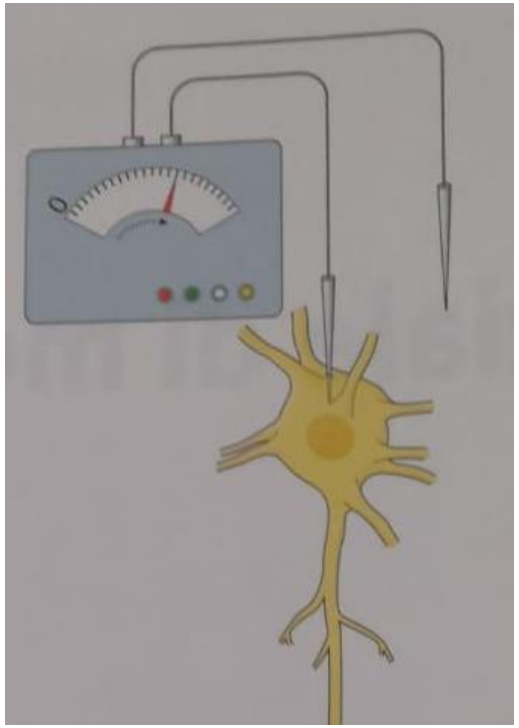
Dr. Panaiotis Finamore, M.D. Ph.D.
Fondazione Policlinico Universitario Campus Bio-Medico

ELETTRICITA' E STATO IDRICO: BIOIMPEDENZIOMETRIA VS DEXA

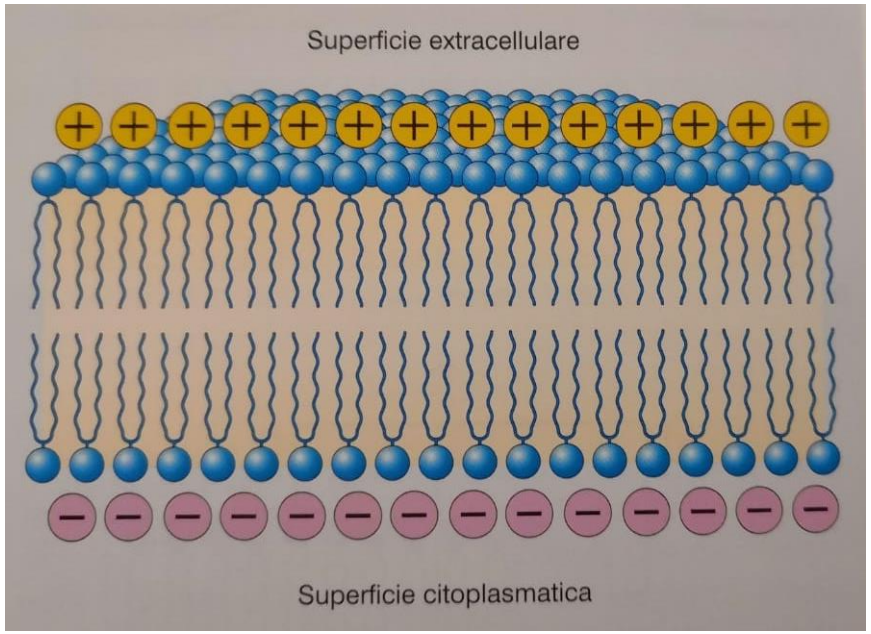
SOCIETÀ ITALIANA
DI GERONTOLOGIA
E GERIATRIA

Roma, 30 novembre - 3 dicembre 2022
UNIVERSITÀ CATTOLICA DEL SACRO CUORE

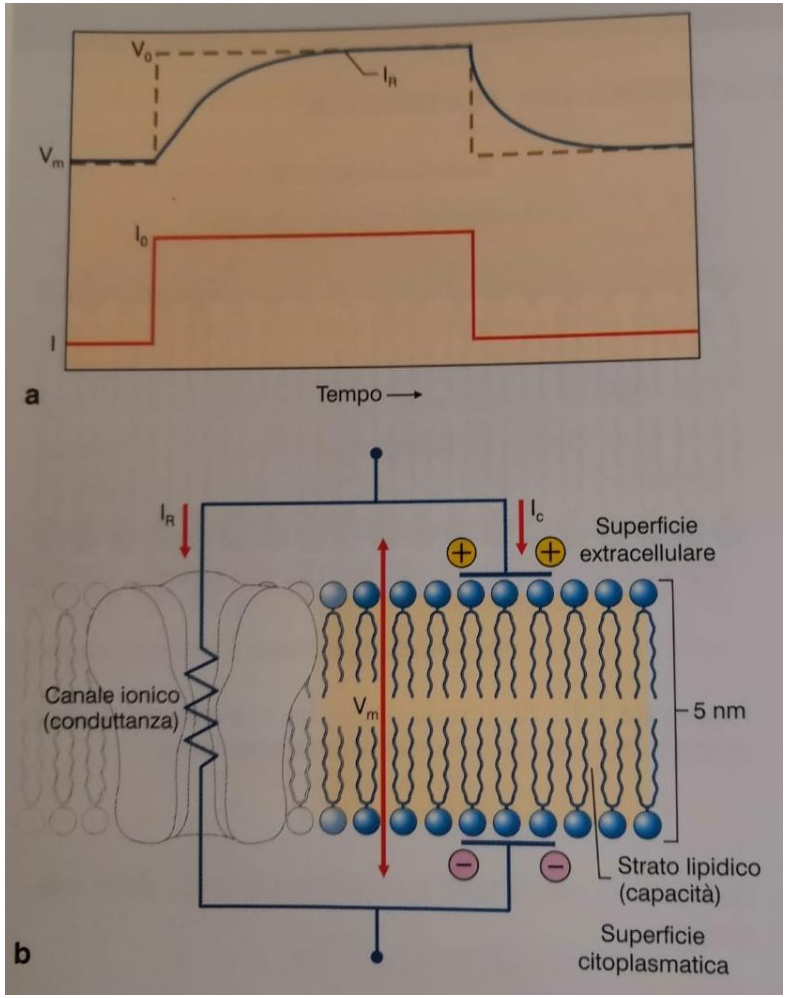
ELETTRICITA' E TESSUTI CORPOREI



La membrana che delimita la cellula isolandone il contenuto dall'ambiente esterno risulta, nella maggior parte dei tipi cellulari, elettricamente polarizzata (*potenziale di membrana a riposo*). La prima dimostrazione di questo stato di polarizzazione si deve a A.L. Hodgkin e A.F. Huxley che nel 1939 misurarono il potenziale di membrana dell'assone gigante di calamaro.



ELETTRICITA' E TESSUTI CORPOREI



A causa di questa disposizione delle molecole fosfolipidiche gli ioni presenti nel citosol e nel mezzo extracellulare non possono attraversare la membrana plasmatica. Si verifica quindi in condizioni di riposo un accumulo di cariche negative sul versante intracellulare e un accumulo di cariche positive su quello extracellulare.

Il doppio strato fosfolipidico della membrana si comporta quindi come un isolante che separa due mezzi conduttori, per cui dal punto di vista elettrico circuitale la membrana plasmatica è assimilabile ad un **condensatore piano**.

Da un punto di vista elettrico i canali ionici sono equivalenti a **resistori elettrici** caratterizzati da uno specifico valore di resistenza che essi offrono al flusso ionico.

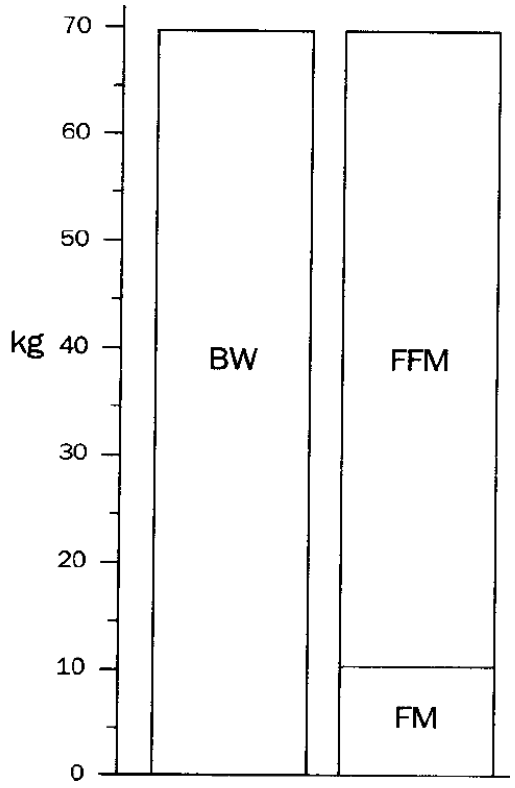
Da un punto di vista circuitale la membrana plasmatica è equivalente a un condensatore ed una resistenza posti in parallelo.

ELETTRICITA' E TESSUTI CORPOREI

Tutte le strutture biologiche oppongono una forza al flusso di corrente elettrica e la risultante di queste forze prende il nome di **IMPEDENZA (Z)**. In generale i tessuti si possono comportare da:

- **NON CONDUTTORI o PESSIMI CONDUTTORI**: tessuto adiposo;
- **CONDUTTORI**: tessuto epiteliale, tessuto connettivo, tessuto muscolare e tessuto nervoso;

E' quindi possibile ipotizzare un modello bicompartimentale della composizione corporea formato da **massa grassa** (FAT MASS – **FM** –), che non conduce, e tutto ciò che **non è massa grassa** (FAT-FREE MASS – **FFM** –), che conduce.

