della vita

---

Rischio molto aumentato	
Uomini	> 102 cm
Donne	> 88 cm

---

Valori di circonferenza della vita per la valutazione del rischio cardio-metabolico negli adulti (18-65 anni) di entrambi i sessi e di etnia caucasica (classificazione NIH).

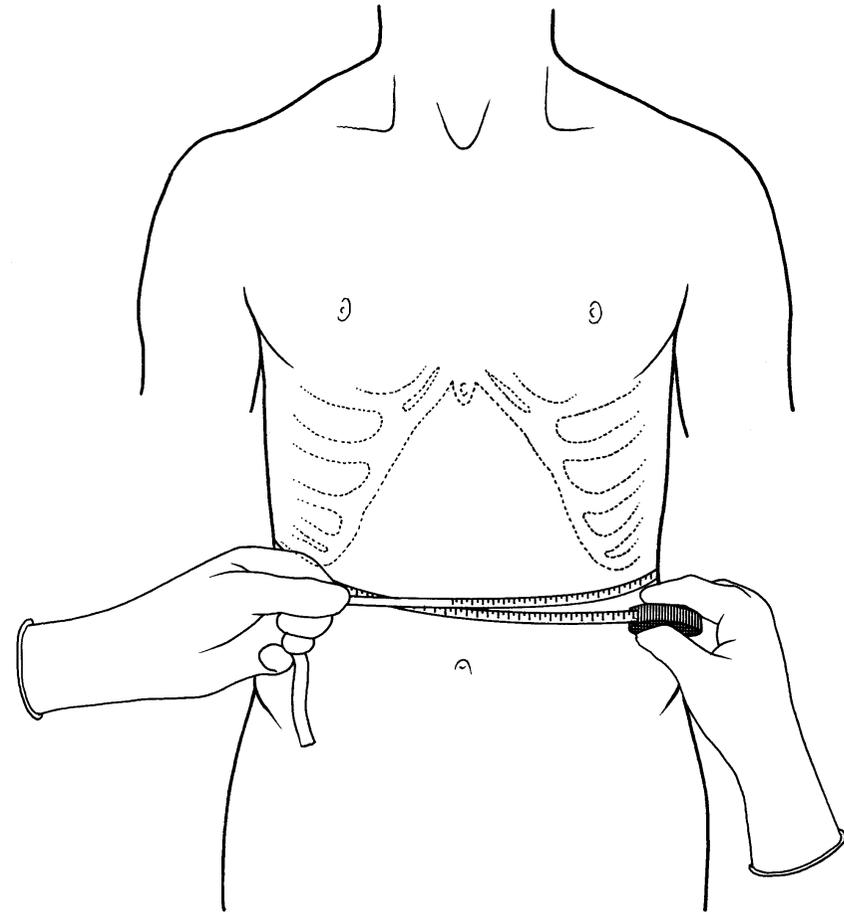
# Indice di massa corporea e circonferenza della vita

BMI (kg / m <sup>2</sup> )	Vita ≤ 102 cm (uomo)	Vita > 102 cm (uomo)
	Vita ≤ 88 cm (donna)	Vita > 88 cm (donna)
< 18.5	-	-
18.5 - 24.9	-	-
25.0 - 29.9	Aumentato	Alto
30.0 - 34.9	Alto	Molto alto
35.0 - 39.9	Molto alto	Molto alto
> 40	Estremamente alto	Estremamente alto

Uso dell'indice di massa corporea e della circonferenza della vita per la valutazione del rischio cardio-metabolico negli adulti (18-65 anni) di entrambi i sessi e di etnia caucasica (classificazione NIH).

# Circonferenza della vita

- *La circonferenza della vita è situata a metà tra l'ultima costa e la spina iliaca.*
- La persona da misurare è in posizione eretta, senza scarpe e con l'addome scoperto.
- Il metro è perpendicolare all'asse verticale del corpo e parallelo al piano del pavimento e viene applicato senza comprimere i tessuti molli.
- La misurazione è effettuata al termine di una normale espirazione.



# Pliche

- Le pliche sono costituite da un doppio strato di cute e dal tessuto adiposo interposto.

# Pliche

- Esse sono utilizzate:
  - come indicatori di adiposità
  - per il calcolo delle aree muscolo-adipose degli arti
  - come indicatori del rischio di malattia
  - per la stima della massa grassa totale

# Pliche

- Le pliche sono misurate col plicometro, un calibro a molla che esercita una pressione standardizzata.
- Tale pressione varia da un produttore e da uno strumento all'altro e misure ottenute con differenti plicometri possono non essere confrontabili.

# Pliche

Il sito di misurazione è identificato e contrassegnato con una matita dermografica.

Il pollice e l'indice della mano sinistra sollevano la plica un centimetro al di sopra del punto contrassegnato (o lateralmente ad esso per alcune pliche). È necessario sollevare soltanto cute e sottocute.

# Pliche

Mentre la mano sinistra tiene sollevata la plica, la mano destra applica il plicometro in modo che i lati della plica siano approssimativamente paralleli (operatore destrimane).

La misura viene letta al massimo 4 secondi dopo che si è applicato il plicometro. (Protrarre la misurazione oltre 4 secondi può causare la fuoriuscita di liquidi dai tessuti molli con sottostima della plica.)

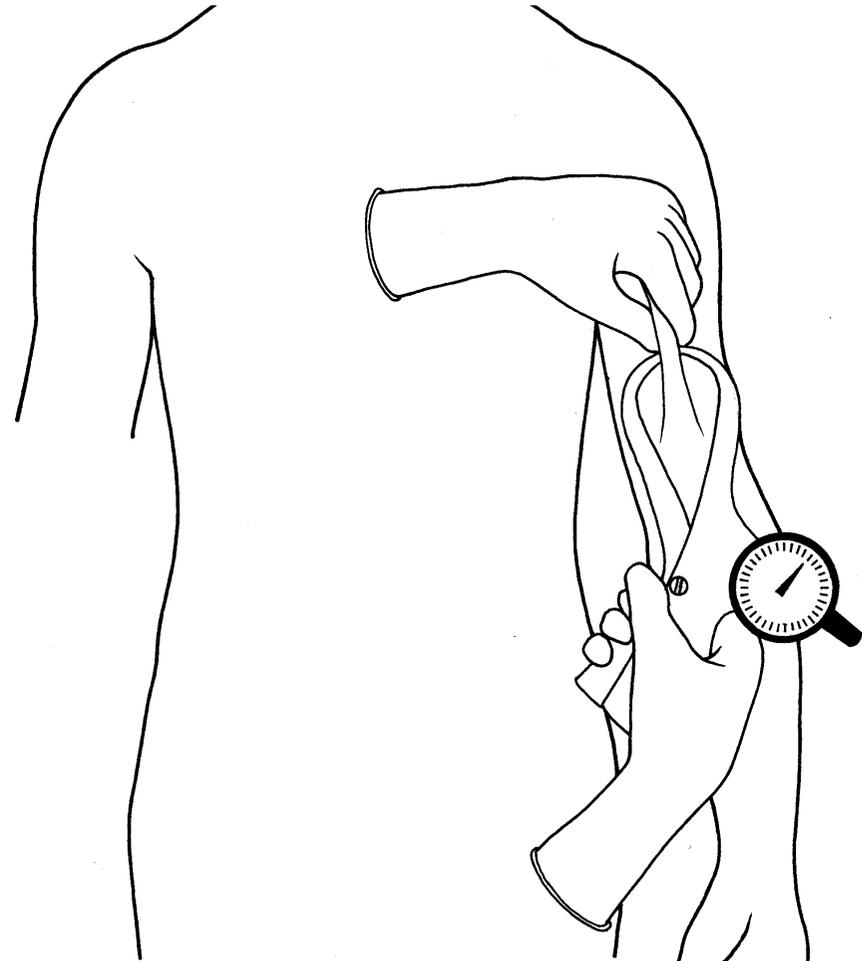
La misura viene approssimata a 1 mm.

# **Plica tricipitale**

- La plica tricipitale è un indicatore del tessuto adiposo sottocutaneo del braccio.
- Essa è la plica più frequentemente misurata in ragione dell'accessibilità e del valore prognostico nella malnutrizione per difetto.
- Utilizzata insieme alla circonferenza del braccio, essa consente il calcolo delle aree muscolo-adipose del braccio.

# Plica tricipitale

- La plica tricipitale viene misurata in corrispondenza del punto di reperi della circonferenza del braccio.

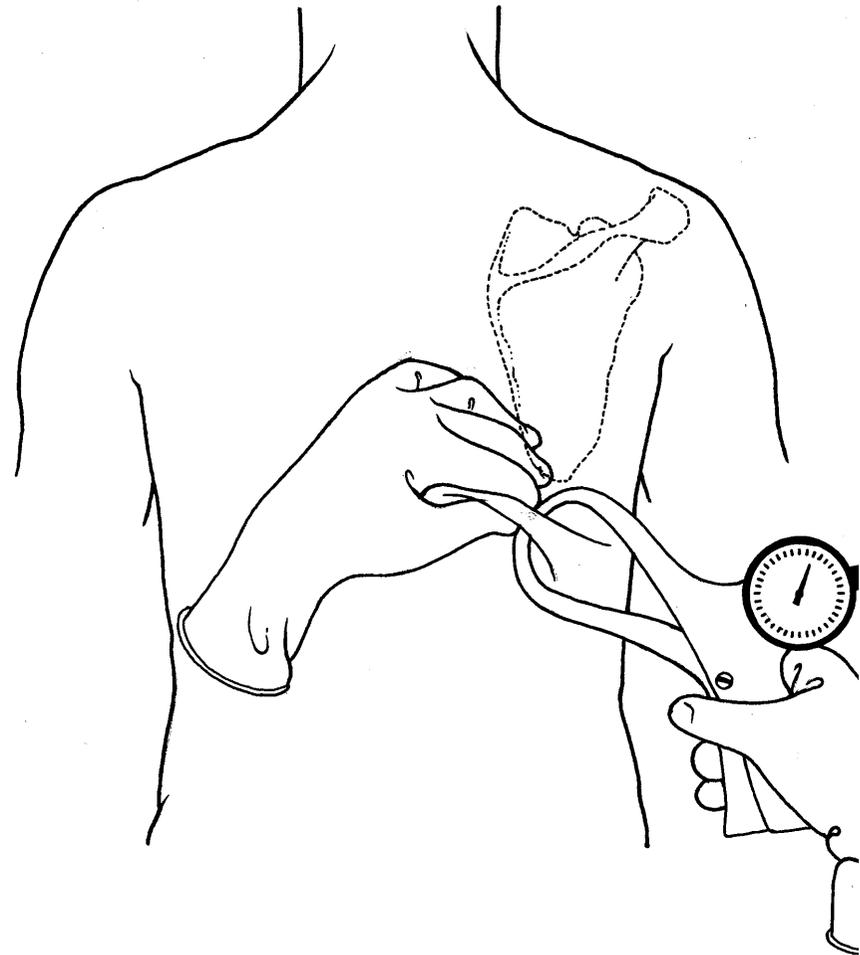


# **Plica sottoscapolare**

- La plica sottoscapolare è un indicatore del tessuto adiposo sottocutaneo del torace ed è la singola plica meglio correlata col rischio cardio-metabolico (ipertensione e dislipidemia).

# Plica sottoscapolare

- La persona da misurare è in posizione eretta, con le braccia ai lati del tronco.
- L'operatore localizza il margine inferiore della scapola e solleva una plica orientata a  $45^\circ$  rispetto al piano orizzontale.



