

I primi studi sulla composizione del corpo umano risalgono alla metà del XIX secolo.

Justus von Liebig dimostrò che il corpo umano contiene molte delle sostanze presenti negli alimenti.

Le implicazioni di questa scoperta furono immediatamente evidenti anche ad un filosofo come Ludwig Feuerbach che disse:

“l’uomo è ciò che mangia”



Cenni sulla composizione corporea

La conoscenza della composizione chimica del corpo umano permette di:

- valutare le modificazioni che si realizzano nell'organismo in relazione al sesso, all'età e alle varie condizioni fisiologiche e patologiche;
- determinare con precisione i bisogni di energia e dei vari principi nutritivi.

COMPOSIZIONE CHIMICA ELEMENTARE DELL'ORGANISMO (MEDIO) UMANO

Simb.	g	%	Simb.	g	%	Simb.	g	%	Tot	%
C	12.59	18.7	Ca	1.70	2.5	P	0.680	1.0		
H	6.58	9.8	K	0.070	0.1	Cl	0.115	0.2		
O	43.55	64.7	Na	0.070	0.1	S	0.100	0.15		
N	1.82	2.7	Mg	0.042	0.06					
			Fe	0.007	0.01					
Tot	64.54	95.5		1.89	2.77		0.895	1.35	67.32	100

- L' IDROGENO e l' OSSIGENO sono rappresentati, per la maggior parte, sotto forma di ACQUA (72% dell'intera massa)
- Il CARBONIO insieme all' IDROGENO e all' OSSIGENO, costituisce la massa LIPIDICA e GLUCIDICA dell'organismo (10% circa)
- Il CARBONIO, in combinazione con l' IDROGENO, l' OSSIGENO e l' AZOTO, costituisce la massa PROTEICA (18% circa)

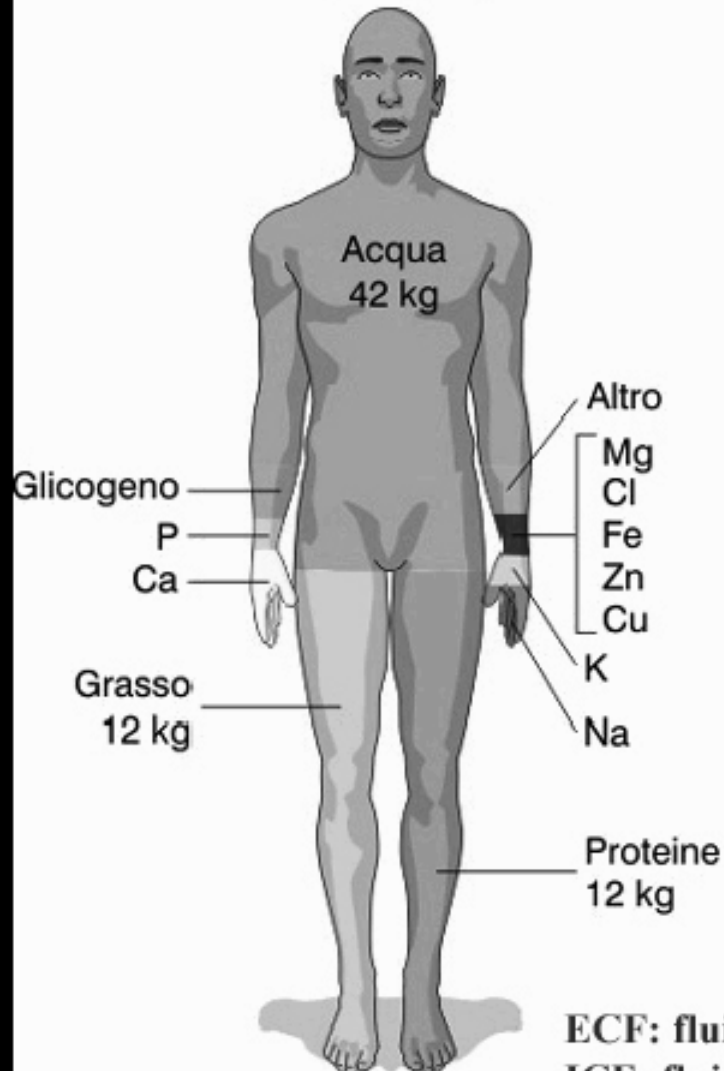
- Fra gli ioni, il CALCIO ed il FOSFORO, oltre che nel **sangue**, sono ampiamente rappresentati nelle **ossa e nei denti**; il CLORO ed il SODIO in alcuni liquidi (sudore, latte, urine); il FERRO, nel **sangue e muscoli**

ALTRI ELEMENTI, ANCHE SE COSTITUISCONO, NEL COMPLESSO, UNA MASSA DI POCHI GRAMMI, SONO DEI COMPONENTI SPECIFICI DI ALCUNE SOSTANZE:

litio, rubidio, cromo, molibdeno, nichelio, rame, zinco, boro, alluminio, fluoro, selenio, bromo, iodio, titanio, stronzio

Composizione corporea

Uomo 70 kg



Livello V - Corporeo totale

Livello IV - Tissutale

Tessuto adiposo, sangue, osso, muscolo scheletrico, altro

Livello III - Cellulare

Lipidi, ECF, ECS, massa cellulare (BCM = ICF + ICS)

Livello II - Molecolare

Lipidi, proteine, acqua, altro

Livello I - Atomico

Carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto, sodio, potassio

Funzioni dell'acqua:

Plastica.