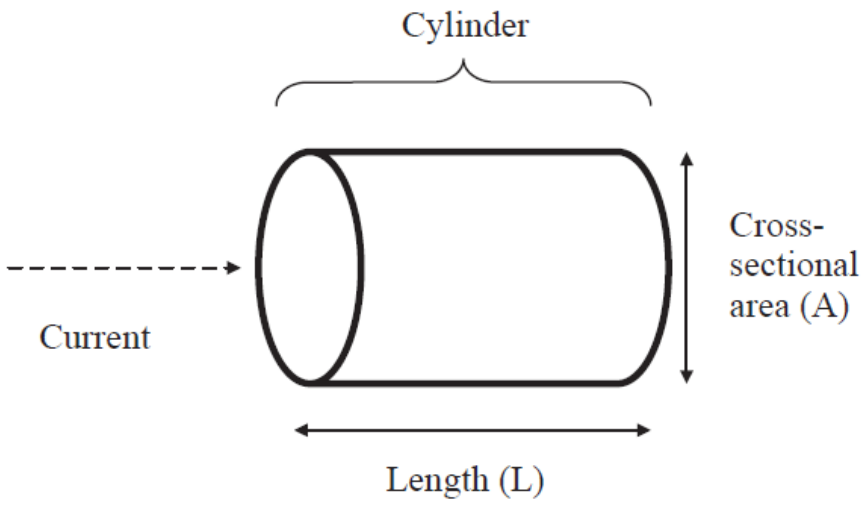


BIOIMPEDENZIOMETRIA (**B**ioelectrical **I**mpedance **A**nalysis)

La Bioimpedenziometria (BIA) è una tecnica di misurazione non invasiva, rapida ed indolore dello stato di idratazione e della composizione corporeo dell'individuo mediante utilizzo di corrente elettrica.

Principles of bioelectrical impedance

The resistance (*R*) of a length of homogeneous conductive material of uniform cross-sectional area is proportional to its length (*L*) and inversely proportional to its cross sectional area (*A*) (Fig. 1). Although the body is not a uniform cylinder and its conductivity is not constant, an empirical relationship can be established between the impedance quotient (Length^2/*R*) and the volume of water, which contains electrolytes that conduct the electrical current through the body. In practice, it is easier to measure height than the conductive length, which is usually from wrist to ankle.



$$Z = \rho\, L_m/A_{m2}$$

$$V = L_m * A_{m2}$$

$$V = \rho\, (L_m)^{\wedge 2}/Z$$

Formula di Nyober

BIOIMPEDENZIOMETRIA (**B**ioelectrical **I**mpedance **A**nalysis)

Nel 1962 Thomasset A. dimostrò l'esistenza di una relazione tra la forza di opposizione al passaggio della corrente elettrica (**IMPEDENZA**) e l'acqua corporea totale. " Bioelectric properties of tissue impedance" Lyon Med. (1962) 207: 107 – 118

La quantificazione del contenuto di acqua totale corporea (**Total Body Water – TBW –**) in L o Kg viene ottenuta a partire dall'indice di impedenza, ovvero il rapporto fra l'altezza al quadrato [$(L_m)^2$] e l'impedenza [Z] al quale vengono aggiunte altre variabili per aumentare l'accuratezza della regressione.

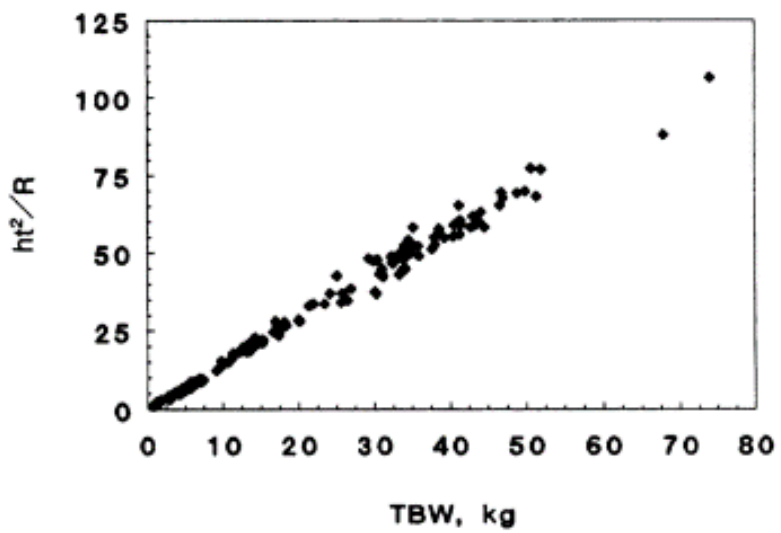
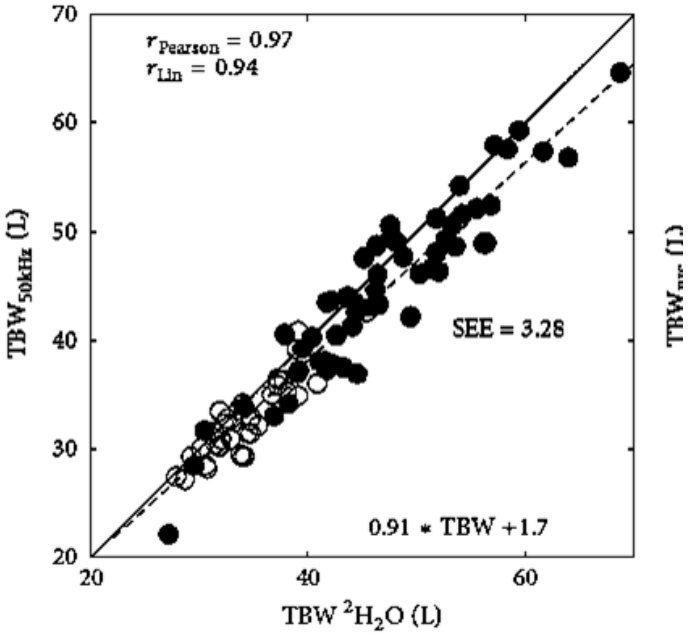


FIG 1. Relationship between impedance index (ht^2/R) and total body water (TBW) measured by stable-isotope dilution in the development group (r = 0.996, SEE = 1.47 kg).



Comments	Source	n	Criterion measure	Equation	r^2	SEE	BIA instrument
Obese women	De Lorenzo et al.[94]	55	^2H_2O	$23.1898 + 0.0154\ (V/Z_1) + 0.3315\ V/((Z_1 Z_{100})/(Z_1 - Z_{100})$	0.94	2.8	
Surgical patients	Hannan et al.[20]	43	^3H_2O	$5.82 + 0.446\ Ht^2/R_{50} + 0.129$ weight	0.90	2.5	Xitron
Surgical patients	Hannan et al.[20]	43	^3H_2O	$5.69 + 0.399\ Ht^2/R_{500} + 0.114$ weight	0.90	2.5	Xitron
Surgical patients	Hannan et al.[20]	43	^3H_2O	$1.04 + 0.451\ Ht^2/R_{500} + 0.46$ APT $+ 0.0119\ Ht^2/Xc_{50} - 0.0106\ Ht^2/Xc_{500}$	0.93	2.2	Xitron

Kushner, Robert F., et al. Ajcn 56.5 (1992): 835-839.

Seoane, Fernando, et al. BioMed research international 2015 (2015).

BIOIMPEDENZIOMETRIA (**B**ioelectrical **I**mpedance **A**nalysis)

Una volta ottenuto il valore della **TBW** è possibile ricavare quello della **FFM** considerando che la massa magra ha un coefficiente fisso di idratazione che risulta essere di **0.73**.

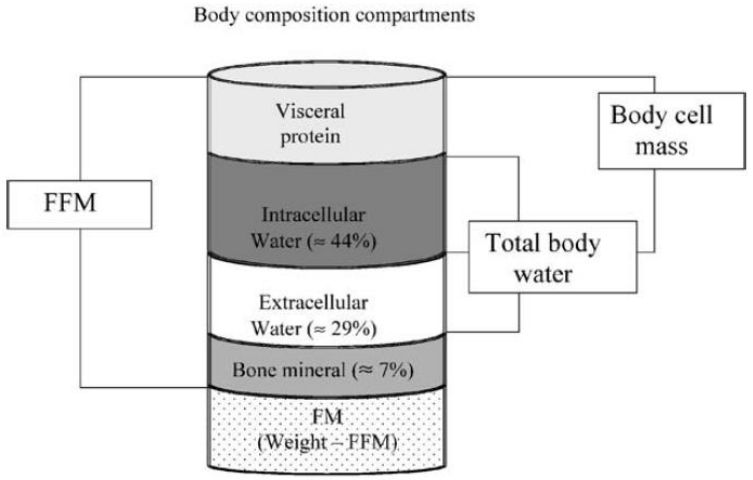


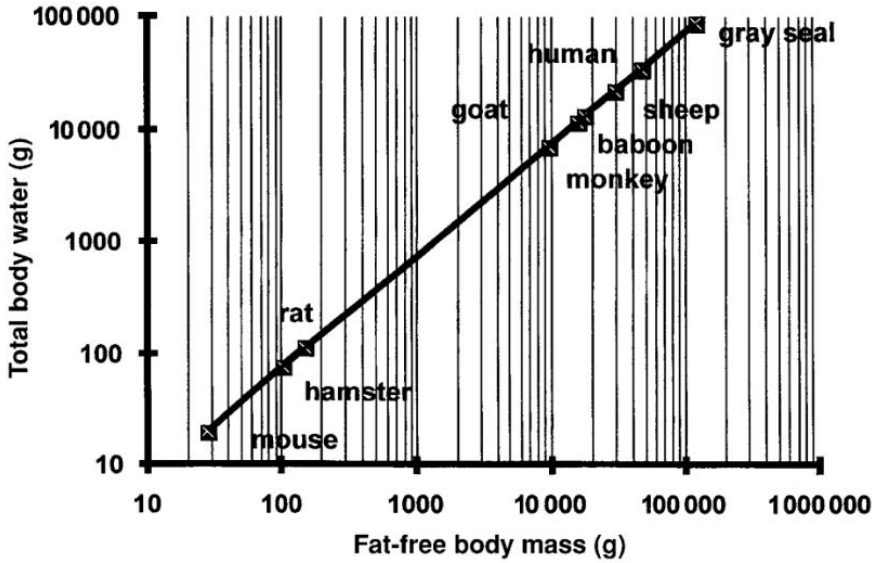
Figure 6 Schematic diagram of fat-free mass (FFM), total body water (TBW), intracellular water (ICW), extracellular water (ECW) and body cell mass (BCM).