# **Aree muscolo-adipose degli arti**

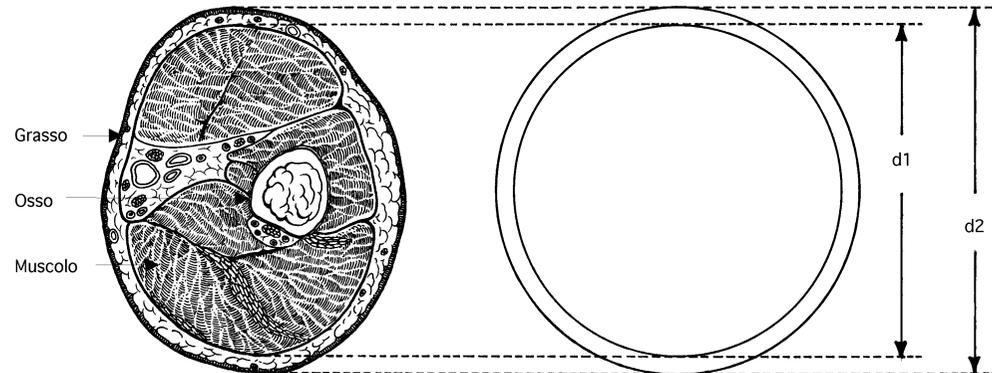
- Le aree muscolo-adipose degli arti vengono calcolate da una circonferenza e dalla plica corrispondente assumendo una sezione circolare dell'arto.
- Consideriamo il caso delle aree muscolo-adipose del braccio.

# Aree muscolo-adipose degli arti

$$TAA(cm^2) = \frac{AC(cm)^2}{4 \times \pi}$$

$$AMA(cm^2) = \frac{[AC(cm) - TSF(cm) \times \pi]^2}{4 \times \pi}$$

$$AFA(cm^2) = TAA(cm^2) - AMA(cm^2)$$



TAA = area totale del braccio (total arm area)

AC = circonferenza del braccio (arm circumference)

AMA = area muscolare del braccio (arm muscle area)

AFA = area adiposa del braccio (arm fat area)

# Valutazione antropometrica di secondo livello

- Per una valutazione antropometrica di secondo livello, si possono utilizzare quattro parametri
  - peso
  - statura
  - *area muscolare del braccio*
  - *sommatoria delle pliche tricipitale e sottoscapolare.*

# Valutazione di secondo livello

Percentile	Peso	Statura	Area muscolare del braccio
0.0 - 5.0	Sottopeso	Bassa statura	Ipotrofia muscolare
5.1 - 15.0	Peso inferiore alla media	Statura inferiore alla media	Massa muscolare inferiore alla media
15.1 - 85.0	Peso nella media	Statura nella media	Massa muscolare nella media
85.1 - 95.0	Peso superiore alla media	Statura superiore alla media	Massa muscolare superiore alla media
95.1 - 100.0	Sovrappeso	Statura elevata	Ipertrofia muscolare

Valutazione antropometrica dello stato nutrizionale secondo Frisancho.

# Valutazione di secondo livello

Percentile	Sommatoria delle pliche tricipitale e sottoscapolare
0.0 - 5.0	Magrezza
5.1 - 15.0	Adiposità inferiore alla media
15.1 - 75.0	Adiposità nella media
<b>75.1 - 85.0</b>	<b>Adiposità superiore alla media</b>
85.1 - 100.0	Adiposità eccessiva

Valutazione antropometrica dello stato nutrizionale secondo Frisancho.

# **Analisi dell'impedenza bioelettrica**

# Bibliografia



**<http://www.giorgiobedogni.it/faq/pfaq.html>**

## **Come posso ottenere i libri sull'impedenza bioelettrica e l'antropometria non più in stampa?**

I testi IMPEDENZA BIOELETTRICA E COMPOSIZIONE CORPOREA (I ed. 1998 e II ed. 2001) e MANUALE DI VALUTAZIONE ANTROPOMETRICA DELLO STATO NUTRIZIONALE (2001) sono esauriti. Se vuoi, puoi scaricare il loro PDF a questa [pagina](#). Ricordati di aggiornarli con quanto è contenuto nel [Manuale ANDID di valutazione dello stato nutrizionale \(2009\)](#)! In fondo sono passati 10 anni...

**<http://www.giorgiobedogni.it/tutorials>**

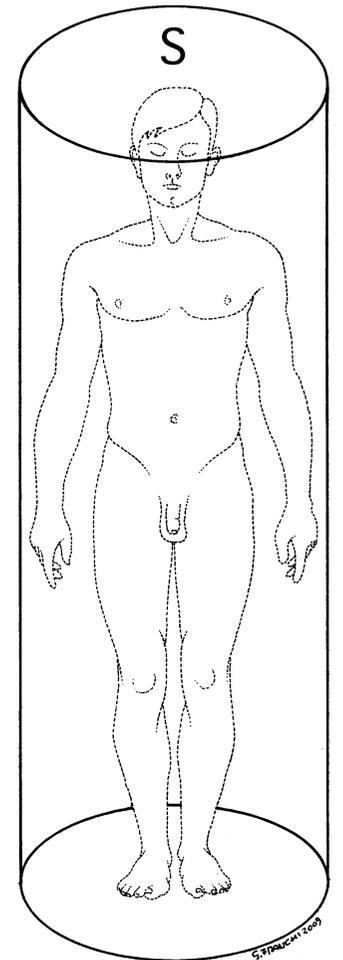
The screenshot shows a website page with a navigation menu on the left and a main content area on the right. The navigation menu includes links for: benvenuto, motto, curriculum, tutorials, rassegna, tools, links, fotografie, faq, news, and mappa. The main content area features a dark blue background with white text. The text reads: **Analisi dell' impedenza bioelettrica (BIA) e composizione corporea: principi e applicazioni**, followed by the author's name, **Giorgio Bedogni**, and the location, **Centro Studi Fegato, Area Science Park, Basovizza, TS**. At the bottom of the page, there is a copyright notice: © 2005-2012 Giorgio Bedogni Contattami.

# **Analisi dell'impedenza bioelettrica**

- L'analisi dell'impedenza bioelettrica (BIA, bioelectrical impedance analysis) è una tecnica indiretta di valutazione della composizione corporea.
- Essa misura l'impedenza del corpo umano a una corrente elettrica alternata e stima la composizione corporea utilizzando un'equazione predittiva basata sull'impedenza corporea.

# Analisi dell'impedenza bioelettrica

- L'impedenza elettrica del corpo umano è tradizionalmente approssimata a quella di un conduttore cilindrico isotropico di sezione trasversale  $S$  e lunghezza  $l$ .
- (Un conduttore isotropico è percorso dalla stessa densità di corrente in ogni punto.)



# Analisi dell'impedenza bioelettrica

- L'impedenza  $Z$  di tale conduttore è direttamente proporzionale alla lunghezza  $l$  e inversamente proporzionale alla sezione trasversale  $S$  (legge di Ohm),

$$Z = \zeta \frac{l}{S}$$

dove  $\zeta$  rappresenta l'impedenza specifica.

# Analisi dell'impedenza bioelettrica

- Moltiplicando per  $I$  si ottiene:

$$Z = \zeta \frac{I^2}{I \times S}$$

# Analisi dell'impedenza bioelettrica

- Poiché il prodotto  $l \times S$  corrisponde al volume  $V$  del cilindro, è possibile riscrivere l'equazione come:

$$Z = \zeta \frac{l^2}{V}$$

# Analisi dell'impedenza bioelettrica

- Sostituendo la statura ad  $l$ , la relazione assume l'aspetto:

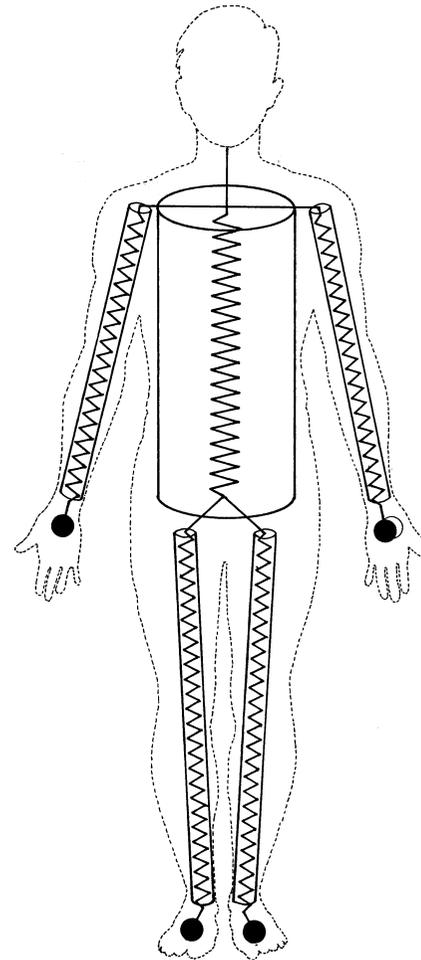
$$V = \zeta \frac{\textit{statura(cm)}^2}{Z(\Omega)}$$

# Analisi dell'impedenza bioelettrica

- Questa è la forma assunta comunemente dall'impedenza bioelettrica nelle equazioni predittive della composizione corporea, dove il compartimento  $V$  è la massa magra o l'acqua totale corporea.
- Il rapporto  $\text{statura}^2 / \text{impedenza}$  è noto come indice di impedenza (ZI, impedance index).
- Anche se il corpo umano non è un conduttore cilindrico isotropico, l'uso di tale modello ha fornito risultati empirici soddisfacenti.

# Analisi dell'impedenza bioelettrica

- Un modello elettrico a cinque cilindri del corpo umano è teoricamente più soddisfacente del modello a un solo cilindro.
- Gli arti hanno infatti una sezione trasversale più piccola del tronco e contribuiscono pertanto in misura maggiore all'impedenza totale.



# Analisi dell'impedenza bioelettrica

- Il modello a 5 cilindri risulta dall'applicazione del modello monocilindrico a ciascun segmento corporeo:

$$V = \zeta_{LA} \frac{It_{LA}^2}{Z_{LA}} + \zeta_{RA} \frac{It_{RA}^2}{Z_{RA}} + \zeta_T \frac{It_T^2}{Z_T} + \zeta_{LL} \frac{It_{LL}^2}{Z_{LL}} + \zeta_{RL} \frac{It_{RL}^2}{Z_{RL}}$$

dove  $It$  rappresenta la lunghezza del segmento (length),  $LA$  il braccio sinistro (left arm),  $RA$  il braccio destro (right arm),  $T$  il tronco (trunk),  $LL$  la gamba sinistra (left leg) e  $RL$  (right leg) la gamba destra.

# **Analisi dell'impedenza bioelettrica**

- Il modello a cinque cilindri non fornisce vantaggi significativi per lo studio della composizione corporea globale ma ciascuna delle sue componenti consente una valutazione della composizione corporea segmentale (braccia e gambe).

# **Analisi dell'impedenza bioelettrica**

- L'impedenza elettrica del corpo umano è riconducibile a proprietà resistive e capacitive.
- Le proprietà resistive sono ascritte all'acqua intracellulare ed extracellulare e quelle capacitive alle membrane cellulari.

# Analisi dell'impedenza bioelettrica

- Secondo il modello RC-serie del corpo umano, l'impedenza corporea è la risultante di una resistenza  $R$  posta in serie con un condensatore  $C$ .