Veicolante.

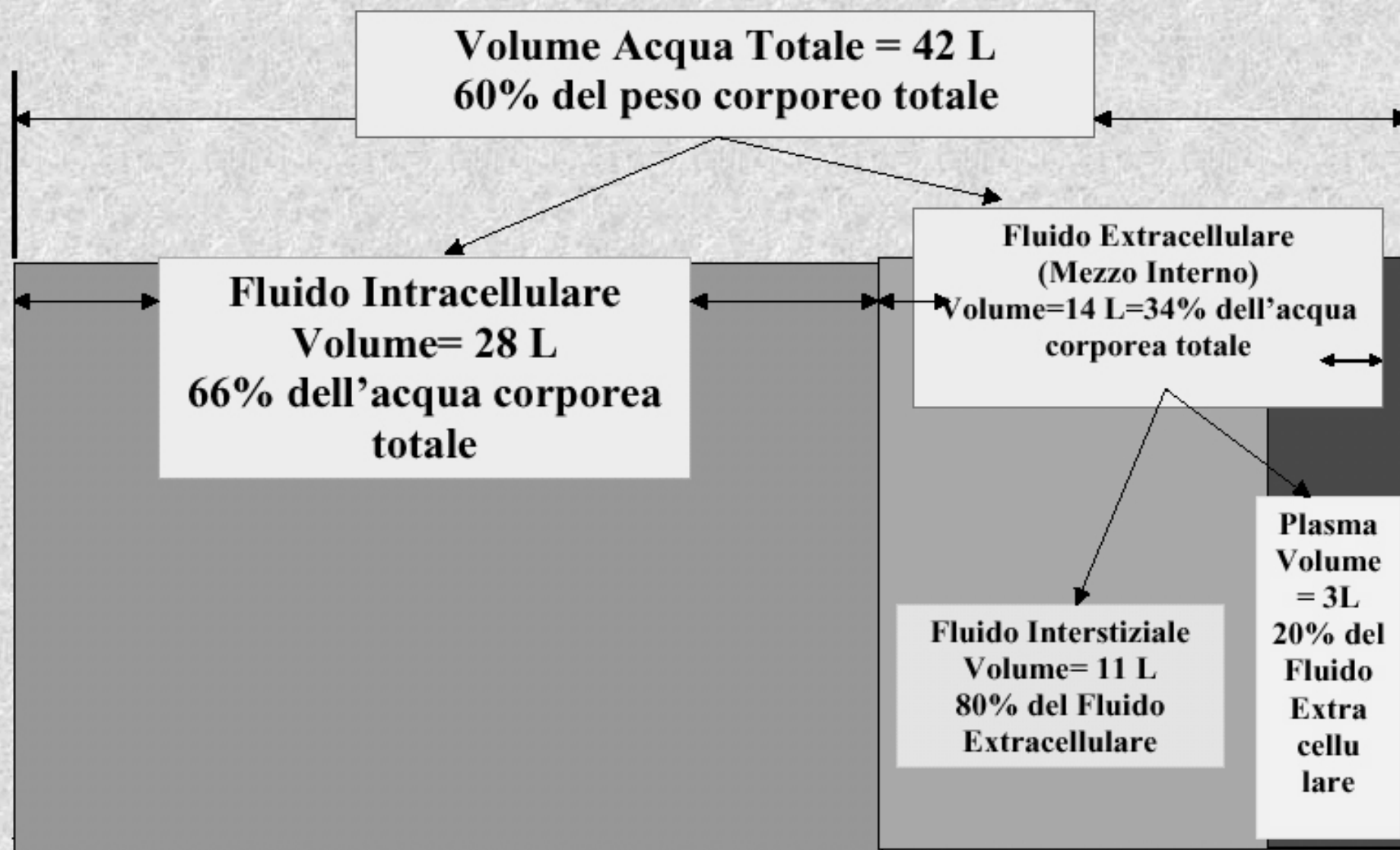
Secretiva.