$$TBW = 0.73\ FFM$$

$$FM = Wt_{Body} - FFM$$

Fat-free body mass (FFM) hydration (TBW:FFM) evaluated in 9 adult human cadavers[1]

Sex	Age	Body mass	TBW	FFM	TBW:FFM	Cause of death	Reference and year
	y	*kg*	*kg*	*kg*			
M	46	53.8	29.7	43.3	0.686	Skull fracture	Forbes et al (4), 1953
M	60	73.5	37.2	53.0	0.702	Heart attack	Forbes and Lewis (5), 1956
M	25	71.8	44.4	61.1	0.726	Uremia	Widdowson et al (6), 1951
M	63	58.6	35.0	48.0	0.729	Esophageal cancer	Knight et al (7), 1986
F	59	25.9	13.3	18.2	0.731	Extreme cachexia	Knight et al (7), 1986
F	42	45.1	25.3	34.5	0.733	Drowning	Widdowson et al (6), 1951
M	48	62.0	43.9	59.3	0.740	Infectious endocarditis	Forbes and Lewis (5), 1956
M	35	70.6	47.9	61.7	0.776	Mitral insufficiency	Mitchell et al (8), 1945
F	67	43.4	32.0	39.6	0.808	Advanced malignancy	Moore (9), 1946
$\bar{x} \pm$ SD	49 ± 14	50.1 ± 15.8	34.3 ± 10.8	46.6 ± 14.5	0.737 ± 0.036	—	—



Hydration of fat-free body mass: review and critique of a classic body-composition constant[1–3]

ZiMian Wang, Paul Deurenberg, Wei Wang, Angelo Pietrobelli, Richard N Baumgartner, and Steven B Heymsfield

BIOIMPEDENZIOMETRIA (Bioelectrical Impedance Analysis)

esame del: 06/05/2019

Sesso: : F | RZ : 511 Ω | XC : 44 Ω | PhA: 4,9 °

Data di nascita: : 30/08/1944 | Peso : 85,2 kg | Altezza : 160,0 cm

Idratazione: 73,8 % (TBW/FFM)

BMI:	33,3 kg/m²		18,0 - 25,0 Kg/m	15,0 18,0 25,0 30,0 40,0
PhA:	4,9 °		3,9 - 5,7 °	2,0 3,9 5,7 10,0
BCMI:	9,3			3,0 7,5 15,0
BMR:	1441,6 kcal 6031,6 kJ			
BCM:	23,8 kg	14,9 kg/m	10,0 - 17,0 Kg/m	5,0 10,0 17,0 20,0
FFM:	49,9 kg	31,2 kg/m	23,0 - 28,0 Kg/m	15,0 23,0 28,0 40,0
FM:	35,3 kg	22,1 kg/m	7,0 - 14,0 Kg/m	2,0 7,0 14,0 30,0
TBW:	36,8 L	23,0 L/m	15,0 - 22,0 L/m	10,0 15,0 22,0 35,0
ECW:	18,9 L		51,2 % | TBW	25,0 42,0 53,0 60,0

Calcoliamo insieme:

TBW = 36.8 L

FFM = 36.8/0.738 = 49.9 Kg

FM = 85.2 – 49.9 = 35,3 Kg

BIOIMPEDENZIOMETRIA (**B**ioelectrical **I**mpedance **A**nalysis)

La Bioimpedenziometria (BIA) è una tecnica di misurazione non invasiva, rapida e di facile esecuzione.

Preparazione all'esame:

<u>Preparazione del paziente</u>:

- Evitare di mangiare, bere e assumere alcol prima dell'esame (*si raccomanda astensione per almeno 8 ore, anche se nella pratica clinica sono accettabili periodi più brevi*);
- Evitare di fare esercizio fisico (*si raccomanda astensione per almeno 8 ore*);
- Eseguire l'esame a vescica vuota;
- Misurare altezza e peso (*non sono accettabili altezza e peso riferiti dal paziente!*)
- Eseguire l'esame su di un lettino che non abbia parti metalliche con cui entrare in contatto;
- Detersione della cute;
- Misurazione della temperatura corporea;

BIOIMPEDENZIOMETRIA (**B**ioelectrical **I**mpedance **A**nalysis)

Preparazione all'esame:

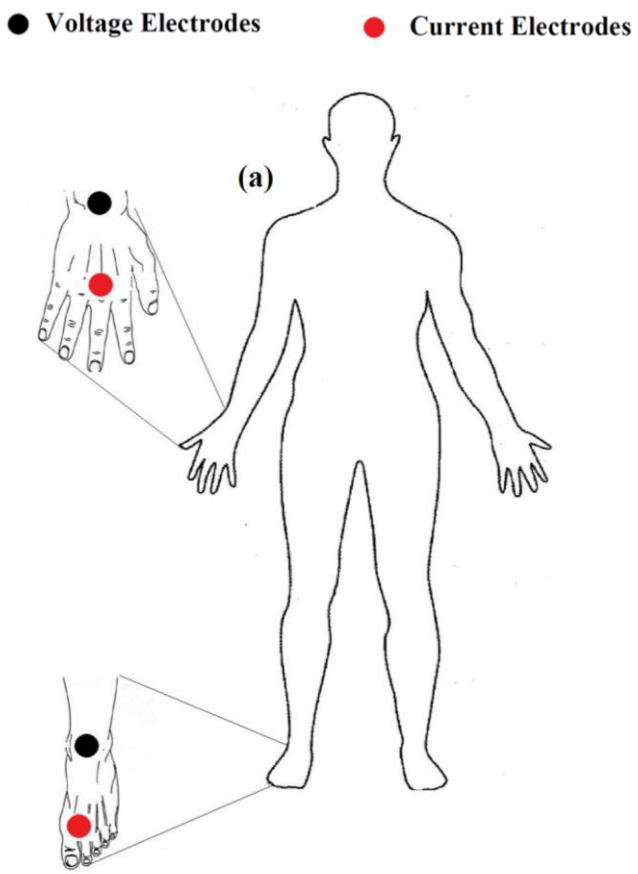
Preparazione dello strumentario:

- Controllo del corretto funzionamento dello strumento;
- Controllo di qualità degli elettrodi: gli elettrodi sono costituiti da un foglio di materiale conduttivo ricoperto da un gel di spessore fisso. Gli elettrodi sono monouso e NON vanno riutilizzati, poiché variazioni dello spessore del gel possono determinare un'errore nella stima che può raggiungere il 15-20%.

Nel caso di misure ripetute nello stesso individuo è fondamentale eseguire l'esame con le stesse modalità con cui è stato effettuato in precedenza: stesso lato di posizionamento degli elettrodi, stessa preparazione all'esame, ecc.

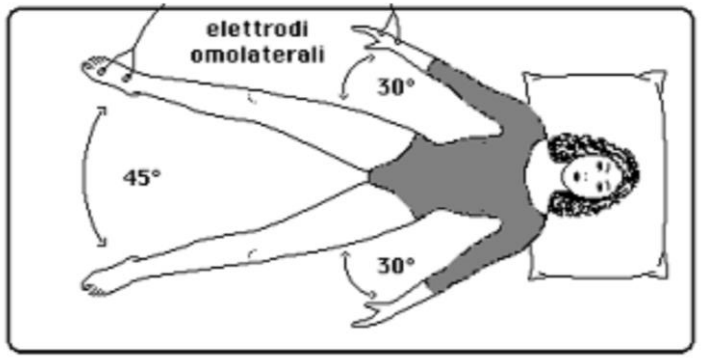
La BIA non è quindi una metodica diretta di valutazione della composizione corporea e l'accuratezza della stima dei compartimenti corporei dipende in gran parte dall'utilizzo di equazioni predittive appropriate

BIOIMPEDENZIOMETRIA
(**B**ioelectrical **I**mpedance **A**nalysis)



- Eseguire l'esame in posizione supina con arti superiori abdotti di circa 30° ed arti inferiori abdotti di circa 45° così che non vi sia contatto tra gli arti e tra gli arti ed il tronco;
- Posizionare gli elettrodi a coppie sul dorso della mano (elettrodo iniettore a livello della terza articolazione metacarpo-falangea e il sensore a livello dell'articolazione radio-ulnare a distanza di almeno 5 cm) e sul dorso del piede omolaterale (elettrodo iniettore a livello della terza articolazione metatarsofalangea e il sensore a livello dell'articolazione tibio-tarsica a distanza di almeno 5 cm);

Quando non è possibile eseguire la misurazione sull'emisoma destro (presenza di protesi, fistole venose, accessi vascolari) la misurazione può essere effettuata sull'emisoma controlaterale



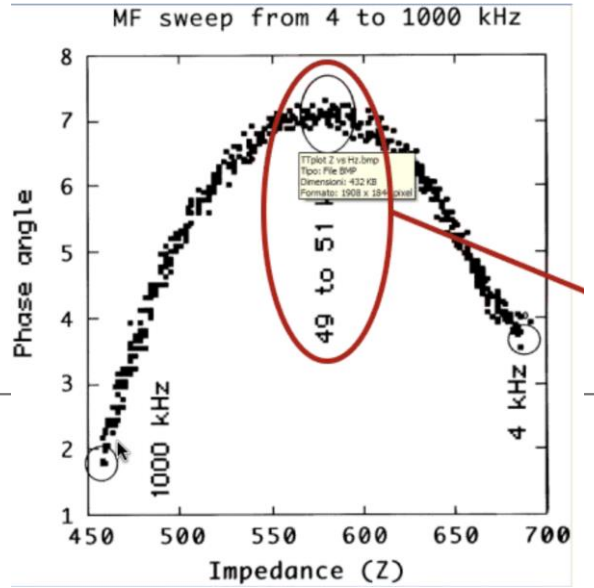
BIOIMPEDENZIOMETRIA VETTORIALE (**B**ioelectrical **I**mpedance **V**ectorial **A**nalysis)

L'**Impedenza (Z)** è la risultante di due forze di opposizione:

RESISTENZA (Rz): è la riduzione di voltaggio della corrente al passaggio attraverso soluzioni ioniche ed è inversamente correlata al quantitativo di acqua. Minore è il quantitativo di acqua presente, maggiore è la resistenza e viceversa.