# Analisi dell'impedenza bioelettrica

- Questo modello deve essere conosciuto per comprendere l'origine del concetto di reattanza capacitiva ( $X_c$ ).
- Se (e solo se) si assume un modello RC-serie, vale infatti la relazione:

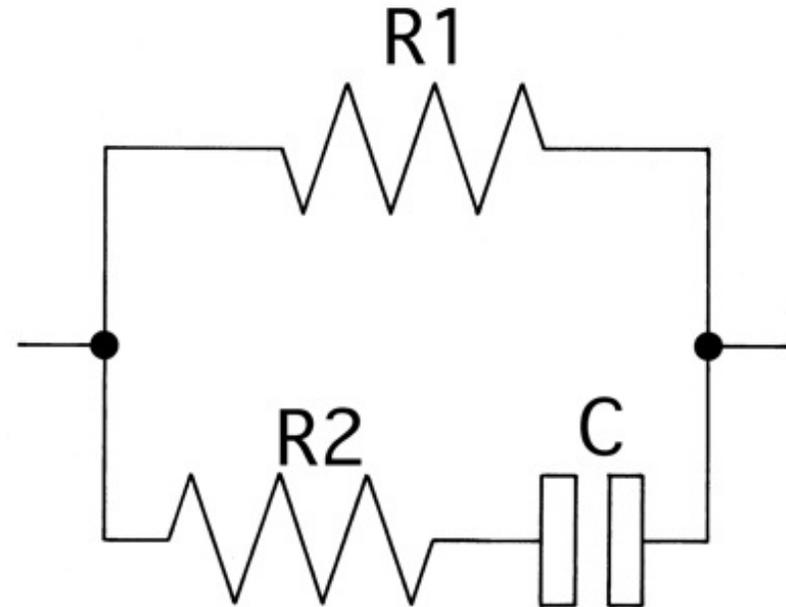
$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

# Analisi dell'impedenza bioelettrica

- *Poiché il modello RC-serie non è un modello elettrico adeguato del corpo umano, la reattanza capacitiva ha unicamente un valore empirico.*
- Essa compare come predittore in alcune equazioni predittive della composizione corporea ed è impiegata in alcune valutazioni qualitative.

# Analisi dell'impedenza bioelettrica

- Il modello RRC serie-parallelo, formato da una resistenza posta in parallelo con un complesso RC-serie, è più idoneo a rappresentare le proprietà elettriche del corpo umano ed è il modello che sottende alcune applicazioni dell'analisi dell'impedenza bioelettrica.



# **Analisi dell'impedenza bioelettrica**

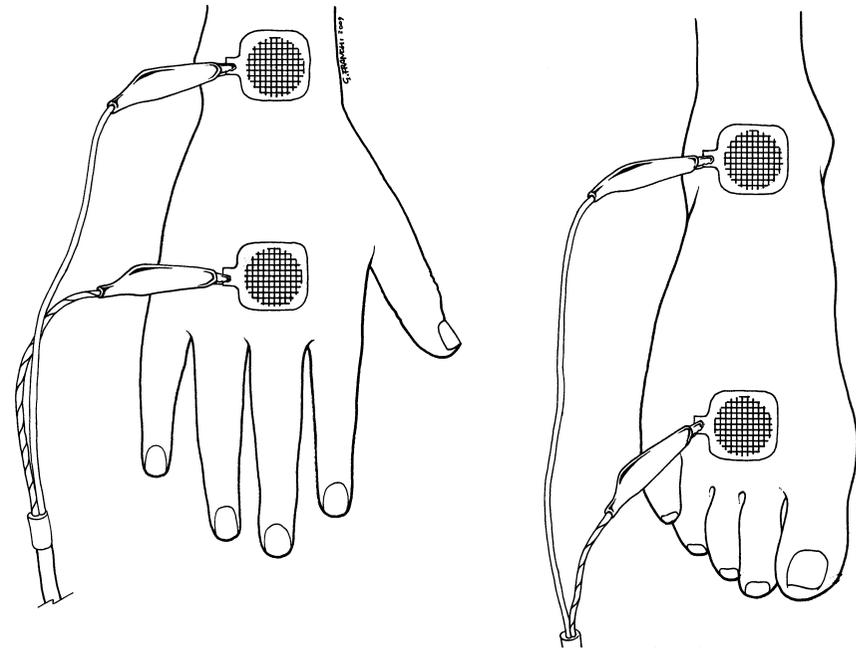
- La capacità di una corrente elettrica di attraversare un materiale aumenta all'aumentare della frequenza della corrente stessa.
- Applicato al corpo umano, questo principio fisico fa ritenere che una corrente a bassa frequenza attraverserà principalmente i liquidi extracellulari mentre una corrente ad alta frequenza supererà le membrane cellulari attraversando anche i liquidi intracellulari.

# Analisi dell'impedenza bioelettrica

- In altre parole, l'impedenza bioelettrica alle basse frequenze dovrebbe fornire una misura più attendibile dell'acqua extracellulare e l'impedenza bioelettrica alle alte frequenze una misura dell'acqua totale corporea.
- *Questo principio è stato effettivamente verificato per il corpo umano ma il limitato spettro di frequenze utilizzabili in maniera riproducibile non fornisce un vantaggio sostanziale nella predizione dei compartimenti corporei.*

# Analisi dell'impedenza bioelettrica

- L'impedenza bioelettrica è misurata principalmente con una metodica tetrapolare.
- Tale metodica utilizza due coppie di elettrodi adesivi localizzate sulla superficie dorsale della mano e del piede di uno stesso emisoma.
- L'elettrodo distale (iniettore) di ciascuna coppia somministra la corrente alternata e quello prossimale (sensore) registra l'impedenza.

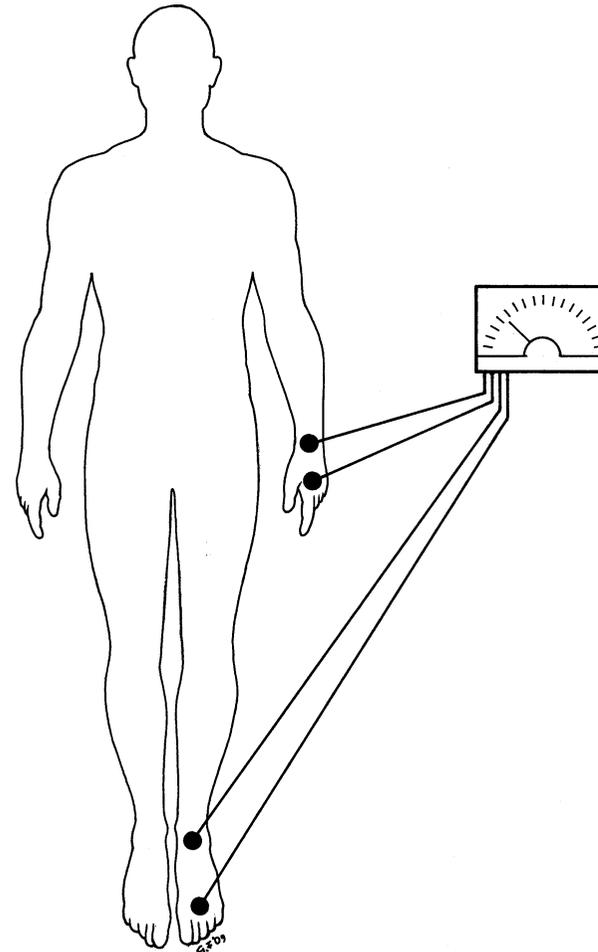


# **Analisi dell'impedenza bioelettrica**

- L'intensità di corrente varia per lo più tra 500 e 800  $\mu\text{A}$  e la frequenza di somministrazione da 1 a 1000 kHz
- Lo spettro di frequenza utilizzabile in maniera riproducibile è però compreso tra 1 e 100 kHz per la maggior parte degli impedenziometri.

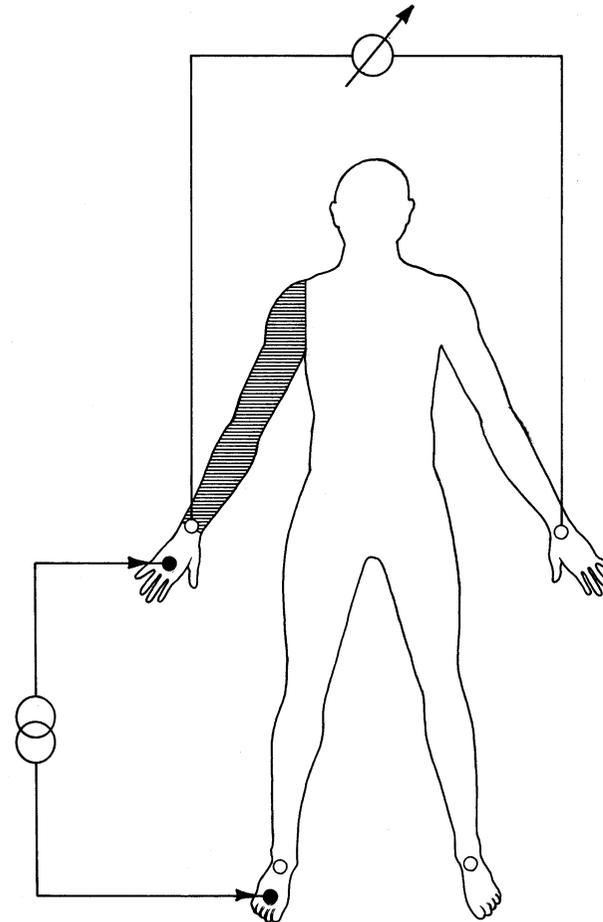
# Analisi dell'impedenza bioelettrica

- Nell'applicazione "a tutto corpo" la corrente attraversa un'emisoma



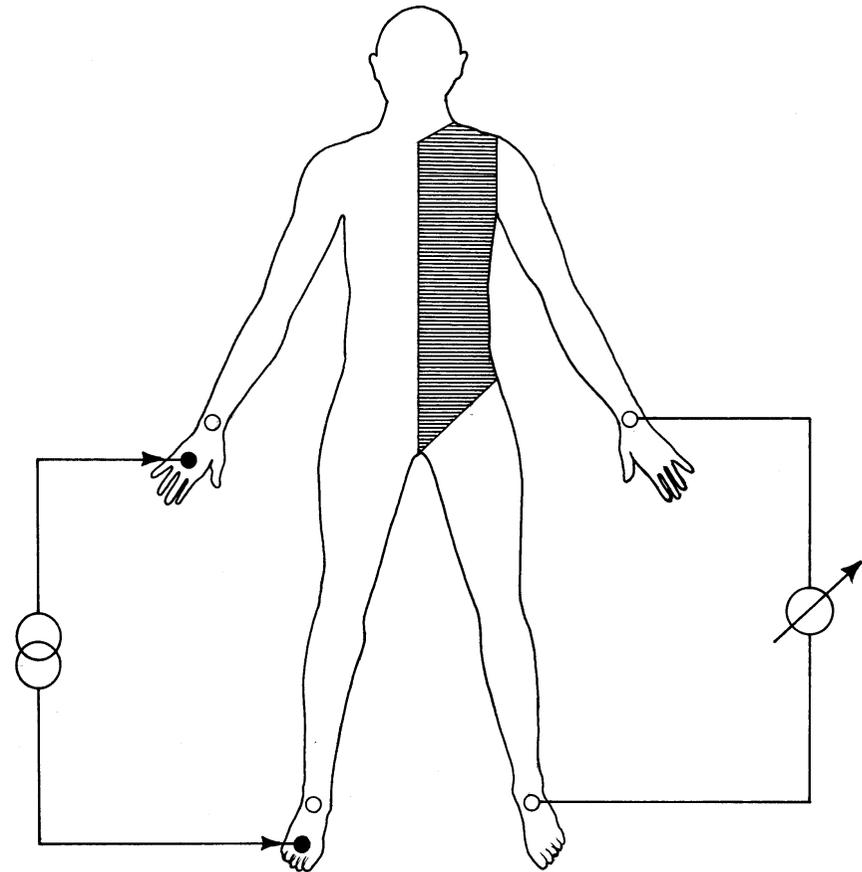
# Analisi dell'impedenza bioelettrica

- L'impedenza segmentale del braccio destro è ottenuta somministrando la corrente alternata tra la gamba destra e il braccio destro e misurando la differenza di potenziale tra il braccio destro e quello sinistro