Omeostatica

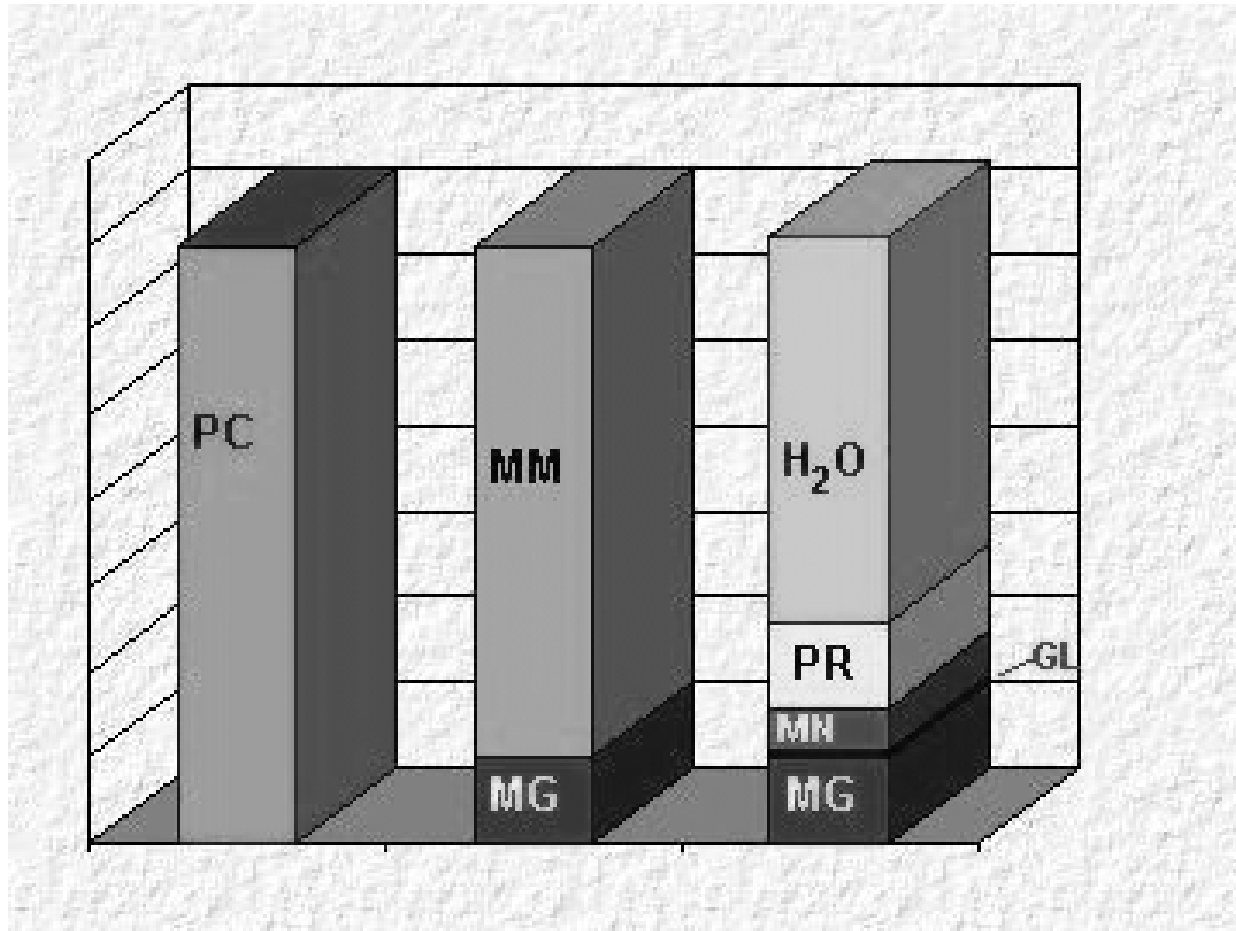
ECF: fluidi extracellulari; ECS: Componente solida extracellulare;
ICF: fluidi intracellulari; ICS: Componente solida intracellulare;
BCM: Massa cellulare corporea.

Compartimenti fluidi del corpo

I volumi sotto indicati sono relativi ad un uomo adulto di normale composizione corporea e del peso di 70 Kg. (N.B.=il fluido intracellulare varia dal 45% al 75 % dell'acqua corporea totale al variare del rapporto massa magra/massa grassa)