REATTANZA (Xc): è il ritardo della corrente dovuto alla capacitanza delle membrane cellulari che accumulano parte delle cariche elettriche ed è direttamente correlata alla quantità di membrane cellulari attive e quindi dalla massa cellulare attiva.

A basse frequenze (prossime allo 0) la corrente non è in grado di penetrare le membrane cellulari per cui l'impendenza è in funzione quasi esclusivamente della resistenza opposta dai liquidi extracellulari. A frequenze molto elevate (tendenti al ∞) l'impedenza dipende principalmente dalla reattanza delle membrane cellulari. <u>A 50 kHz la corrente passa sia attraverso le cellule che il liquido extracellulare</u>.

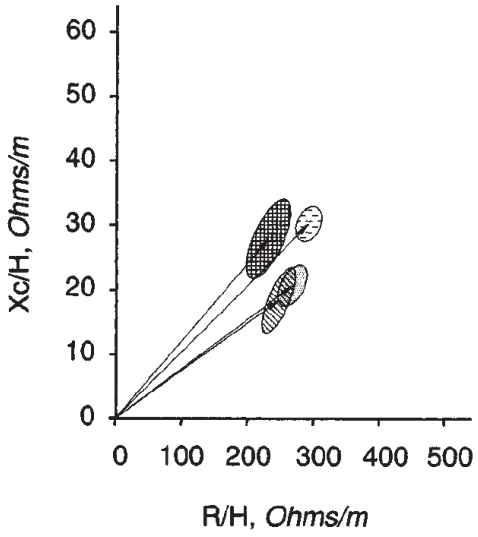


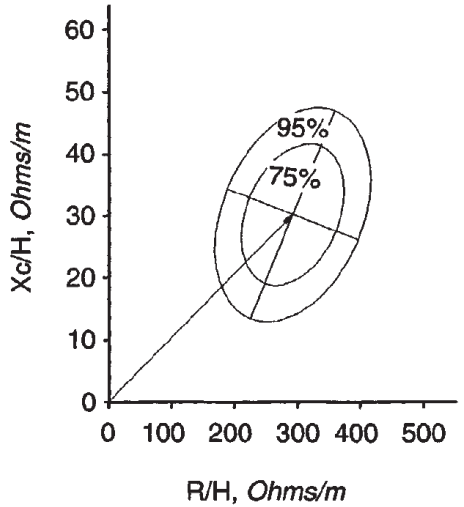
BIOIMPEDENZIOMETRIA VETTORIALE (**B**ioelectrical **I**mpedance **V**ectorial **A**nalysis)

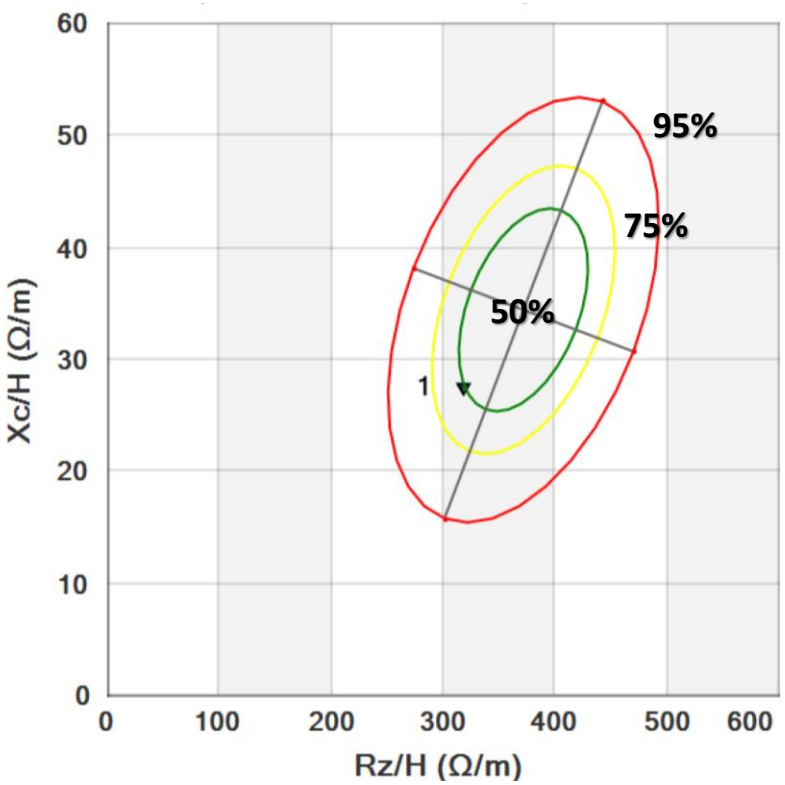
A new method for monitoring body fluid variation by bioimpedance analysis: The RXc graph

ANTONIO PICCOLI, BARBARA ROSSI, LUANA PILLON, and GIUSEPPE BUCCIANTE

Institute of Internal Medicine, Division of Nephrology, and Clinical Nutrition Unit, University of Padova, Padova, Italy



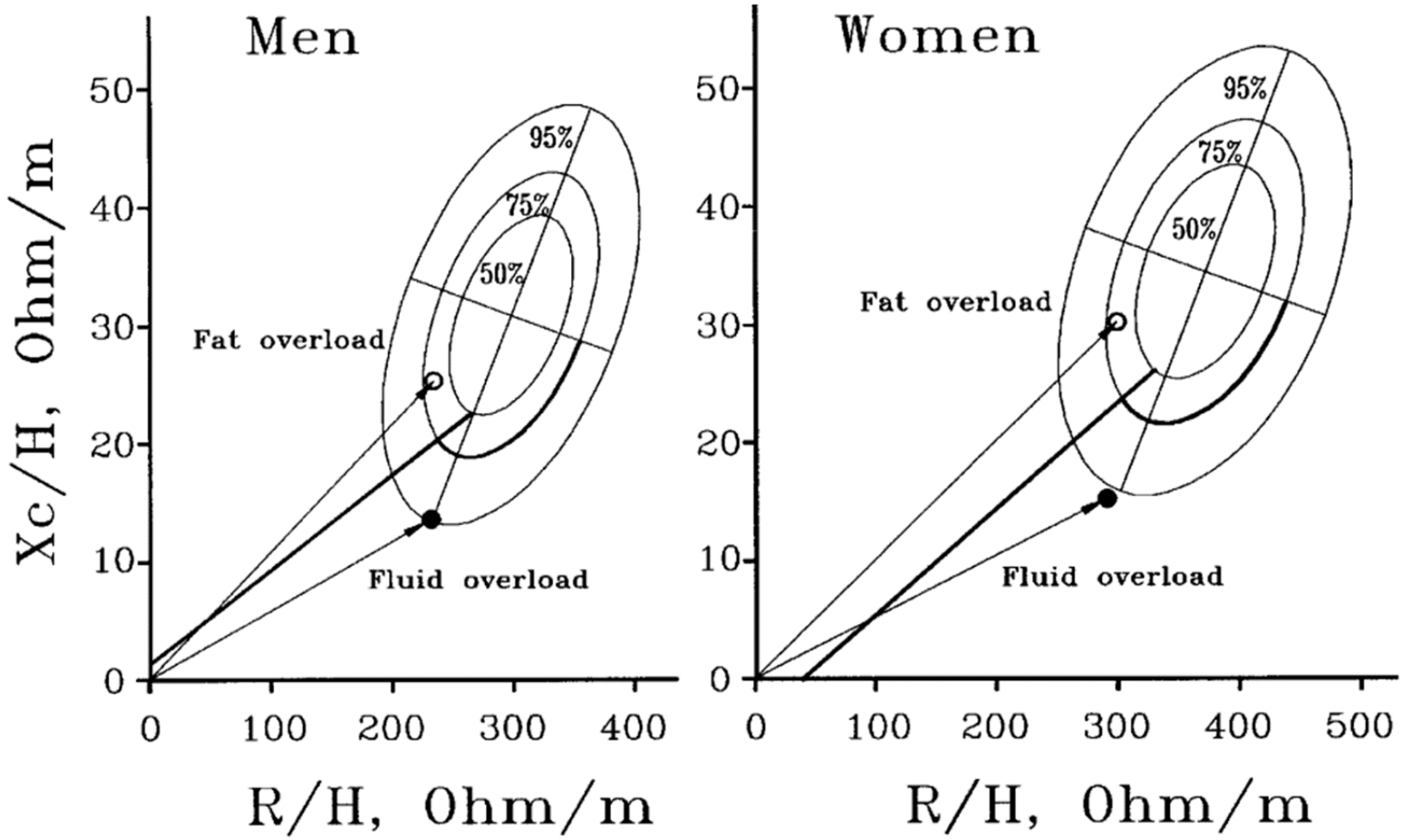




Il metodo denominato **Grafo Resistenza-Reattanza (Grafo RXc)** confronta il vettore misurato in un individuo con l'intervallo di riferimento della popolazione normale espresso in percentili della distribuzione normale (gaussiana) bivariata.