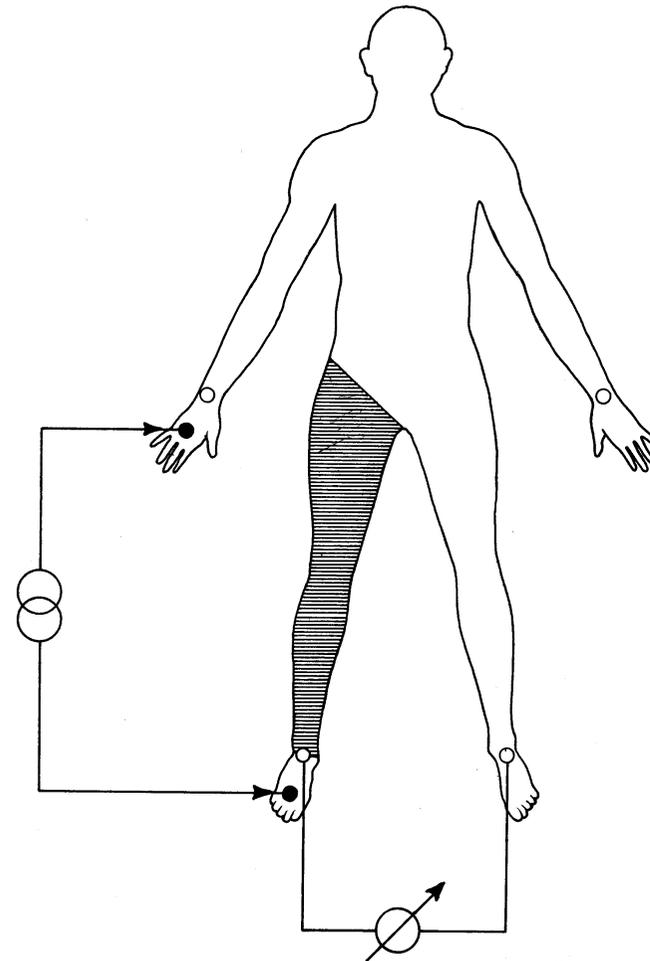
# Analisi dell'impedenza bioelettrica

- L'impedenza segmentale del tronco è ottenuta somministrando la corrente alternata tra la gamba destra e il braccio destro e misurando la differenza di potenziale tra il braccio sinistro e la gamba sinistra



# Analisi dell'impedenza bioelettrica

- L'impedenza segmentale della gamba destra è ottenuta somministrando la corrente alternata tra la gamba destra e il braccio destro e misurando la differenza di potenziale tra la gamba destra e quella sinistra.



# **Analisi dell'impedenza bioelettrica**

- È necessario testare periodicamente l'impedenziometro contro circuiti a valore noto di impedenza. (Molti impedenziometri effettuano un controllo automatico dell'accuratezza sfruttando questo principio.)
- La precisione viene valutata effettuando misure ripetute dello stesso individuo.
- Se si utilizzano più impedenziometri, è indispensabile valutare la variabilità inter-strumentale.

# **Analisi dell'impedenza bioelettrica**

- Il soggetto da misurare giace supino su una superficie non conduttiva e in condizioni di termoneutralità.
- Le braccia sono abdotte di 30-45° per evitare cortocircuiti della corrente.
- Occorre attendere 10-15 minuti prima di effettuare la misurazione (metodo tetrapolare).

# **Analisi dell'impedenza bioelettrica**

- La superficie consigliata degli elettrodi è 5 cm<sup>2</sup> e la distanza consigliata tra gli elettrodi è 5 cm.
- La cute può essere pulita con alcol etilico ma si devono evitare preparati contenenti elettroliti. (La peluria abbondante deve essere rimossa.)

# **Analisi dell'impedenza bioelettrica**

- La procedura consigliata è una notte ( $\geq 8$  ore) di digiuno.
- Se ciò non è possibile, la misurazione dovrebbe essere effettuata almeno a 3 ore di distanza da un pasto.

# **Analisi dell'impedenza bioelettrica**

- L'esercizio fisico intenso deve essere evitato prima della misurazione.
- Il ciclo mestruale comporta variazioni fisiologiche dell'impedenza e la misurazione dovrebbe essere effettuata in fase follicolare precoce.
- La misurazione non deve essere effettuata in presenza di febbre o ipotermia.

# Programma

- Introduzione alla valutazione dello stato nutrizionale
- Valutazione della composizione corporea
- *Valutazione del bilancio energetico*
- Valutazione della funzionalità corporea
- Una visione d'insieme

# **VALUTAZIONE DEL BILANCIO ENERGETICO**

# Bilancio energetico

- Il bilancio energetico ( $\Delta E$ ) rappresenta la differenza tra l'introito (EI, energy intake) e il dispendio energetico (EE, energy expenditure):

$$\Delta E = EI - EE$$

# **Bilancio energetico**

- La positivizzazione prolungata del bilancio energetico provoca l'espansione di tutti i compartimenti del modello molecolare.
- La negativizzazione prolungata del bilancio energetico provoca la contrazione degli stessi compartimenti.

# **Valutazione dell'introito energetico**

# Introito energetico

- La valutazione dell'introito energetico è un obiettivo quantitativo della valutazione delle abitudini alimentari.
- Poiché l'introito energetico non può essere misurato direttamente, ci riferiremo alla sua valutazione come alla stima dell'introito energetico.
- Tale stima è di regola accompagnata da quella dell'introito dei macronutrienti e può comprendere la distribuzione dei macronutrienti e l'introito dei micronutrienti.

# Valutazione delle abitudini alimentari

- Obiettivi quantitativi
  - Stima dell'introito di energia e macronutrienti
  - Stima della distribuzione dei macronutrienti
    - Carboidrati semplici vs. complessi
    - Lipidi saturi vs. monoinsaturi vs. polinsaturi
    - Proteine animali vs. vegetali
  - Stima dell'introito di micronutrienti
    - Vitamine
    - Minerali
- Obiettivi qualitativi
  - Identificazione del modello alimentare
  - Identificazione dello stile alimentare

# **Valutazione delle abitudini alimentari**

- La valutazione delle abitudini alimentari può essere effettuata con metodi retrospettivi o longitudinali.

# Valutazione delle abitudini alimentari

- Metodi retrospettivi
  - Storia dietetica
  - Recall delle 24 ore
  - Questionario di frequenza di assunzione degli alimenti
  - ...
- Metodi longitudinali
  - Diario alimentare
  - Diario semplice
  - Diario con pesata
  - ...

# Storia dietetica

- La storia dietetica (dietary history) è un'intervista strutturata che mira a ricostruire l'alimentazione di un individuo (applicazione clinica) o di una popolazione (applicazione epidemiologica).
- L'intervallo di tempo investigato dalla storia dietetica è 7-30 giorni per l'applicazione clinica e 6-12 mesi per l'applicazione epidemiologica.
- Per l'applicazione clinica, la valutazione dell'alimentazione a lungo termine viene effettuata attraverso la ripetizione della storia dietetica.

# Storia dietetica

- La storia dietetica è il metodo di valutazione delle abitudini alimentari che richiede la maggiore esperienza.
- Le competenze richieste per imparare e perfezionare la tecnica della storia dietetica sono nettamente superiori a quelle richieste per le altre metodiche di valutazione delle abitudini alimentari.
- *Oltre a una cultura nutrizionale e alimentare adeguata, la storia dietetica richiede profonde abilità psico-socio-pedagogiche.*

# **Storia dietetica**

- Stima quantitativa e qualitativa dell'alimentazione.
- Valutazione critica dei risultati forniti dalle altre metodiche di valutazione dello stato nutrizionale.
- Personalizzazione del piano dietetico.
- Fondazione della relazione terapeutica.

# Storia dietetica

- La storia dietetica si basa sulla ricostruzione della frequenza e della quantità di alimenti consumati ed è sufficientemente accurata per la stima dell'introito di energia e macronutrienti a livello individuale.
- Essa è meno accurata del diario alimentare con pesata ma più accurata del recall delle 24 ore e dei questionari di frequenza di assunzione degli alimenti per la stima dell'introito dei micronutrienti.

# Storia dietetica

- La storia dietetica è utilizzata anche per investigare:
  - appetito
  - digestione
  - alvo
  - storia ponderale
  - allergie o intolleranze alimentari
  - interazioni farmaco-nutrizionali
  - trattamenti dietetici pregressi
  - attività fisica
  - indicazioni al trattamento dietetico e
  - supporto psico-sociale.

# **Storia dietetica**

- La storia dietetica non può essere utilizzata nelle persone con problemi di memoria e nei bambini di età inferiore a 8-10 anni.

# Storia dietetica

## COLAZIONE

Caffè d'orzo 1 tazza, 2/7  
Latte 150 mL, 5/7  
Zucchero 10 g, 7/7  
Brioche 60 g, 3/7  
Biscotti 40 g, 3/7  
Fette biscottate integrali 40 g, 1/7

## PRANZO

Pasta o riso 80 g, 4/7  
Pasta all'uovo 80 g, 2/7  
Tortellini 140 g, 1/7  
Sughi di carne, 4/7  
Sugo di pomodoro, 3/7  
Parmigiano grattugiato 10 g, 7/7  
Carne 120 g, 3/7  
Salumi 80 g, 3/7  
Formaggio 80 g, 1/7  
Parmigiano 30 g, 3/7  
Verdura 1 porzione, 7/7  
Patate 150 g, 1/7  
Legumi in scatola 100 g, 1/7  
Pane comune/condito 60 g, 7/7  
Mela 200 g, 2/7  
Olio 25 g, 7/7  
Vino 100 mL, 2/7

## MERENDA

Banana 150 g, 2/7  
Biscotti secchi 15 g, 2/7  
1 tazza di tè, 2/7  
Zucchero 10 g, 2/7

## CENA

Cotoletta 120 g, 2/7  
Pesce 200 g, 1/7  
Pizza quattro stagioni, 1/7  
Formaggio 70 g, 3/7  
Verdura 1 porzione, 1/7  
Verdura sott'olio 50 g, 1/7  
Pane comune/condito 70 g, 7/7  
Mela/Pera 150 g, 5/7  
Olio 20 g, 2/7  
Vino 150 mL, 3/7

## **Recall delle 24 ore**

- Il recall delle 24 ore (24-hr recall) è un'intervista strutturata relativa all'alimentazione della giornata precedente.
- L'operatore trascrive (o inserisce direttamente in un software) gli alimenti e le bevande consumate dalla persona intervistata nella giornata precedente il colloquio.
- Il tempo richiesto per l'effettuazione di un recall delle 24 ore è compreso tra 15 e 30 minuti.

## **Recall delle 24 ore**

- Il recall delle 24 ore è stato sviluppato per quantificare l'assunzione media di alimenti e nutrienti a livello di popolazione.
- L'accuratezza della valutazione dell'alimentazione usuale ottenuta con questo metodo è accettabile a livello di popolazione ma non a livello individuale.

## **Recall delle 24 ore**

- *Pertanto, il recall delle 24 ore deve essere utilizzato nel singolo individuo solo se non è possibile raccogliere la storia dietetica od ottenere la compilazione del diario alimentare.*
- Dovrebbe però essere chiaro che questa è una soluzione di ripiego, assai lontana dal fornire una valutazione dell'alimentazione usuale.