PESO CORPOREO



PC: Peso corporeo

MM: massa magra

MG: massa grassa

H₂O: acqua

PR: massa proteica

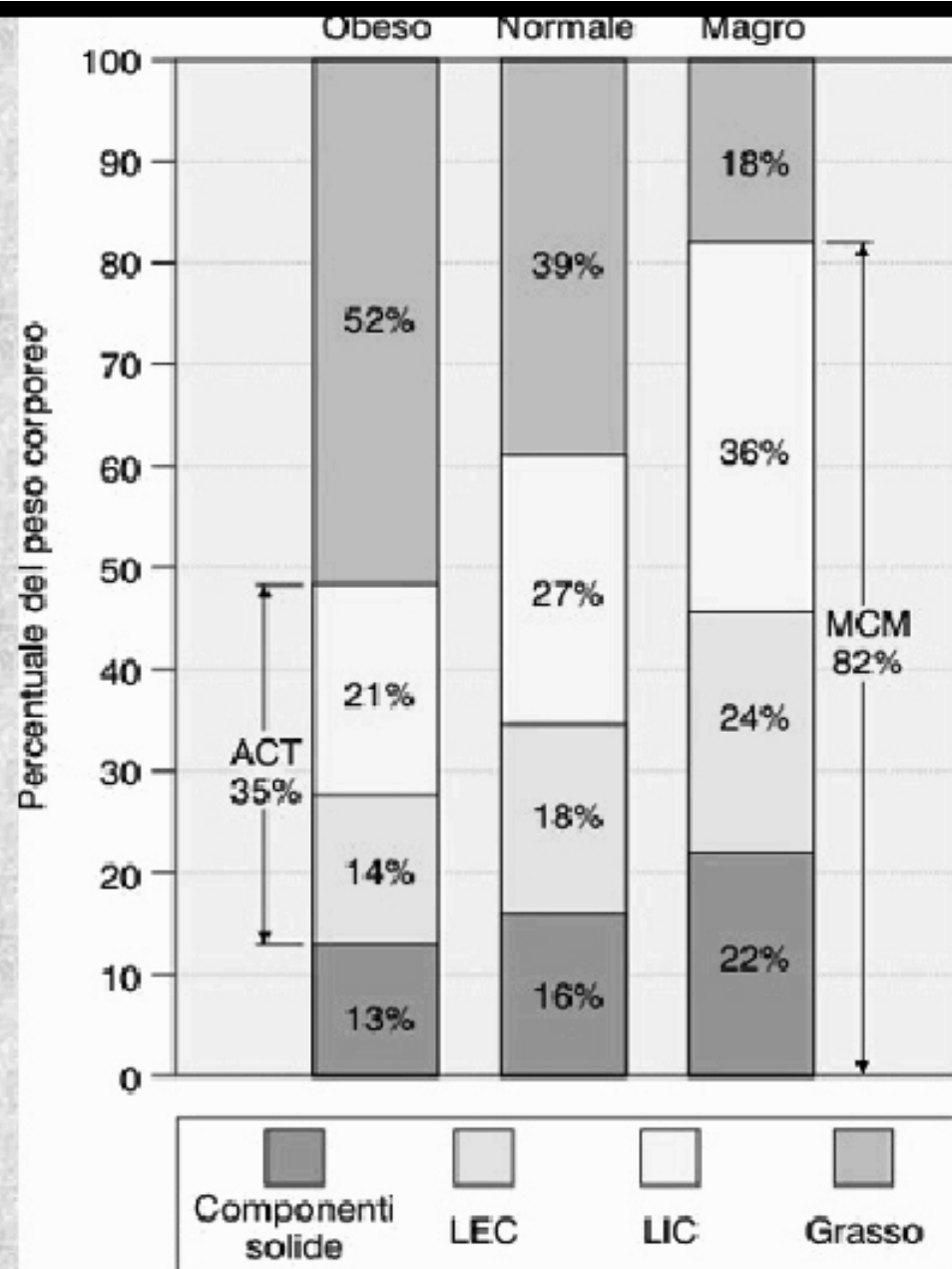
MN: minerali

GL: glicogeno

Composizione corporea e compartimenti fluidi

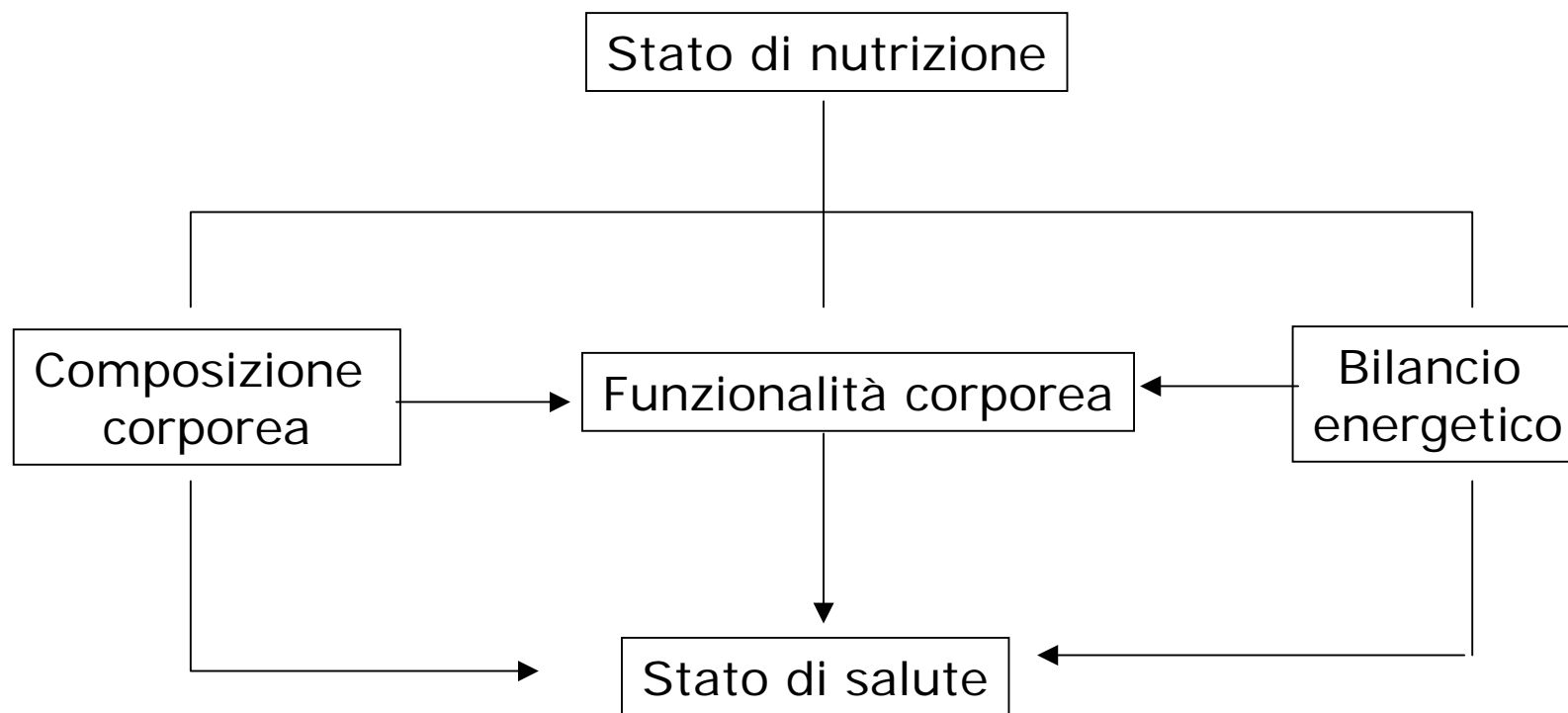
Le percentuali di acqua (73%) e componenti solide (27%) sono costanti escludendo il grasso