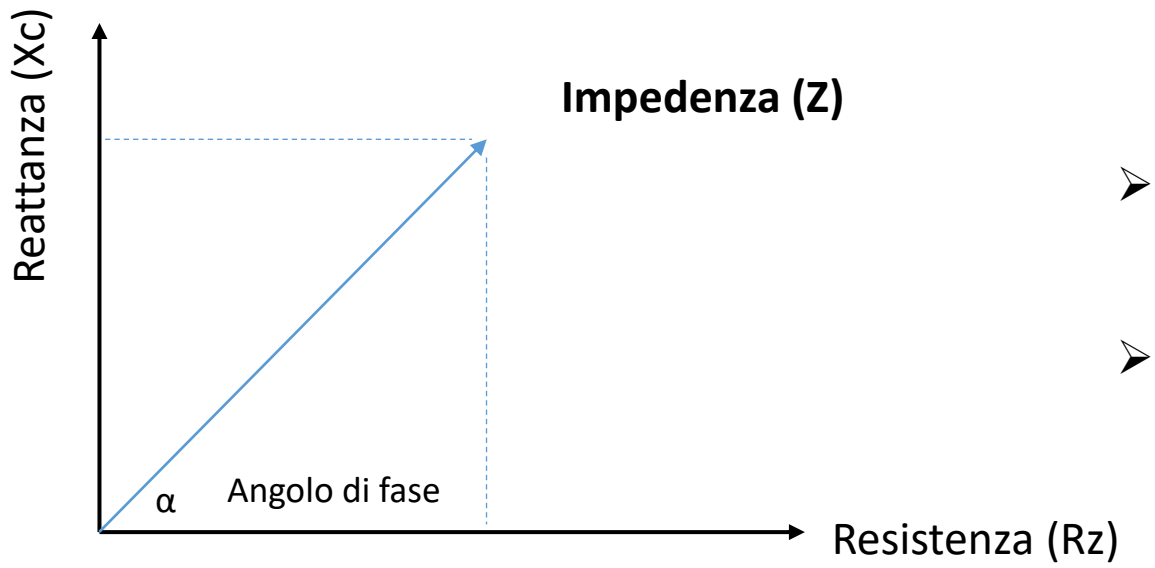
Le curve sono sesso specifiche.

BIOIMPEDENZIOMETRIA VETTORIALE (**B**ioelectrical **I**mpedance **V**ectorial **A**nalysis)



Piccoli et al., Int J Obes Relat Metab Disord. 1998 Feb;22(2):97-104

BIOIMPEDENZIOMETRIA VETTORIALE (**B**ioelectrical **I**mpedance **V**ectorial **A**nalysis)



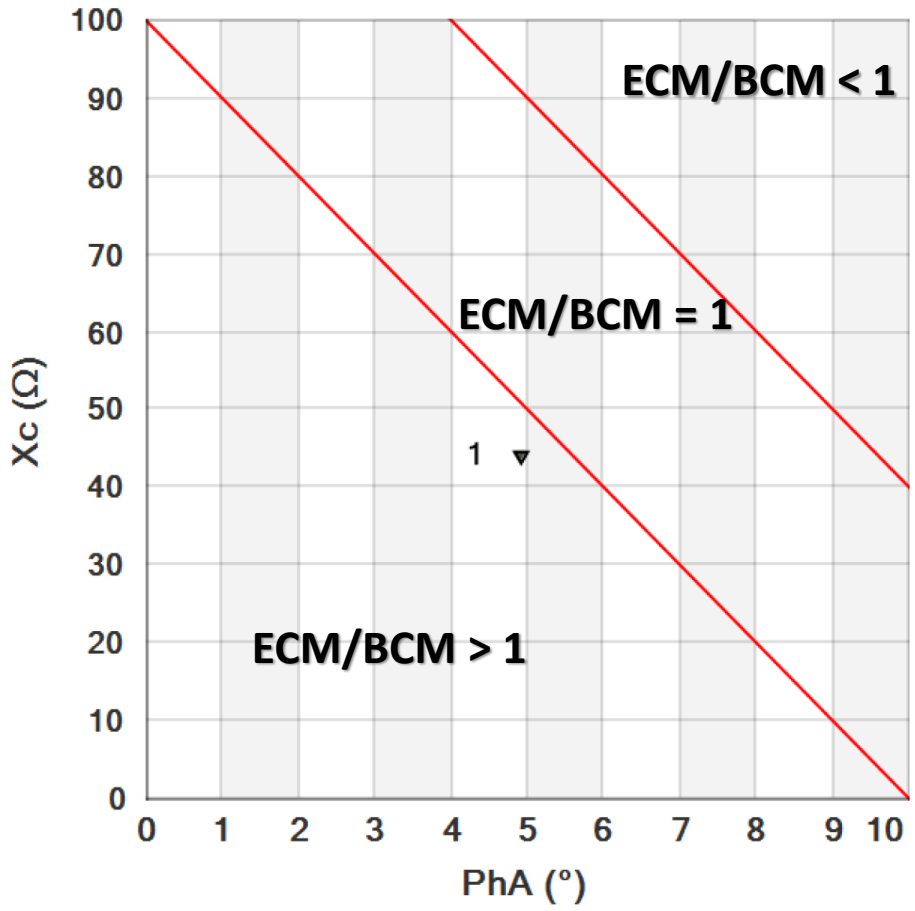
Angolo di fase (PhA) = arctan $\frac{\text{Reattanza (Xc)}}{\text{Resistenza (Rz)}}$

- **Riduzione**: aumento di liquidi o riduzione della massa cellulare attiva;
- **Aumento**: riduzione di liquidi o aumento della massa cellulare attiva;

L'Angolo di Fase fornisce informazioni sul rapporto tra gli spazi intra ed extra-cellulari e quindi sulla qualità della composizione corporea. È stato anche definito «indice di mortalità» perché la sua riduzione si associa ad un aumento della mortalità.

Standardized Phase Angle (SPA): rappresenta l'angolo di fase standardizzato per sesso ed età. Esprime, all'interno della popolazione normale, il rapporto tra la media dei valori di PhA di soggetti appartenenti a una specifica fascia di età e sesso e la sua deviazione standard.

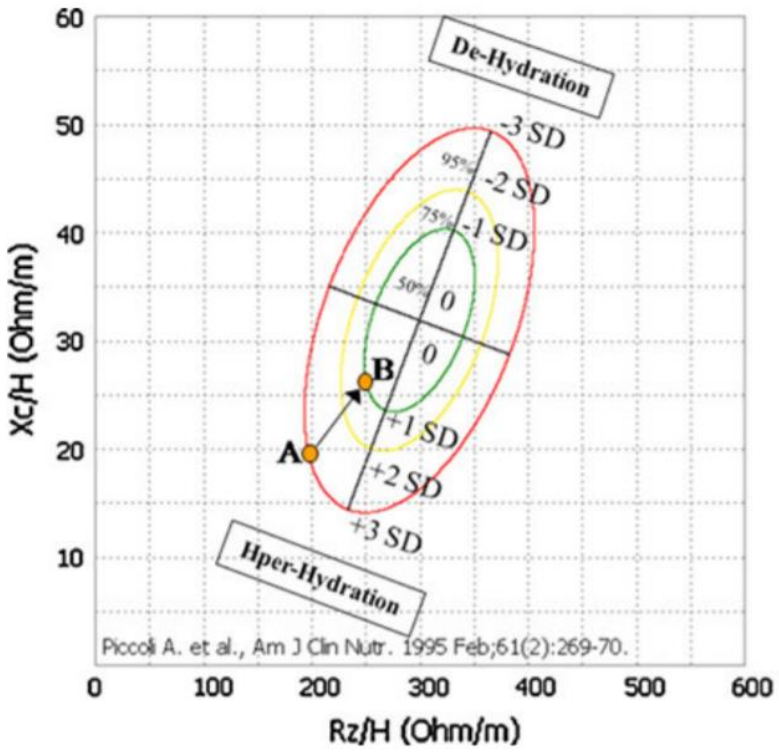
BIOIMPEDENZIOMETRIA VETTORIALE (**B**ioelectrical **I**mpedance **V**ectorial **A**nalysis)

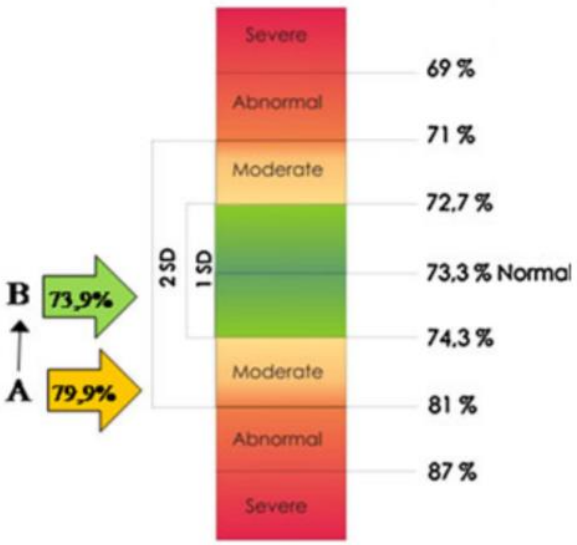


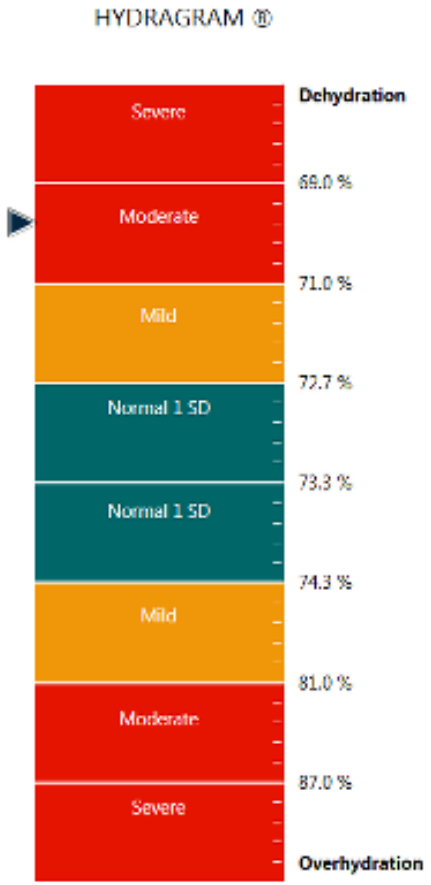
ECM/BCM < 1: massa extracellulare inferiore alla massa cellulare (riduzione di liquidi o aumento della massa cellulare attiva).