## **Recall delle 24 ore**

- Occorre inoltre considerare che, se si vuole ottenere una stima dell'alimentazione usuale di una popolazione, è necessario effettuare i recall in giorni differenti (ad esempio, tre giorni non ravvicinati di una settimana includendo un giorno del fine settimana).

## **Recall delle 24 ore**

- Il recall delle 24 ore può essere ripetuto più volte nell'ambito di un periodo di tempo specificato (settimana, mese, anno).
- Quest'approccio, utilizzato inizialmente per studiare l'effetto della stagionalità sull'alimentazione, aumenta l'accuratezza della valutazione delle abitudini alimentari a lungo termine.

## **Recall delle 24 ore**

- Il recall delle 24 ore non può essere utilizzato nelle persone con problemi di memoria e nei bambini di età inferiore a 8-10 anni.

# Questionari di frequenza di assunzione degli alimenti

- I questionari di frequenza di assunzione degli alimenti (FFQ, food-frequency questionnaires) mirano a ricostruire l'alimentazione a lungo termine (mesi o anni) di una popolazione sulla base della frequenza di consumo di una lista di alimenti di interesse.
- La modalità preferita è l'autocompilazione, in relazione alla riduzione dei costi della ricerca epidemiologica e alla possibilità di invio postale.

# Questionari di frequenza di assunzione degli alimenti

- Essi sono stati sviluppati per ottenere informazioni qualitative sui consumi alimentari di gruppi di individui.
- *Pertanto, i questionari di frequenza di assunzione degli alimenti non devono essere utilizzati a livello individuale e per fini quantitativi.*

# Questionari di frequenza di assunzione degli alimenti

- L'unico impiego non qualitativo ragionevole dei questionari di frequenza di assunzione degli alimenti è la classificazione semi-quantitativa dei soggetti in categorie di introito di alimenti e/o nutrienti (ad es. quintili).
- Tra i questionari italiani, ricordiamo quello sviluppato dall'Istituto Nazionale Tumori nel contesto dell'European Perspective Investigation on Cancer (EPIC).

# **Diario alimentare**

- Il metodo longitudinale più utilizzato è il diario alimentare (food record).
- Il diario alimentare è una registrazione prospettica scritta del consumo di alimenti e bevande.

# Diario alimentare

- L'intervallo di tempo investigato dal diario alimentare è compreso per lo più tra 3 e 7 giorni.
- Applicazioni particolari possono richiedere più di una settimana ma espongono al rischio di affaticamento del soggetto con riduzione dell'accuratezza della stima.

# Diario alimentare

- Il diario dovrebbe essere compilato nel momento in cui si consumano gli alimenti o a breve distanza di tempo.
- Oltre al tipo e alla quantità di alimenti consumati, la persona dovrebbe riportare le ricette e la modalità di preparazione utilizzata.

# Diario alimentare

- Le quantità consumate sono valutate utilizzando misure casalinghe (diario semplice) o pesando gli alimenti (diario con pesata).
- Il diario con pesata è il metodo più accreditato per la stima quantitativa dell'alimentazione ma presenta un grado di interferenza elevato con la vita del soggetto ed è pertanto utilizzato principalmente in ambito di ricerca.

# Diario alimentare

- Il diario alimentare consente una stima accurata dell'introito di energia e macronutrienti sia a livello individuale sia a livello di popolazione.
- *La stima dell'introito di molti micronutrienti necessita di periodi di tempo superiori a 7 - 14 giorni.*

# Diario alimentare

- Il diario alimentare richiede molta motivazione da parte della persona che lo deve compilare e ha il limite di non essere utilizzabile da soggetti analfabeti.
- Il diario alimentare può inoltre indurre una sottostima dell'alimentazione, specialmente nelle persone obese.
- Il diario alimentare è in ogni caso uno strumento centrale per valutare l'abilità del paziente nella gestione del piano alimentare e per indagare i correlati psico-sociali dell'alimentazione.

# Diario alimentare

Lunedì	Martedì	Mercoledì	Giovedì	Venerdì
Latte 100 g	Latte 100 g	Yogurt 125 g	Latte 100 g	Yogurt 125 g
Biscotti 70 g	Biscotti 70 g	Cereali 60 g	Fette Biscottate 40 g + marmellata 10 g	Cereali 60 g
Spaghetti 80 g al tonno 50 g	Linguine 80 g al pesto 20 g	Bresaola 80 g	Mozzarella 125 g	Risotto 120 g
Cavolfiore 100 g	Pomodoro e sedano 150 g	Broccoli 100 g	Pomodoro 200 g	Zucchine 150 g
Pane 80 g	Pane 80 g	Pane 80 g	Pane 80 g	Pizza 160 g
Brodo vegetale e pasta 40 g	Brodo vegetale e pasta 40 g	Pasta 100 g e pomodoro	Spaghetti 100 g e aglio/olio	Seppie 200 g
Prosciutto crudo 50 g	Insalata di pesce 100 g	Fagiolini 100 g	Melanzane 150 g	Piselli 70 g
Pomodoro 150 g	Pomodoro 150 g	Insalata verde 150 g	Insalata verde 150 g	Melanzane 150 g
Pane comune 80 g	Pane comune 80 g	Pane ai cereali 80 g	Pane comune 80 g	Pane comune 80 g
Olio 30 g	Olio 30 g	Olio 30 g	Olio 30 g	Olio 30 g

Sono riportati 5 di 7 giorni

# Ausili per la stima delle porzioni

- Ausili tridimensionali
  - Misure casalinghe
  - Duplicati delle porzioni
  - Modelli reali degli alimenti
  - Modelli astratti degli alimenti
- Ausili bidimensionali
  - Disegni degli alimenti
  - Disegni astratti degli alimenti
  - Disegni di misure casalinghe
  - *Fotografie degli alimenti*
  - Fotografie digitalizzate
  - Etichette degli alimenti

# **Atlante fotografico**

- L'atlante fotografico è una raccolta di fotografie di alimenti scelti sulla base della rappresentatività all'interno della popolazione di interesse.
- L'atlante fotografico può essere utilizzato con tutti i metodi retrospettivi descritti e col diario alimentare.

# Atlante fotografico

- Il riconoscimento della porzione di un alimento richiede tre capacità
  - percezione
  - concettualizzazione
  - memoria

# **Atlante fotografico**

- La percezione mette in relazione la quantità di cibo consumata con quella presente in fotografia.
- La concettualizzazione produce una fotografia mentale della porzione usuale e la confronta con quella fotografata.
- Infine, la memoria ricorda la quantità di cibo effettivamente consumata.

# **Atlante fotografico**

- Gli studi di validazione degli atlanti fotografici testano principalmente la capacità di percezione.
- In tali studi, la porzione reale viene somministrata poco prima di quella fotografata o insieme ad essa.
- Questa valutazione non offre (purtroppo) nessuna informazione sulla capacità di una persona di effettuare la stessa operazione con la memoria a lungo termine.

# Atlante fotografico

- L'accuratezza dell'atlante fotografico nella stima delle porzioni degli alimenti è influenzata da fattori relativi allo strumento, al soggetto e all'operatore.
- Tra i fattori relativi allo strumento, il numero, le dimensioni, il colore e l'inquadratura delle fotografie possono influenzare il riconoscimento della porzione di un alimento.
- In generale, vi è accordo sul fatto che le fotografie debbano essere di grandezza naturale, a colori e tridimensionali.

# Atlante fotografico

- L'atlante fotografico non è utilizzabile in soggetti di età inferiore a 8-10 anni e in soggetti anziani con problemi di memoria.
- (Per un'informazione aggiornata consultare [www.giorgiobedogni.it/mavsn.html](http://www.giorgiobedogni.it/mavsn.html))

# Atlante fotografico Scotti-Bassani



# Atlante fotografico Scotti-Bassani



Tav. 18

# Atlante fotografico Scotti-Bassani



# Atlante fotografico Scotti-Bassani



Tav. 99

**<http://www.giorgiobedogni.it/faq/pfaq.html>**

## **Come posso ottenere l'atlante fotografico Scotti-Bassani delle porzioni degli alimenti?**

L'ATLANTE FOTOGRAFICO SCOTTI-BASSANI DELLE PORZIONI DEGLI ALIMENTI (2005) - da non confondere con l'[Atlante ragionato di Alimentazione](#)) - non è in commercio ma è distribuito gratuitamente dagli informatori [APROTEN](#). Su questo sito puoi leggere [l'introduzione](#) e sfogliare virtualmente [l'atlante](#). Puoi scaricare il PDF dell'Atlante sul sito [Scotti-Bassani](#) previa registrazione. Puoi anche [scaricare il CD](#) con il software dell'Atlante da questo sito ma prima di installare il programma leggi attentamente il contratto di utilizzo. Il programma è stato sviluppato da [Solutions](#) utilizzando il software commerciale GEDIP. Per effettuare l'upgrade all'ultima versione di GEDIP contatta direttamente [Solutions](#).

# Stima dei nutrienti

- La stima dell'introito di un nutriente a partire dagli alimenti può essere espressa come:

$$Q = \sum_{i=1}^n W_i \times n_i$$

dove  $Q$  è la quantità totale del nutriente,  $i$  gli alimenti investigati,  $W_i$  (weight) il peso dell'alimento investigato e  $n_i$  la quantità di nutriente presente nell'alimento investigato per unità di peso.

# Stima dei nutrienti

- La quantità totale è spesso riferita a un'unità di tempo che varia in funzione della metodica utilizzata.
- Ad esempio, per ottenere una stima dell'introito giornaliero di energia e nutrienti da una storia dietetica settimanale, si divide la quantità totale ottenuta per sette.

# Stima dei nutrienti

- *La metodica deve essere sufficientemente accurata per la stima dei nutrienti di interesse.*
- L'operatore deve essere esperto nell'impiego della metodica.
- I metodi retrospettivi richiedono una capacità di ricordo intatta.
- Tutti i metodi richiedono la collaborazione della persona.

# Stima dei nutrienti

- Gli alimenti riportati dalle tavole bromatologiche devono essere rappresentativi di quelli consumati dal paziente.
- La stima dell'introito di energia e nutrienti dovrebbe considerare l'effetto della manipolazione e della conservazione degli alimenti.

# Stima dei nutrienti

- La conversione degli alimenti in nutrienti richiede la disponibilità di una banca dati di alimenti a contenuto noto dei nutrienti di interesse.
- Se tali alimenti differiscono in maniera significativa da quelli consumati dalla persona, la stima dell'introito di energia e nutrienti non sarà valida.

# Stima dei nutrienti

- Il calcolo dell'introito di energia e nutrienti è effettuato per lo più utilizzando un software collegato a un database di composizione degli alimenti.
- Pertanto, è indispensabile conoscere le tavole bromatologiche utilizzate dal software e poter intervenire sul suo database aggiungendo o modificando alimenti.