- **ACT** = Acqua corporea totale
- **LEC** = Acqua extracellulare
- **LIC** = Acqua intracellulare
- **MCM** = Massa corporea magra



copyright edi.ermes milano

Relazione tra composizione corporea, stato di nutrizione e stato di salute



La composizione corporea è una delle tre variabili che definiscono lo stato di nutrizione.

In particolare, la composizione corporea è un indicatore a lungo termine dello stato di nutrizione perché riflette la disponibilità pregressa di nutrienti.

Al contrario il bilancio energetico, ovvero la differenza tra la quantità di energia introdotta e quella consumata dall'organismo, è responsabile delle modificazioni a breve termine dello stato di nutrizione.

Poiché la funzionalità dell'organismo condiziona a sua volta lo stato di salute esiste una chiara relazione tra composizione corporea e stato di salute

Determinazione della composizione corporea: modello compartimentale

L'organismo in toto è composto da apparati, organi, tessuti, cellule, molecole....

Esistono diversi metodi per esplorare la sua composizione, a seconda appunto del grado di dettaglio che si vuole ottenere...

Nel 1906 Adolph Magnus-Levy introdusse la distinzione tra tessuti “grassi” e “non grassi” nell’animale da esperimento.

Estesa all’uomo permise di definire il peso corporeo (BW, body weight) come sommatoria di una massa “grassia” (FM, fat mass) ed una massa “priva di grassi” o “magra” (FFM, fat-free mass)

$$\mathbf{BW = FM + FFM}$$

Modello bicompartimentale

- **$BW = FM + FFM$**

BW = Body Weight

FM = Fat Mass

FFM = Fat Free Mass

- **Nell'uomo di riferimento:**

FM è 15% di BW

FFM è 85% di BW

Tecniche che consentono di distinguere tra FM e FFM *in vivo*

1. DENSITOMETRIA

2. IDROMETRIA

3. MISURAZIONE DEL POTASSIO-40 (^{40}K)

Densitometria

Dal 1942, Albert Behnke propose una metodica per calcolare la FM dalla densità corporea

- La **densitometria corporea** consente la stima di FM e FFM a partire dalla densità corporea.
- La densità corporea viene per lo più misurata con la tecnica della pesata idrostatica, che applica il "principio di Archimede".
- Il soggetto viene pesato in aria e quindi in acqua per calcolarne la densità corporea.
- Supponendo la costanza della densità di FFM (1.1 kg/l) e FM (0.9 kg/l), è possibile ricavare FFM e FM dalla densità corporea

DENSITOMETRIA

La densità corporea (D_b) è il rapporto tra la massa (BM, body mass) ed il volume corporeo (BV, body volume):

$$D_b = \frac{BM}{BV}$$

Mentre BM può essere facilmente valutata attraverso la misurazione di BW (peso corporeo), la determinazione di BV è più complicata.

Ponendo che il peso corporeo è dato dalla somma di FM e FFM e assumendo che le loro densità siano costanti si può scrivere il seguente sistema di equazioni:

$$\left\{ \begin{array}{l} BW = FM + FFM \\ BV = \frac{FM}{D_{FM}} + \frac{FFM}{D_{FFM}} \end{array} \right.$$

Dove D_{FM} e D_{FFM} rappresentano rispettivamente la densità della FM e della FFM

Dai risultati ottenuti dallo studio di cadaveri adulti, si stabilì che la FM ha una densità di 0.9007Kg/L e la FFM di 1.100 Kg/L quest'ultima calcolata sulla base dei valori di densità delle sue componenti acquosa, proteica e minerale

DENSITA' DELLA MASSA MAGRA E DELLE SUE COMPONENTI NELL'UOMO DI RIFERIMENTO

	Densità a 36°C (Kg/L)
Acqua	0.99371
Proteine	1.34
Minerali	3.038
ossei	2.982
extraossei	3.317
Glicogeno	1.52
FFM	1.10

Da: Brozek et al. , 1963 e Wang et al., 1992

Quindi il sistema di equazioni può essere così riscritto:

$$BW = FM + FFM$$

$$BV = \frac{FM}{0.9007} + \frac{FFM}{1.100}$$

Risolvendo il sistema per FM e FFM si ottiene:

$$FM \text{ (Kg)} = 4.971 \times BV \text{ (L)} - 4.519 \times BW \text{ (Kg)}$$

$$FFM \text{ (Kg)} = 5.519 \times BW \text{ (Kg)} - 4.971 \times BV \text{ (L)}$$

A questo punto vi è la necessità di una metodica che consenta la determinazione di D_b *in vivo*.

Il principio di Archimede stabilisce che *il volume di un corpo immerso in un liquido è uguale al peso del liquido spostato*.