ECM/BCM > 1: massa extracellulare superiore alla massale cellulare (accumulo di liquidi o riduzione della massa cellulare attiva).

BIOIMPEDENZIOMETRIA VETTORIALE (**B**ioelectrical **I**mpedance **V**ectorial **A**nalysis)







BIOIMPEDENZIOMETRIA (Bioelectrical Impedance Analysis)

esame del: 06/05/2019

Sesso: : F | RZ : 511 Ω | XC : 44 Ω | PhA: 4,9 °

Data di nascita: : 30/08/1944 | Peso : 85,2 kg | Altezza : 160,0 cm

Idratazione: 73,8 % (TBW/FFM)

BMI:	33,3 kg/m²		18,0 - 25,0 Kg/m	15,0 18,0 25,0 30,0 40,0
PhA:	4,9 °		3,9 - 5,7 °	2,0 3,9 5,7 10,0
BCMI:	9,3			3,0 7,5 15,0
BMR:	1441,6 kcal 6031,6 kJ			
BCM:	23,8 kg	14,9 kg/m	10,0 - 17,0 Kg/m	5,0 10,0 17,0 20,0
FFM:	49,9 kg	31,2 kg/m	23,0 - 28,0 Kg/m	15,0 23,0 28,0 40,0
FM:	35,3 kg	22,1 kg/m	7,0 - 14,0 Kg/m	2,0 7,0 14,0 30,0
TBW:	36,8 L	23,0 L/m	15,0 - 22,0 L/m	10,0 15,0 22,0 35,0
ECW:	18,9 L		51,2 % | TBW	25,0 42,0 53,0 60,0

Calcoliamo insieme:

TBW = 36.8 L

FFM = 36.8/0.738 = 49.9 Kg

FM = 85.2 – 49.9 = 35,3 Kg

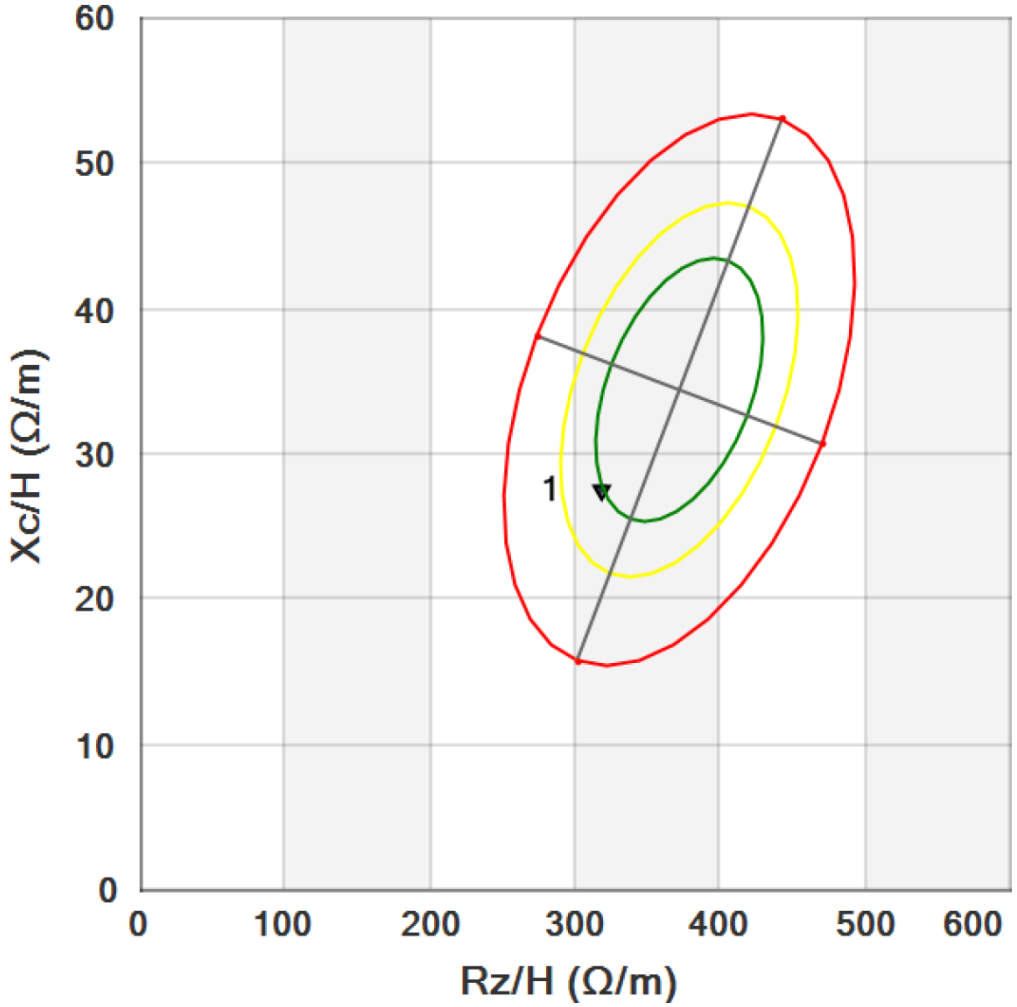
BIOIMPEDENZIOMETRIA VETTORIALE (**B**ioelectrical **I**mpedance **V**ectorial **A**nalysis)