# Stima dei nutrienti

- Le tavole di composizione degli alimenti più utilizzate in Italia sono quelle prodotte dall'Istituto Nazionale per la Ricerca sugli Alimenti e la Nutrizione (INRAN) e dall'Istituto Europeo di Oncologia (IEO).
- Altre tavole regionali possono essere utili in occasioni particolari.
- (Per un'informazione aggiornata consultare [www.giorgiobedogni.it/mavsn.html](http://www.giorgiobedogni.it/mavsn.html))

# **Valutazione del dispendio energetico**

# Dispendio energetico

- Il dispendio energetico totale (TEE, total energy expenditure) dell'adulto è la somma del dispendio energetico basale (BEE, basal energy expenditure), dell'effetto termico del cibo (TEF, thermic effect of food) e dell'energia spesa con l'attività (AEE, activity energy expenditure):

$$TEE = BEE + TEF + AEE$$

# Dispendio energetico

- In età pediatrica, l'energia spesa per l'accrescimento (GEE, growth energy expenditure) rappresenta una voce ulteriore della spesa energetica:

$$TEE = BEE + TEF + AEE + GEE$$

# Dispendio energetico

- Il dispendio energetico a riposo (REE, resting energy expenditure) è la somma del dispendio energetico basale e dell'effetto termico del cibo:

$$REE = BEE + TEF$$

# Dispendio energetico

	kcal / die	% TEE
BEE	1500	75
TEF	200	10
AEE	300	15
TEE	2000	100

Componenti della spesa energetica a un livello di attività pari al 15% del dispendio energetico globale.

Legenda: AEE (activity energy expenditure) = dispendio energetico associato all'attività; BEE (basal energy expenditure) = dispendio energetico basale; TEE (total energy expenditure) = dispendio energetico totale; TEF (thermic effect of food)= effetto termico del cibo.

# Misurazione del dispendio energetico

- Le tecniche di misurazione del dispendio energetico sono classificate come:
  - calorimetriche dirette
  - calorimetriche indirette
  - non calorimetriche

# Misurazione del dispendio energetico

- Le tecniche calorimetriche dirette misurano la produzione di calore e sono utilizzate solo raramente.
- Le tecniche calorimetriche indirette misurano il consumo di ossigeno e la produzione di anidride carbonica e sono le più utilizzate.
- Le tecniche non calorimetriche misurano variabili correlate al dispendio energetico e sono utilizzate per applicazioni particolari.

# Misurazione del dispendio energetico

- *È opportuno osservare che la misurazione del dispendio energetico è in realtà una stima basata su numerose assunzioni teoriche relative al metabolismo cellulare.*
- L'uso del termine “misurazione” è giustificato dal riferimento a una variabile dal significato funzionale nonché dalla necessità di distinguere questa stima da quella ottenuta con le equazioni predittive.

# Misurazione del dispendio energetico totale

- Il dispendio energetico totale può essere misurato utilizzando:
  - calorimetria diretta
  - camera respiratoria
  - acqua doppiamente marcata

# Calorimetria diretta

- La calorimetria diretta misura la quantità di calore prodotta dal corpo umano.
- Questa tecnica complessa e dal costo elevato è utilizzata soltanto da pochi centri specializzati.

# Camera respiratoria

- La camera respiratoria è una stanza attrezzata per la misurazione del consumo di ossigeno e della produzione di anidride carbonica per periodi di tempo  $\geq 24$  ore.
- Essa consente di misurare il dispendio energetico totale e le sue componenti ed è utilizzata pressoché esclusivamente a fini di ricerca.

# Acqua doppiamente marcata

- L'acqua doppiamente marcata ( $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$ , doubly labelled water o DLW) è così definita in quanto marcata con deuterio e ossigeno 18.
- La diluizione dell'acqua doppiamente marcata richiede la somministrazione di una quantità nota di DLW e la misurazione del deuterio e dell'ossigeno 18 nelle urine o nella saliva per 14-21 giorni consecutivi.

# Acqua doppiamente marcata

- Il deuterio entra a far parte del pool idrico mentre l'ossigeno 18 entra a far parte sia del pool idrico sia del pool dei bicarbonati.
- La misurazione dell'eliminazione differenziale di deuterio e ossigeno 18 consente pertanto una stima della produzione di anidride carbonica.

# Acqua doppiamente marcata

- Il valore di anidride carbonica è convertito nel consumo di ossigeno corrispondente utilizzando il quoziente respiratorio misurato con la calorimetria indiretta (che discuteremo tra breve).
- A differenza della camera respiratoria, l'acqua doppiamente marcata può essere utilizzata per misurare il dispendio energetico della persona nel suo ambiente naturale.

# Dispendio energetico basale

- Il dispendio energetico basale è definito come il valore minimo di spesa energetica compatibile con la vita.
- *Tale valore non è misurabile direttamente e viene operativamente approssimato alla quantità di energia consumata a digiuno e a riposo.*

# Dispendio energetico basale

	Uomo		Donna		Bambino di 6 mesi	
	kcal / die	% BEE	kcal / die	% BEE	kcal / die	% BEE
Fegato	353	21	281	21	55	14
Cervello	336	20	281	21	172	44
Cuore	151	9	107	8	16	4
Reni	134	8	121	9	23	6
Muscolo	370	22	214	16	23	6
Tessuto adiposo	67	4	80	6	8	2
Altro	269	16	255	19	94	24
<b>Totale</b>	<b>1680</b>	<b>100</b>	<b>1340</b>	<b>100</b>	<b>390</b>	<b>100</b>

Contributo degli organi al dispendio energetico a riposo.

I valori di dispendio energetico a riposo per l'uomo e la donna si riferiscono a soggetti di 30 anni con indice di massa corporea uguale a  $22.5 \text{ kg} / \text{m}^2$  e quelli per il bambino di 6 mesi a un maschio con peso di 7.5 kg e statura di 65 cm.

# **Dispendio energetico basale**

- Il fegato e il cervello contribuiscono al dispendio energetico basale dell'adulto in misura sovrapponibile al muscolo a riposo.
- Il tessuto adiposo contribuisce in maniera marginale al dispendio energetico basale.

# Dispendio energetico basale

- I soggetti obesi presentano un aumento del volume degli organi che determina un maggior dispendio energetico basale rispetto ai soggetti normopeso.
- Il dispendio energetico basale standardizzato sul volume degli organi - un parametro di efficienza metabolica che combina la calorimetria col modello tessutale e d'organo della composizione corporea - non differisce nei soggetti obesi rispetto a quelli normopeso.

# Misurazione del dispendio energetico basale

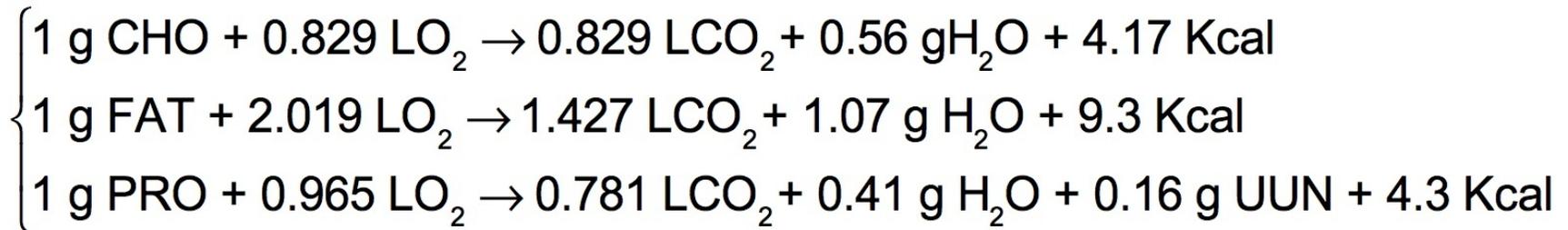
- La metodica di riferimento per la valutazione del dispendio energetico basale è la calorimetria indiretta.
- Essa stima il dispendio energetico a partire dal consumo di ossigeno, dalla produzione di anidride carbonica e dall'escrezione urinaria di azoto.

# Calorimetria indiretta

- La calorimetria indiretta assume che l'ossidazione dei macronutrienti in vivo avvenga come la loro combustione all'interno di un calorimetro.
- Tale assunzione è (ragionevolmente) accettabile per i carboidrati e i grassi ma non per le proteine.
- Il metabolismo proteico produce infatti urea e ciò rende necessario l'introduzione di un fattore di correzione basato sull'azoto ureico urinario.

# Calorimetria indiretta

- La combustione di 1 g di carboidrati (CHO), lipidi (FAT) e proteine (PRO) all'interno di un calorimetro utilizza ossigeno e produce anidride carbonica, acqua ed energia nelle seguenti proporzioni:



# Calorimetria indiretta

- L'energia totale prodotta dalla combustione è:

$$EE(Kcal) = 4.17 \times CHO(g) + 9.3 \times FAT(g) + 4.3 \times PRO(g)$$

# Calorimetria indiretta

- In base al rapporto 1:16 esistente tra l'azoto e le proteine, il dispendio energetico può essere espresso come:

$$EE(Kcal) = 3.581 \times VO_2(L) + 1.448 \times VCO_2(L) - 1.773 \times UUN(g)$$

# Calorimetria indiretta

- Se la persona è a riposo e a digiuno, la spesa energetica così misurata rappresenta il dispendio energetico basale.
- Se la persona è a riposo ma non a digiuno, la spesa energetica rappresenta il dispendio energetico a riposo.
- (La quantità di nutrienti impiegati dal soggetto nel corso della misurazione può essere calcolata sulla base di assunzioni relative alla composizione degli alimenti.)

# Calorimetria indiretta

- Il quoziente respiratorio (RQ, respiratory quotient) è il rapporto tra la quantità di anidride carbonica e la quantità di ossigeno:

$$RQ = VCO_2 / VO_2$$

# Calorimetria indiretta

- RQ offre un'indicazione dei substrati energetici utilizzati dal soggetto durante la misurazione.
- Il quoziente respiratorio dei carboidrati (1.000), dei lipidi (0.707) e delle proteine (0.809) può essere calcolato facilmente dall'equazione riportata in precedenza.
- *Il valore di riferimento del quoziente respiratorio (0.840) usualmente riportato dai test è semplicemente la media dei valori precedenti e non rappresenta un valore ideale.*

# Calorimetria indiretta

- Un RQ  $< 0.707$  può essere osservato in corso di gluconeogenesi e chetogenesi per la prevalenza delle molecole di ossigeno su quelle di anidride carbonica.
- Un RQ  $> 1.000$  può essere osservato in corso di lipogenesi (modelli sperimentali) per la prevalenza delle molecole di anidride carbonica su quelle di ossigeno.

# Calorimetria indiretta

- Se l'unico obiettivo della calorimetria indiretta è la stima del dispendio energetico, si può tralasciare la misurazione dell'escrezione urinaria di azoto.
- La stima del dispendio energetico ottenuta dal consumo di ossigeno e dalla produzione di anidride carbonica è infatti sovrapponibile a quella ottenuta da tutte e tre le variabili.
- *In molti casi è possibile tralasciare anche la produzione di anidride carbonica e ciò spiega l'ampio uso delle equazioni calorimetriche basate sul solo consumo di ossigeno.*

# Calorimetria indiretta

J. Physiol. (1949) 109, 1-9

612.015.33:511.21

NEW METHODS FOR CALCULATING METABOLIC RATE  
WITH SPECIAL REFERENCE TO PROTEIN METABOLISM

BY J. B. DE V. WEIR

*From the Institute of Physiology, University of Glasgow*

*(Received 15 May 1948)*

# Calorimetria indiretta

- Ambiente
  - Termoneutralità
  - Assenza di stimoli esterni

# Calorimetria indiretta

- Soggetto
  - A digiuno da 12 ore per la misurazione del dispendio energetico basale
  - Non a digiuno per la misurazione del dispendio energetico a riposo
  - (Prima ed) immediatamente dopo un pasto per la misurazione dell'effetto termico del cibo

# Calorimetria indiretta

- Soggetto
  - Evitamento di attività fisica pesante nei giorni precedenti la misurazione
  - Evitamento di attività fisica leggera nelle ore precedenti la misurazione
  - Evitamento del fumo di sigaretta nelle ore precedenti la misurazione
  - Evitamento di bevande contenenti caffeina nelle ore precedenti la misurazione
  - A riposo da almeno 10-20 minuti prima della misurazione

# Calorimetria indiretta

- Strumento
  - Misurazione di almeno 20 minuti con scartamento dei primi 5 minuti se si utilizza la canopy (tettuccio di plastica interposto tra il soggetto e il calorimetro)
  - *Misurazione di almeno 40 minuti con scartamento dei primi 5 minuti se si utilizza la maschera respiratoria*

# Effetto termico del cibo

- L'effetto termico del cibo è definito come la quantità di energia spesa per la digestione, l'assorbimento e l'utilizzazione dei nutrienti.
- Tale energia non è misurabile direttamente e viene operativamente approssimata all'incremento digestivo della spesa energetica rispetto al dispendio energetico basale.
- *L'effetto termico del cibo è anche noto come azione dinamico-specifica degli alimenti e termogenesi indotta dalla dieta ma l'utilizzo di questi termini è attualmente sconsigliato per necessità di standardizzazione terminologica.*

# **Effetto termico del cibo**

- L'effetto termico delle proteine (30%) è superiore a quello dei carboidrati (7%) e dei lipidi (3%).
- L'effetto termico del cibo è assunto mediamente uguale al 10% del dispendio energetico totale.
- Nonostante l'effetto termico del cibo sia noto da oltre un secolo, le sue basi biochimiche sono tuttora incerte.