La pesata idrostatica è stata per molti anni, ed ancora in parte lo è, la metodologia di riferimento, il "Gold Standard" delle tecniche di misurazione della composizione corporea. Pesando l'atleta immerso in acqua, grazie al principio di Archimede si può calcolare la densità corporea e quindi le percentuali di massa grassa e magra.

La procedura classica è abbastanza lunga e relativamente complessa: richiede immersione completa, il calcolo del volume polmonare residuo e può essere influenzata dal contenuto gassoso intestinale e dal fatto che si considera costante la densità ossea, fatto non sempre vero. Tale metodica quindi, pur con un errore della stima della percentuale del grasso corporeo estremamente basso (circa 1-1.5%), è utilizzata soprattutto a fini di ricerca e non è applicabile alla rapida e semplice valutazione di grandi popolazioni di atleti.

Pertanto il volume corporeo può essere calcolato dall'equazione:

$$BV = \frac{BW_a - BW_w}{D_w}$$

Dove BW_a e BW_w rappresentano il peso corporeo in aria (air) e acqua (w) rispettivamente e D_w è la densità dell'acqua.

IDROMETRIA

Nel 1934 George von Hevesy ottenne una stima dell'acqua totale corporea (TBW, total body water) dalla diluizione dell'ossido di deuterio ($^2\text{H}_2\text{O}$).

Il principio utilizzato dall'idrometria, detto di diluizione, si fonda sulla definizione di concentrazione (C):

$$C = \frac{Q}{V}$$

Quindi:

$$V = \frac{Q}{C}$$

-
- L'acqua totale corporea (TBW, total body water) può essere misurata utilizzando appositi indicatori, come l'ossido di deuterio ($2 \text{ H}_2\text{O}$) o di trizio ($3 \text{ H}_2\text{O}$).
 - Supponendo costante l'idratazione della FFM (0.73), è possibile calcolare quest'ultima dalla TBW.

Disponendo di un indicatore che si distribuisca in un volume di nostro interesse, quest'ultimo potrà essere stimato dalla quantità di indicatore somministrata e dalla concentrazione di indicatore all'equilibrio.

Essendo richiesto un certo periodo di tempo affinché l'indicatore raggiunga l'equilibrio, è necessario che esso non venga eliminato o metabolizzato dall'organismo.

Per la concentrazione C_2 all'equilibrio avremo:

$$C_2 = \frac{Q_2}{V_2} \longrightarrow V_2 = \frac{Q_2}{C_2}$$

V_2 = volume di distribuzione

Q_2 = quantità di indicatore all'equilibrio

Poiché Q_2 è uguale alla quantità somministrata Q e $Q = C \times V$, possiamo scrivere

$$V_2 = \frac{C_1 V_1}{C_2}$$

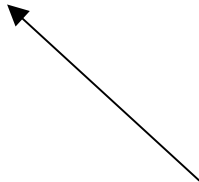
Che corrisponde al volume di nostro interesse

La misurazione della TWB viene solitamente effettuata utilizzando acqua marcata con gli isotopi dell'idrogeno (^1H), deuterio (^2H) e trizio (^3H).

L'uso dell'ossido di deuterio ($^2\text{H}_2\text{O}$) è da preferirsi a quello dell'ossido di trizio perché mentre il deuterio è un isotopo stabile il trizio è un isotopo radioattivo β -emittente

L'ossido di deuterio viene dosato nei liquidi biologici (urine, plasma, saliva) con metodo spettrometrico. La TBW viene calcolata dallo spazio di diluizione (ds, dilution space) utilizzando la seguente formula:

$$\text{TBW} = {}^2\text{H}_2\text{O-ds} \times 0.95$$



(fattore di correzione; cioè si stima che il volume dell'acqua corporea totale corrisponda al 95% dei volumi di diluizione dell'acqua deuterata)

Da studi condotti su cadaveri deriva che la quantità di acqua totale (TBW) contenuta nella FFM è costante, è possibile calcolare quest'ultima dalla relazione:

$$0,732 = \frac{TBW}{FFM}$$

$$FFM = TBW \times 1.37$$

E la FM si ottiene dalla differenza

$$FM = BW - FFM$$

MISURAZIONE DEL POTASSIO-40

Nel 1951, Rudolph Sievert dimostro che il ^{40}K è contenuto nel corpo umano in quantità sufficiente per poter essere misurato con un γ -counter.

È stato stabilito che esiste un rapporto costante tra il potassio totale (TBK, total body potassium) ed il ^{40}K corporeo

$$\frac{TBK}{^{40}\text{K}} = 0.000118$$

Sulla base di alcuni studi è stato ricavato che la quantità totale di K contenuta nella FFM è costante ed è pari a 68.1 mmol/kg (Forbes, 1987; Wang et al., 1992). Pertanto:

$$68,1 = \frac{TBK}{FFM}$$

Il TBK si può misurare con un contatore di radioattività

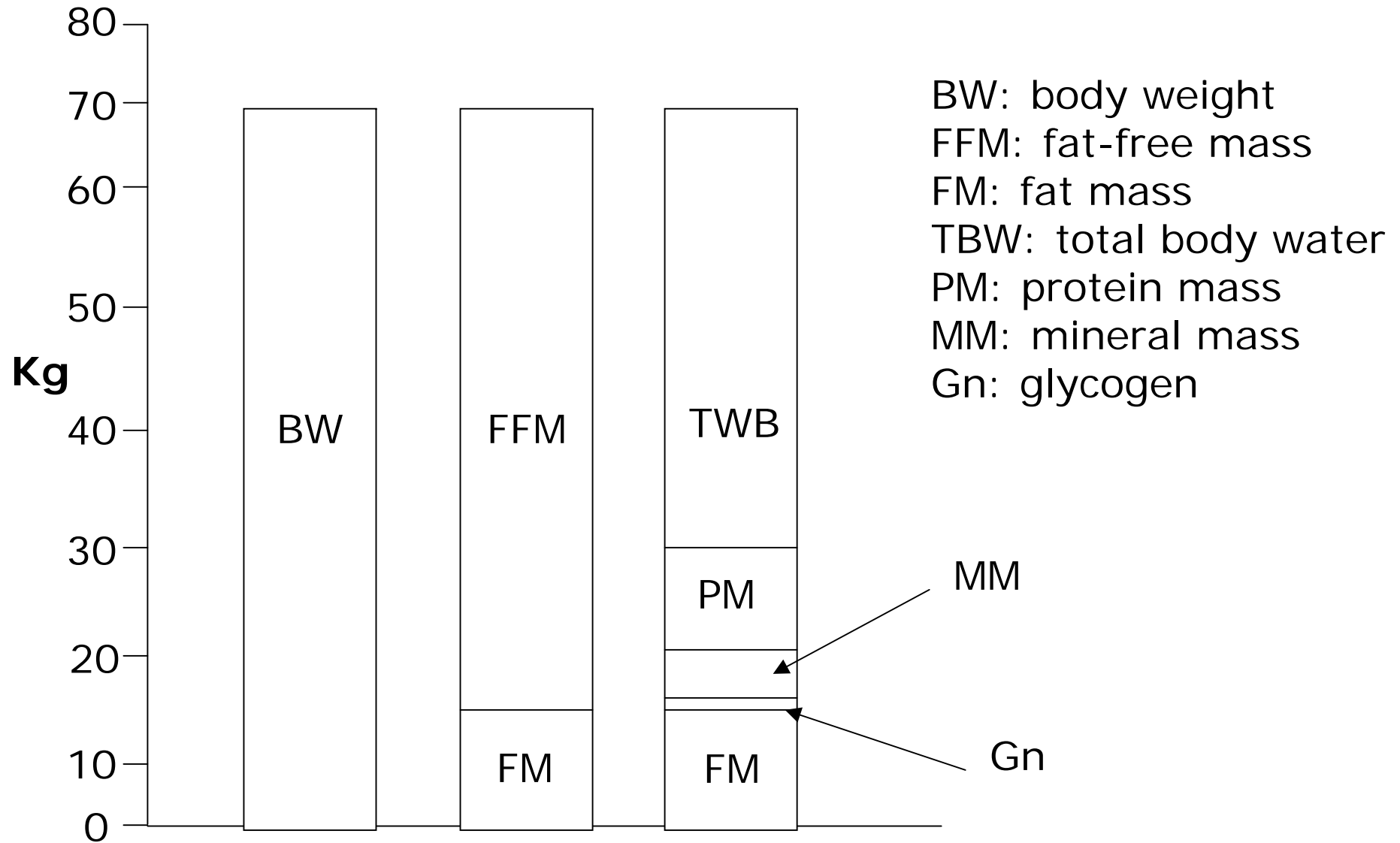
Pertanto si può scrivere:

$$FFM (Kg) = TBK (Kg) \times 376$$

La FM si può quindi calcolare sottraendo la FFM a BW dall'equazione:

$$FM = BW - FFM$$

Nell'uomo di riferimento, FFM e FM rappresentano rispettivamente l'85% ed il 15% di BW (70Kg)



Da: Bedogni et al. 1996

La stima della FFM o della FM da un modello bicompartimentale presuppone la costanza di una caratteristica della massa magra: FFMH, D_{FFM} o FFMK.

La crescita, l'invecchiamento e lo stato di malattia modificano la composizione della FFM, cosicché i valori di FFMH (0.73), D_{FFM} (1.1 Kg/L) e FFMK (68.1 mmol/Kg) ricavati dall'analisi dei cadaveri adulti non possono essere utilizzati per studiare la composizione corporea di bambini, anziani e ammalati.

Tabella 1.3 - Equazioni predittive della percentuale di grasso corporeo a partire dalle pliche cutanee

Maschi (18-26 anni) Densità corporea (DC) =
 $= 1.1043 - [0.001327 \times \text{plica coscia (mm)}] - [0.00131 \times \text{plica sottoscapolare (mm)}]$

Femmine (17-25 anni) Densità corporea (DC) =
 $= 1.0764 - [0.00081 \times \text{plica soprailiaca* (mm)}] - [0.00088 \times \text{plica tricipitale (mm)}]$

* misurata in verticale sulla linea media ascellare

Per il calcolo della percentuale di grasso, si usa successivamente l'equazione di Brozek

$$\% \text{ grasso} = \left(\frac{4.51}{\text{DC}} - 4.142 \right) \times 100$$

In alternativa, può essere utilizzata l'equazione di Lohman

Densità Corporea (DC) = $1.0982 - [0.000815 \times \Sigma (\text{plica tricipitale} + \text{sottoscapolare} + \text{addominale}) + 0.00000084 \times \Sigma (\text{plica tricipitale} + \text{sottoscapolare} + \text{addominale})^2]$