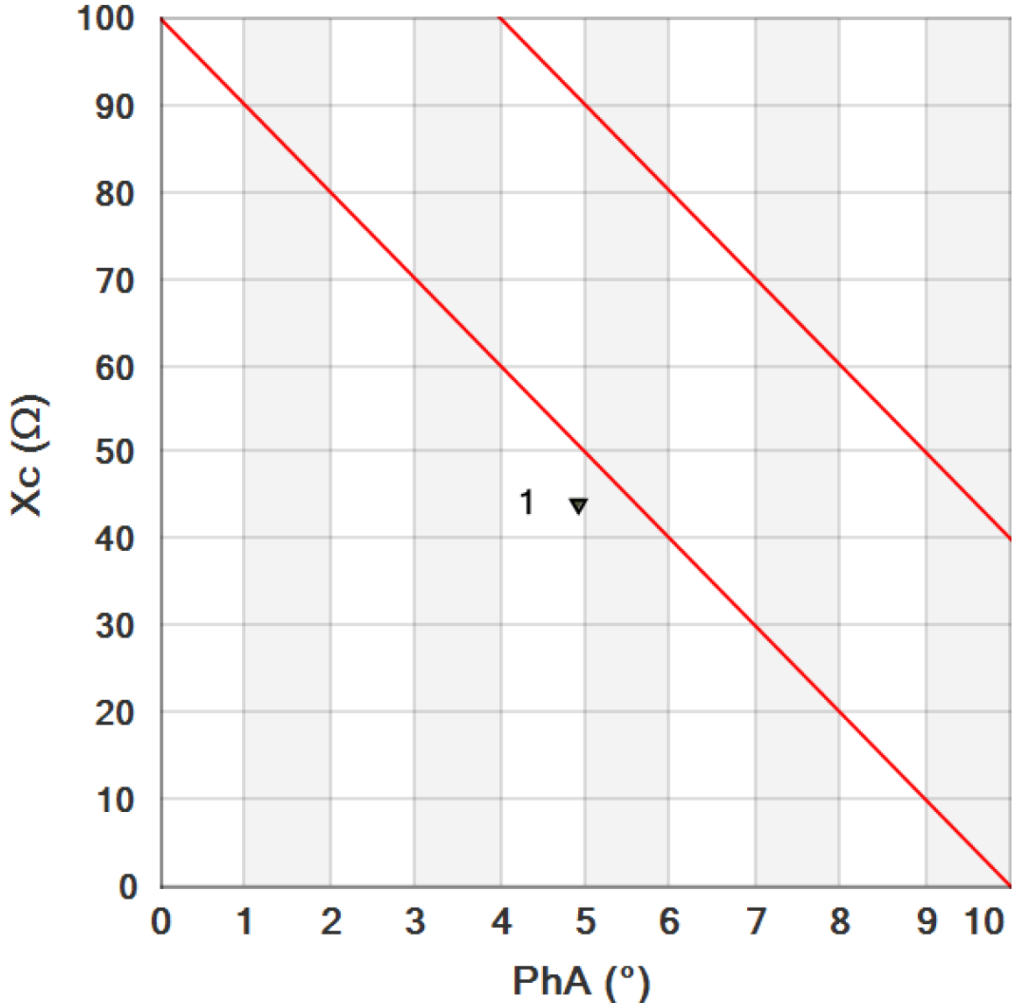
esame del: 06/05/2019

Sesso: : F | RZ : 511 Ω | XC : 44 Ω | PhA: 4,9 °

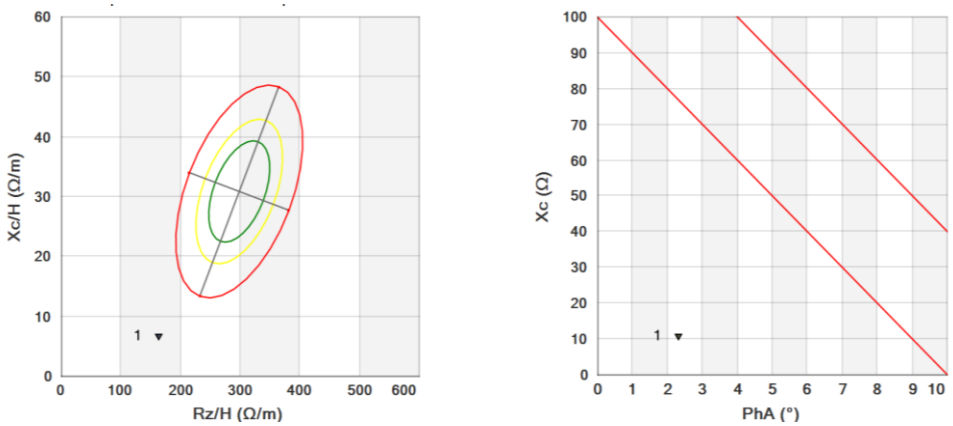
Data di nascita: : 30/08/1944 | Peso : 85,2 kg | Altezza : 160,0 cm

Idratazione: 73,8 % (TBW/FFM)

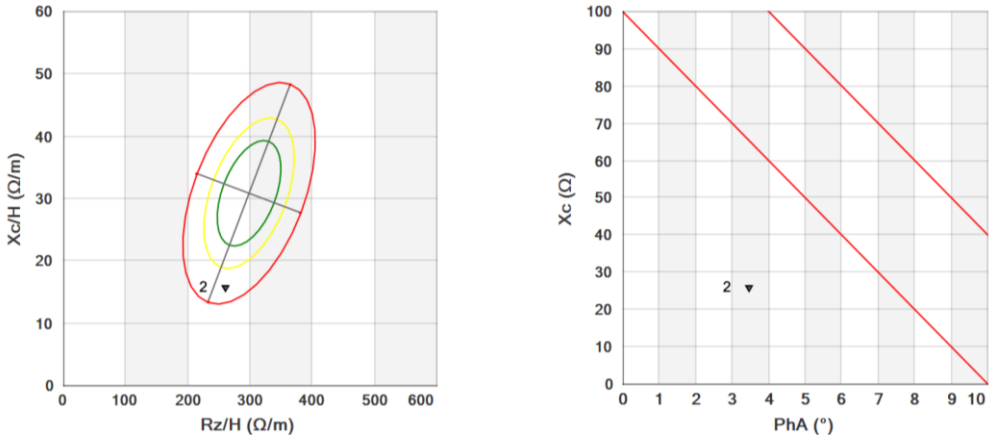


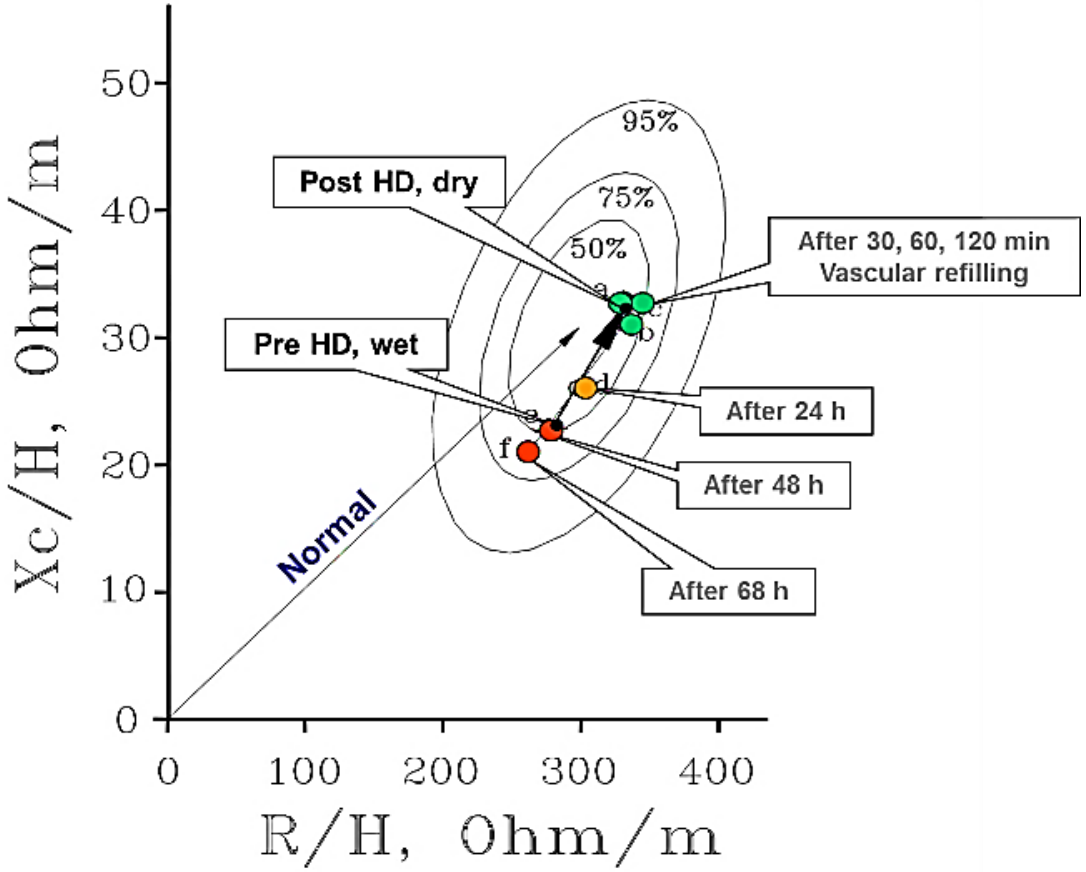


BIOIMPEDENZIOMETRIA VETTORIALE (**B**ioelectrical **I**mpedance **V**ectorial **A**nalysis)



3 giorni dopo

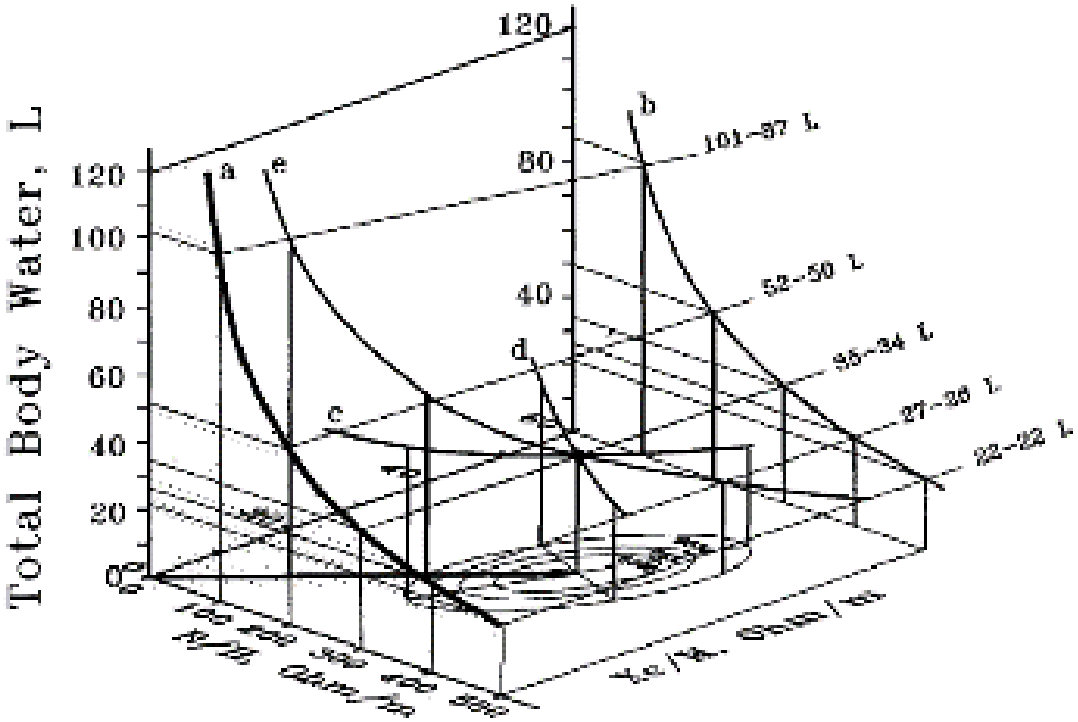




Terapia diuretica efficace!