# Effetto termico del cibo

- L'obesità sembra associarsi a una riduzione dell'effetto termico del cibo, anche se gli studi disponibili presentano numerosi limiti metodologici.
- *Quest'evidenza è interessante da un punto di vista fisiopatologico ma ha una ricaduta pratica limitata perché l'effetto termico del cibo rappresenta una quota poco rilevante del dispendio energetico totale.*
- L'effetto termico del cibo può essere misurato utilizzando la camera respiratoria o la calorimetria indiretta.

# Dispendio energetico associato all'attività

- Il dispendio energetico associato all'attività è definito come la spesa energetica della vita di relazione.
- Esso comprende il dispendio energetico associato all'esercizio fisico programmato (dispendio energetico associato all'attività fisica) e quello associato a ogni attività non comprendente il sonno, la digestione e l'esercizio fisico programmato (dispendio energetico da attività non fisica).
- *Le attività comprese nel dispendio energetico da attività non fisica sono potenzialmente illimitate ed è pertanto impossibile fornire una definizione operativa di questa quota energetica della vita di relazione.*

# Dispendio energetico associato all'attività

- Il dispendio energetico associato all'attività è ottenuto usualmente dalla differenza tra il dispendio energetico totale e la somma del dispendio energetico basale e dell'effetto termico del cibo:

$$AEE = TEE - (BEE + TEF)$$

# **Dispendio energetico associato all'attività**

- La misurazione del dispendio energetico associato all'attività può essere effettuata con la camera respiratoria o l'acqua doppiamente marcata.
- Quest'ultima tecnica presenta il vantaggio di poter essere utilizzata nell'ambiente naturale del soggetto.

# **Dispendio energetico associato all'attività**

- La calorimetria indiretta in corso di esercizio fisico rappresenta un'alternativa più pratica per la misurazione del dispendio energetico associato all'attività fisica.
- L'accuratezza di questa misurazione è inferiore a quella effettuata in condizioni di riposo ed è richiesta una particolare competenza per l'impiego dei calorimetri indiretti portatili.

# Stima del dispendio energetico

- La stima del dispendio energetico comporta l'impiego di un'equazione predittiva (con tutti i limiti inerenti).
- *La stima del dispendio energetico è assai rilevante da un punto di vista funzionale perché rappresenta l'attuale metodo di riferimento per la valutazione del fabbisogno energetico dell'adulto.*

# **Stima del dispendio energetico**

- La stima del dispendio energetico totale inizia con la stima del dispendio energetico basale a partire da sesso, età e peso.
- Il valore di dispendio energetico così ottenuto viene quindi corretto per il livello di attività fisica e per l'effetto termico del cibo.

# Stima del dispendio energetico

- Le equazioni per la stima del dispendio energetico basale consigliate dall'Organizzazione Mondiale della Sanità e dalla maggioranza delle società scientifiche sono le cosiddette “equazioni di Schofield”.
- Tali equazioni sono state sviluppate su un campione di 7173 soggetti provenienti da 114 studi.
- Il 47% dei soggetti era di nazionalità italiana (anche se le misurazioni risalgono alla prima metà del secolo scorso).

# Stima del dispendio energetico

- L'errore delle equazioni di Schofield a livello di popolazione è di circa il 10%.
- Sono state identificate diverse popolazioni in cui le equazioni di Schofield sottostimano o sovrastimano il dispendio energetico basale.
- *Ciononostante, esse rappresentano la miglior opzione attualmente disponibile per l'uso generale.*

# Equazioni di Schofield

Età (anni)	Maschi		Femmine	
	$a_0$	$a_1$	$a_0$	$a_1$
<3	-30.4	59.512	-31.1	58.317
3 - 9	504.3	22.706	485.9	20.315
10 - 18	658.2	17.686	692.6	13.384
19 - 30	692.2	15.057	486.6	14.818
31 - 60	873.1	11.472	845.6	8.126

$$BEE = a_0 + a_1 \times \text{Peso}(kg)$$

Stima del dispendio energetico basale dall'età e dal peso con le equazioni di Schofield.

Legenda: BEE = dispendio energetico basale.

# Equazioni SINU

- La Società Italiana di Nutrizione Umana (SINU) ha modificato le equazioni di Schofield includendo un gruppo di soggetti di età superiore a 65 anni.

# Equazioni SINU

Età (anni)	Maschi		Femmine	
	$a_0$	$a_1$	$a_0$	$a_1$
<3	-31	59.5	-31	58.3
3 - 9	504	22.7	485	20.3
10 - 17	650	17.7	693	13.4
18 - 29	679	15.3	496	14.7
30 - 59	879	11.6	829	8.7
60 - 74	700	11.9	688	9.2
≥ 75	819	8.4	624	9.8

$$BEE = a_0 + a_1 \times \text{Peso}(kg)$$

Stima del dispendio energetico basale dall'età e dal peso con le equazioni di Schofield adattate dalla Società Italiana di Nutrizione Umana.

Legenda: BEE = dispendio energetico basale.

# Equazioni SINU

- La SINU fornisce inoltre equazioni predittive basate su età, peso e statura per la stima del dispendio energetico basale in età pediatrica.
- Tali equazioni sono leggermente più accurate di quelle basate sul peso.

# Equazioni SINU

Età (anni)	Maschi			Femmine		
	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_0$	$a_1$	$a_2$
<3	616	0.167	1517	413	16.24	1022
3-9	416	19.59	131	370	16.96	162
10-17	516	16.2	136	201	8.36	466

$$BEE = a_0 + a_1 \times \text{Peso}(kg) + a_2 \times \text{Statura}(m)$$

Stima del dispendio energetico basale dall'età, dal peso e dalla statura in età pediatrica con le equazioni della Società Italiana di Nutrizione Umana.

# **Dispendio energetico totale**

- Una volta ottenuto il dispendio energetico basale, si calcola la spesa energetica dovuta all'attività fisica.
- Il livello di attività fisica (PAL, physical activity level) è un coefficiente che moltiplica il dispendio energetico basale per ottenere il dispendio energetico totale (non corretto per l'effetto termico del cibo).

# Livello di attività fisica

	Uomini			Donne		
	Leggera	Moderata	Pesante	Leggera	Moderata	Pesante
18-59	1.55	1.78	2.10	1.56	1.64	1.82
60-74		1.51			1.56	
≥ 75		1.51			1.56	

Valori del livello di attività fisica (PAL) per la stima del dispendio energetico totale (SINU).

I valori includono l'attività fisica auspicabile.

# Livello di attività fisica

	Uomini			Donne		
	Leggera	Moderata	Pesante	Leggera	Moderata	Pesante
18-59	1.41	1.70	2.01	1.42	1.56	1.73
60-74		1.40			1.44	
≥ 75		1.33			1.37	

Valori del livello di attività fisica (PAL) per la stima del dispendio energetico totale (SINU).

I valori non includono l'attività fisica auspicabile.

# Livello di attività fisica

Leggero	Moderato	Moderato-pesante	Pesante
Casalinghe Impiegati Personale amministrativo o dirigente Liberi professionisti Tecnici	Collaboratori domestici Personale di vendita Lavoratori del terziario	Lavoratori in agricoltura, allevamento, silvicoltura e pesca Manovali Operatori di produzione e di attrezzature di trasporto	Mansioni come nel gruppo moderato-pesante ma in condizione di scarsa meccanizzazione

Classificazione dell'attività lavorativa per il calcolo del dispendio energetico (SINU).

# Esempio

- Calcolo del dispendio energetico totale utilizzando le equazioni di Schofield modificate dalla Società Italiana di Nutrizione Umana.

## Esempio

- Ci proponiamo di stimare il dispendio energetico totale di un uomo sedentario di 50 anni che pesa 76 kg ed è alto 1.75 m:

$$\text{BEE (kcal / die)} = 879 + 11.6 \times 76 = 1760$$

$$\text{TEE (non corretto per TEF) (kcal / die)} = 1760 \times 1.55 = 2728$$

$$\text{TEE corretto per TEF (kcal / die)} = 2728 \times 1.10 = 3000$$

## Esempio

- Valutiamo la plausibilità della stima utilizzando i risultati della valutazione delle abitudini alimentari e della valutazione antropometrica.
- L'uomo ha un BMI di  $24.8 \text{ kg / m}^2$  e un introito energetico di  $2200 \text{ Kcal / die}$  stimato dalla storia dietetica. Inoltre, il peso è aumentato di  $2 \text{ kg}$  negli ultimi 3 mesi!
- Ciò suggerisce un bilancio energetico positivo e una sovrastima del fabbisogno energetico.

## Esempio

- *La stima del dispendio energetico totale non può prescindere da una valutazione critica della sua plausibilità come dimostra chiaramente l'esempio.*
- Come si ricorderà, una delle funzioni principali della storia dietetica (e della valutazione antropometrica) è controllare la plausibilità della stima del dispendio energetico.

# Dispendio energetico totale

- La stima del dispendio energetico totale è più accurata se si utilizza un diario (singolo o ripetuto) dell'attività fisica giornaliera,

$$TEE(kcal / die) = \sum_{i=1}^n BEE \times PAL_i$$

dove TEE è il dispendio energetico totale,  $i$  il periodo di tempo, BEE il dispendio energetico basale e  $PAL_i$  il livello di attività fisica corrispondente al periodo di tempo investigato (15 - 30 minuti).

# **Dispendio energetico totale**

- In linea teorica, la stima del dispendio energetico dalla massa magra dovrebbe essere più accurata di quella ottenuta dal peso.
- L'evidenza disponibile non dimostra però alcun vantaggio pratico, in parte per l'indisponibilità di metodi per la misurazione della massa magra al di fuori dei laboratori di ricerca.