Per il calcolo della percentuale di grasso, si usa successivamente l'equazione di Siri

$$\% \text{ grasso} = \left(\frac{4.95}{\text{DC}} - 4.5 \right) \times 100$$

Da questi dati possiamo calcolare il peso desiderato e/o il peso minimo possibile per quel determinato soggetto secondo la seguente procedura:

**Tabella 1.4 - Calcolo del Peso Corporeo Ideale
dalla Percentuale di Grasso Corporeo**

Peso Grasso Corporeo (Kg) = Peso Corporeo (Kg) × Percentuale Massa Grassa

Peso Massa Magra (Kg) = Peso Corporeo (Kg) – Peso Grasso Corporeo (Kg)

Peso desiderabile (Kg) =
$$\frac{\text{Peso Massa Magra (Kg)}}{100 - \% \text{ Massa Grassa desiderata}} \times 100$$

Tabella 1.9 - Equazioni per il calcolo della massa muscolare

$$\text{MM} = \text{Ht} (0.00744 \times \text{CBC}^2 + 0.00088 \times \text{CCC}^2 + 0.00441 \times \text{CPC}^2) + 2.4 (\text{sex}) - 0.048 (\text{age}) + (\text{race}) + 7.8$$

$$\text{MM} = 0.244 \times \text{BW} + 7.80 \times \text{Ht} + 6.6 (\text{sex}) - 0.098 (\text{age}) + (\text{race}) - 3.3$$

MM = Massa muscolare (kg)

Ht = Statura (m)

BW = Peso (kg)

CBC = Circonferenza del braccio corretta per la plica tricipitale (cm)

CCC = Circonferenza della coscia corretta per la plica coscia (cm)

CPC = Circonferenza del polpaccio corretta per la plica mediale del polpaccio (cm)

Sex: femmine = 0; maschi = 1

Età (anni)

Razza (equazione 1): asiatici = - 2.0; afro-americani = 1.1; bianchi e ispanici = 0

Razza (equazione 2): asiatici = - 1.2; afro-americani = 1.4; bianchi e ispanici = 0

Negli anni recenti sono stati adottati, per descrivere la composizione dell'organismo dei modelli **multicompartmentali**, quello più recente si basa su **cinque compartimenti**:

Secondo questo modello la FFM è composta da

acqua corporea (TBW)

massa proteica (PM)

minerali (MM)

glicogeno (Gn)

sicché: **BW = FM + TBW + PM + MM + Gn**

- **Massa minerale** rappresenta il 5 % del peso corporeo.

Costituita da:

- » Massa ossea (88% della massa minerale) viene misurata attraverso l'assorbiometria a doppio raggio X (DXA)
- » Massa extra-ossea (12% della massa minerale)

- **Glicogeno** rappresenta il 1 % del peso corporeo.

Componente labile della massa magra perché è una fonte di energia di rapido impiego.

Massa proteica

La determinazione della massa proteica *in vivo* è stata possibile a seguito dell'introduzione dell'"attivazione neutronica" *in vivo* nei primi anni 60.

La massa proteica (PM) che rappresenta il 17% di BW ed il 20% della FFM nell'uomo di riferimento viene calcolata dall'azoto totale corporeo.

Gli atomi di azoto possono essere identificati in base alla radiazione gamma emessa a seguito di un bombardamento neutronico. Una volta misurato il TBN (total body nitrogen), si calcola PM dalla seguente equazione:

$$\mathbf{PM = TBN \times 6.25}$$

Che assume un contenuto in azoto pari a 16% della massa proteica.

MASSA MINERALE

La massa minerale (MM) rappresenta il 5% di BW ed il 6% della FFM nell'uomo di riferimento.

Essa comprende una massa ossea (Mo) ed una massa extra-ossea (Me) che rappresentano rispettivamente l'88% e il 12% di MM:

$$\mathbf{MM = Mo + Me}$$

Attualmente Mo viene misurata mediante assorbimento a doppio raggio X (DXA, dual-energy X-ray absorptiometry). In base all'attenuazione differenziale di raggi X di due differenti energie, la DXA è in grado di discriminare i tessuti ossei da quelli molli.

GLICOGENO

Il glicogeno (Gn) è un componente labile della FFM, essendo una fonte di energia di rapido impiego.

La sua valutazione in vivo è oggi possibile attraverso la spettroscopia in risonanza magnetica, ma questa tecnica non ha ancor trovato un impiego negli studi di composizione corporea per via della labilità intrinseca di questo compartimento.

Nell'adottare i vari modelli di composizione corporea, nello sfruttare nuove o vecchie tecnologie possiamo suddividere le tecniche di determinazione della composizione corporea in tradizionali o nuove metodiche

Metodiche "*tradizionali*"

Determinazione dell'Acqua Corporea Totale

(diluizione con deuterio e trizio)

Determinazione del Potassio Corporeo Totale

(dosaggio con Potassio 40)

Escrezione Urinaria di Creatinina

PESATA IDROSTATICA

Metodiche Antropometriche

Misurazioni Ossee

PLICHE CUTANEE

Circonferenze degli Arti