Piccoli et al, Kidney Int 66:2091-2092, 2004

BIOIMPEDENZIOMETRIA VETTORIALE (**B**ioelectrical **I**mpedance **V**ectorial **A**nalysis)

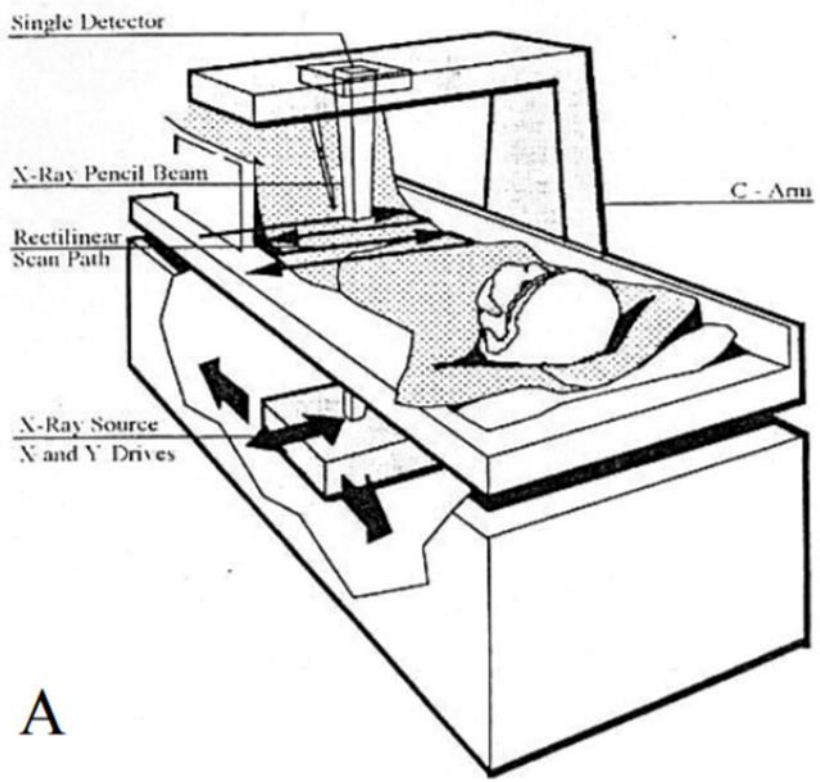


Non esiste una relazione lineare tra volumi TBW e vettore di impedenza ed il bias è di gran lunga superiore nella regione dell'iperidratazione.

Piccoli, Antonio, Luana Pillon, and Enrico Favaro. "Asymmetry of the total body water prediction bias using the impedance index." Nutrition 13.5 (1997): 438-441.

Dual Energy X-ray Absorption (DEXA)

La tecnica Dual Energy X-ray Absorption (DEXA) rappresenta il gold standard per la misurazione della densità minerale ossea, ma è in grado di fornire informazioni sulla composizione corporea. È una tecnica non invasiva, rapida ed indolore ed utilizza radiazioni ionizzanti.



La DEXA utilizza raggi X con energia di 99 KeV e 44.5 KeV e sfrutta la differenza di attenuazione subita da ogni raggio per quantificare densità minerale ossea e definire la composizione corporea.

Tessuto	Densità (g/cm^2)
Grasso	0,7
Muscolo	1,1
Osso	1,9
Acqua corporea	1,01

La dose di radiazioni è molto bassa (0,01-0,04 mSv vs 0,1 mSv di una radiografia del torace)

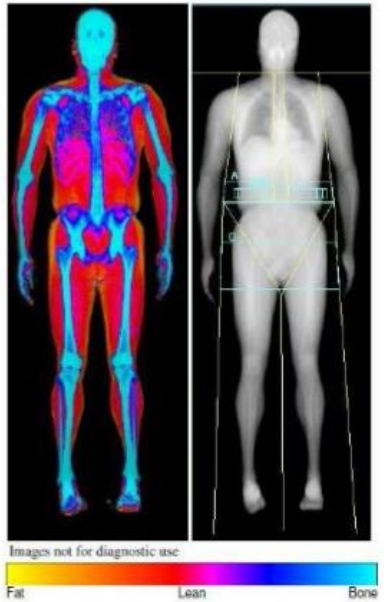
Dual Energy X-ray Absorption (DEXA)

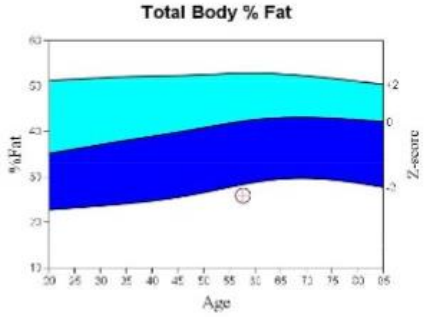
Preparazione all'esame:

- Rimuovere tutti i vestiti che contengano metallo;
- Svuotare le tasche;
- Rimuovere occhiali, gioielli, bracciali e scarpe;
- Misurare altezza e peso

Dual Energy X-ray Absorption (DEXA)

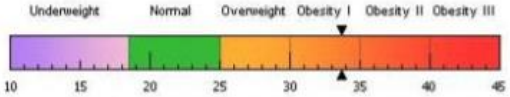
Name: sample, patient	Sex: Female	Height: 54.0 in
Patient ID: 987654	Ethnicity: White	Weight: 140.0 lb
DOB: February 13, 1957	Menopause Age: 50	Age: 57





Source: 2008 NHANES White Female

World Health Organization Body Mass Index Classification
BMI = 33.8 WHO Classification Obesity I



BMI has some limitations and an actual diagnosis of overweight or obesity should be made by a health professional. Obesity is associated with heart disease, certain types of cancer, type 2 diabetes, and other health risks. The higher a person's BMI is above 25, the greater their weight-related risks.

Body Composition Results

Region	Fat Mass (g)	Lean + BMC (g)	Total Mass (g)	% Fat	%Fat Percentile YN	%Fat Percentile AM
L Arm	984	2066	3050	32.3	20	5
R Arm	1094	2123	3217	34.0	28	8
Trunk	6750	20123	26874	25.1	20	4
L Leg	2354	7055	9409	25.0	1	1
R Leg	2525	7258	9783	25.8	1	1
Subtotal	13707	38625	52333	26.2	7	1
Head	886	3091	3978	22.3		
Total	**14593**	**41717**	**56310**	**25.9**	**7**	**1**
Android (A)	1119	2853	3972	28.2		
Gynoid (G)	2626	6327	8953	29.3		

Scan Date: October 16, 2014 ID: A10161401
Scan Type: a Whole Body
Analysis: October 16, 2014 15:28 Version 13.5.1
Auto Whole Body Fan Beam
Operator: mkl
Model: QDR Workstation (S/N 061263)
Comment:

Adipose Indices

Measure	Result	Percentile YN	Percentile AM
Total Body % Fat	**25.9**	**7**	**1**
Fat Mass/Height² (kg/m²)	7.76	37	13
Android/Gynoid Ratio	0.96		
% Fat Trunk/% Fat Legs	0.99	88	70
Trunk/Limb Fat Mass Ratio	0.97	78	47
Est. VAT Mass (g)	145		
Est. VAT Volume (cm³)	156		
Est. VAT Area (cm²)	30.0		

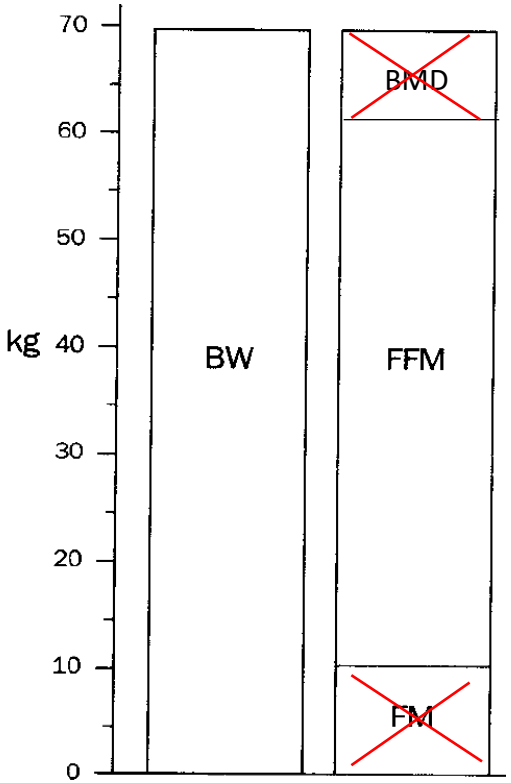
Lean Indices

Measure	Result	Percentile YN	Percentile AM
Lean/Height² (kg/m²)	20.9	97	96
Appen. Lean/Height² (kg/m²)	9.21	97	96

Est. VAT = Estimated Visceral Adipose Tissue
YN = Young Normal
AM = Age Matched

Dual Energy X-ray Absorption (DEXA)

La DEXA presenta una differenza sostanziale rispetto alla BIA nella misurazione della composizione corporea:



BIA: non è in grado di misurare la densità minerale ossea (BMD) né la massa grassa di un individuo. Infatti la FM è indirettamente stimata sottraendo dal peso totale la FFM.

DEXA: rappresenta il gold standard nella misurazione della densità minerale ossea (BMD) e stima direttamente la FM ed la FFM.

Tra le metodiche non invasive applicabili nella pratica clinica la DEXA risulta essere più accurata della BIA.

BIA vs DEXA

BIOIMPEDENZIOMETRIA	DEXA
Esame eseguibile al letto del paziente	Non eseguibile al letto del paziente
Rapido (circa 5 minuti)	Rapido (circa 10-15 minuti)
Economico (5-10 €)	Non economico (70-100€)
Non invasivo, non doloroso	Non invasivo, non doloroso
Elettricità (sì in gravidanza)	Radiazioni ionizzanti (no in gravidanza)
Non misura la BMD e la FM	Gold standard per la misura della BMD e misura la FM
Riporta dati sulla TBW	Non riporta dati sulla TBW (ricerca)
Misura indirettamente la massa muscolare	Misura direttamente la massa muscolare
Analisi total body (segmentaria)	Analisi total body e segmentaria

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

SOCIETÀ ITALIANA
DI GERONTOLOGIA
E GERIATRIA

Roma, 30 novembre - 3 dicembre 2022
UNIVERSITÀ CATTOLICA DEL SACRO CUORE