# Stima del dispendio energetico totale

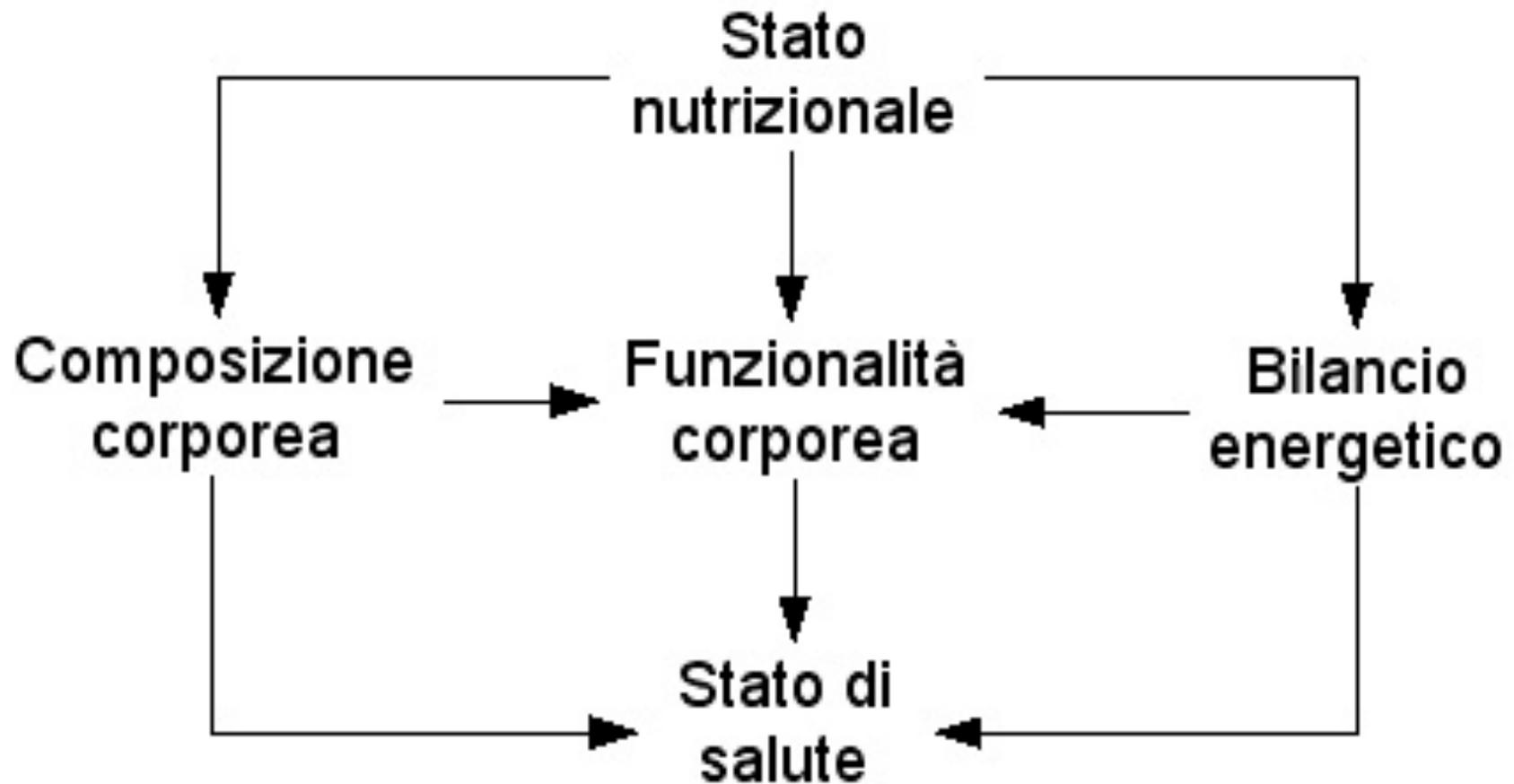
- *Stimare la massa magra per poi stimare il dispendio energetico basale dalla massa magra introduce un errore in più rispetto alla stima dal peso e dall'età e pertanto non è un'opzione ragionevole ed è dimostratamente inferiore alla stima dal peso e dall'età.*

# **VALUTAZIONE DELLA FUNZIONALITÀ CORPOREA**

# Funzionalità corporea

- “Funzionalità corporea” è il termine generico utilizzato per indicare l’insieme delle funzioni svolte dal corpo umano.
- Il mantenimento della funzionalità corporea richiede il rinnovamento della massa corporea e la disponibilità di energia e ciò rende ragione della definizione operativa di stato nutrizionale.

# La definizione operativa



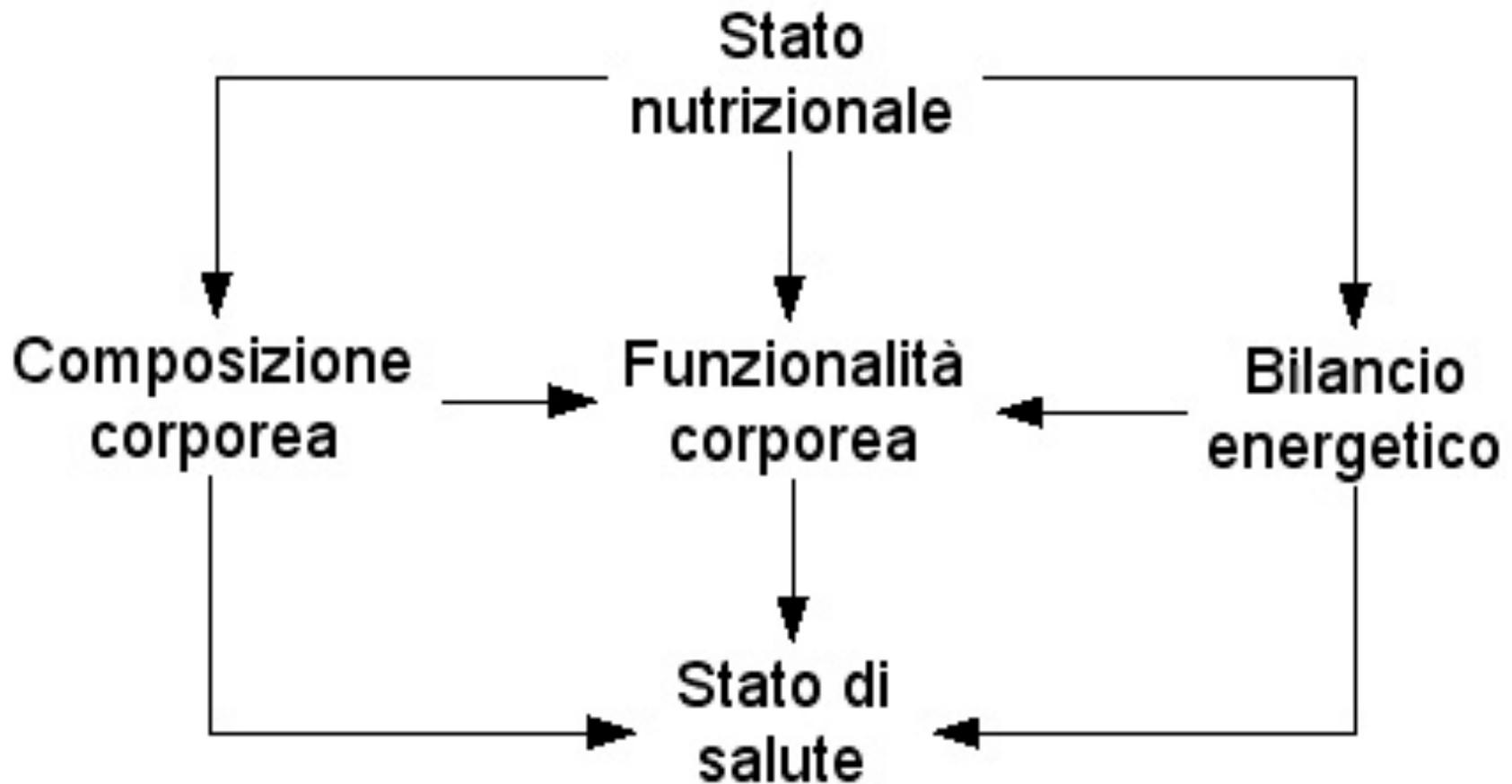
# Funzionalità corporea

- La funzionalità corporea occupa la posizione centrale della definizione operativa perché mette in relazione lo stato nutrizionale con lo stato di salute (e viceversa).
- *Per quanto sia didatticamente e metodologicamente utile considerare la funzionalità corporea come dipendente dalla composizione corporea e dal bilancio energetico, deve essere chiaro che essa è una categoria autonoma dello stato nutrizionale.*

# Funzionalità corporea

- Modificazioni rilevanti della funzionalità corporea possono infatti aver luogo senza alterazioni evidenti della composizione corporea e del bilancio energetico.
- Questa evidenza è esemplificata dalla freccia che procede dai nutrienti allo stato nutrizionale attraverso la funzionalità corporea senza la mediazione della composizione corporea e del bilancio energetico.

# La definizione operativa



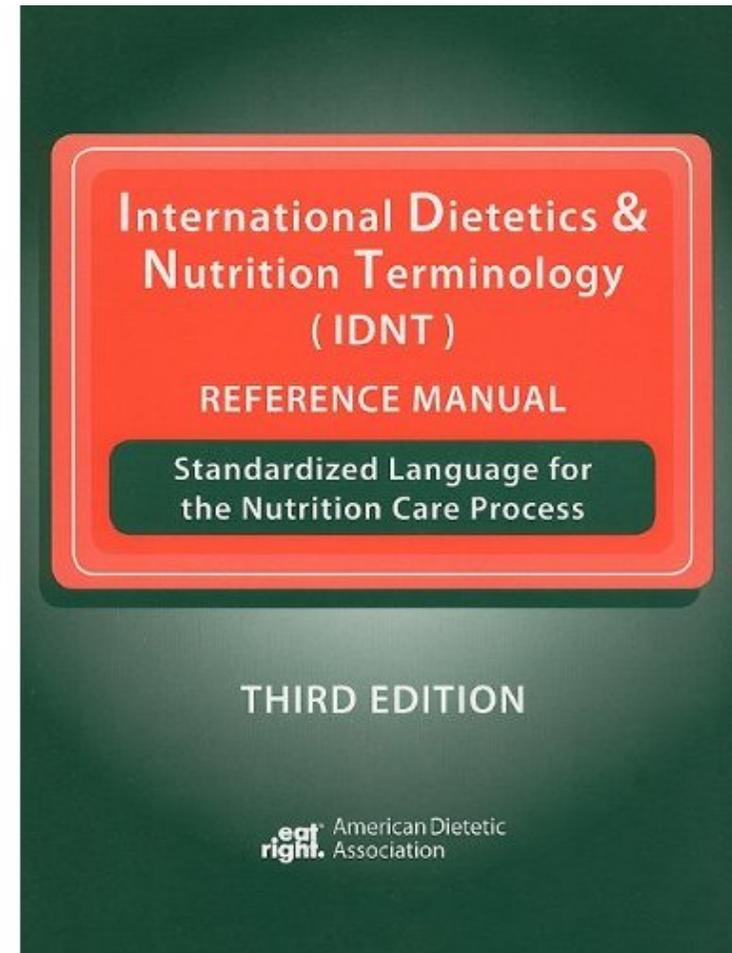
# Funzionalità corporea

- La valutazione della funzionalità corporea comprende l'esame clinico e gli esami di laboratorio (oltre alla valutazione funzionale della composizione corporea e del bilancio energetico).
- L'esame clinico non differisce da una comune valutazione internistica se non per il fatto di considerare in maggior dettaglio informazioni, sintomi e segni che consentono d'inquadrare più a fondo lo stato nutrizionale della persona.

# Funzionalità corporea

- Gli esami di laboratorio dello stato nutrizionale consistono nel dosaggio di un nutriente o nella valutazione di una funzione correlata al nutriente stesso su uno o più materiali biologici (sangue, urine, feci o tessuti).
- Gli esami del primo tipo sono definiti statici o biochimici e quelli del secondo tipo dinamici o funzionali.

# Per approfondire



**Grazie**