

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Scienze Biomediche
Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

**LE EQUAZIONI DI PREDIZIONE DELLA COMPOSIZIONE CORPOREA
SU BASE BIOELETTRICA: UNA REVISIONE SISTEMATICA**

Relatore: Prof. Dott. Francesco Campa

Laureando: Marco De Toffani

N° di matricola: 2010342

Anno Accademico 2022/2023

INDICE

CAPITOLO PRIMO.....	3
LA COMPOSIZIONE CORPOREA	3
1.1 I livelli di organizzazione della composizione corporea	4
1.2 I modelli compartimentali.....	5
CAPITOLO SECONDO	7
I METODI DI ANALISI	7
2.1 Metodi da campo	7
2.2 Metodi da laboratorio	12
CAPITOLO TERZO	19
LE EQUAZIONI DI PREDIZIONE DELLA COMPOSIZIONE CORPOREA SU BASE BIOELETTRICA: UNA REVISIONE SISTEMATICA	19
3.1 La storia della bioimpedenziometria (BIA)	19
3.2 Analisi qualitativa e quantitativa	21
3.3 Lavoro sperimentale.....	24
3.3.1 Materiali e Metodi	25
3.4 Risultati	26
3.4.1 Selezione degli studi.....	26
3.4.2 Rischio di bias	27
3.4.4 Modelli predittivi basati sull'impedenza bioelettrica in base al genere, alle popolazioni e alle tecnologie	31
3.4.5 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per i minori di 18 anni.....	32
3.4.6 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per adulti della popolazione generale.....	36

3.4.7 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per gli atleti.	41
3.4.8 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per gli anziani	45
3.4.9 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per persone affette da malattie	50
3.5 Discussione	54
3.5.1 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per persone di età inferiore a 18 anni	54
3.5.2 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per adulti	55
3.5.3 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per gli atleti.	56
3.5.4 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per gli anziani	56
3.5.5 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per persone affette da malattie	57
3.5.6 Limiti della revisione e prospettive future	58
3.6 Conclusioni	58

CAPITOLO PRIMO

LA COMPOSIZIONE CORPOREA

La composizione corporea e il processo di crescita rappresentano elementi fondamentali per la salute individuale. Recentemente, si è registrato un costante aumento dei tassi di obesità sia tra bambini che tra gli adulti, mettendo in evidenza l'importanza del grasso corporeo per la salute a breve e lungo termine (1). Tuttavia, è importante sottolineare che anche gli altri aspetti della composizione corporea rivestono una rilevanza parimenti significativa, e la loro misurazione è sempre più riconosciuta come un'utile e preziosa pratica nel contesto clinico.

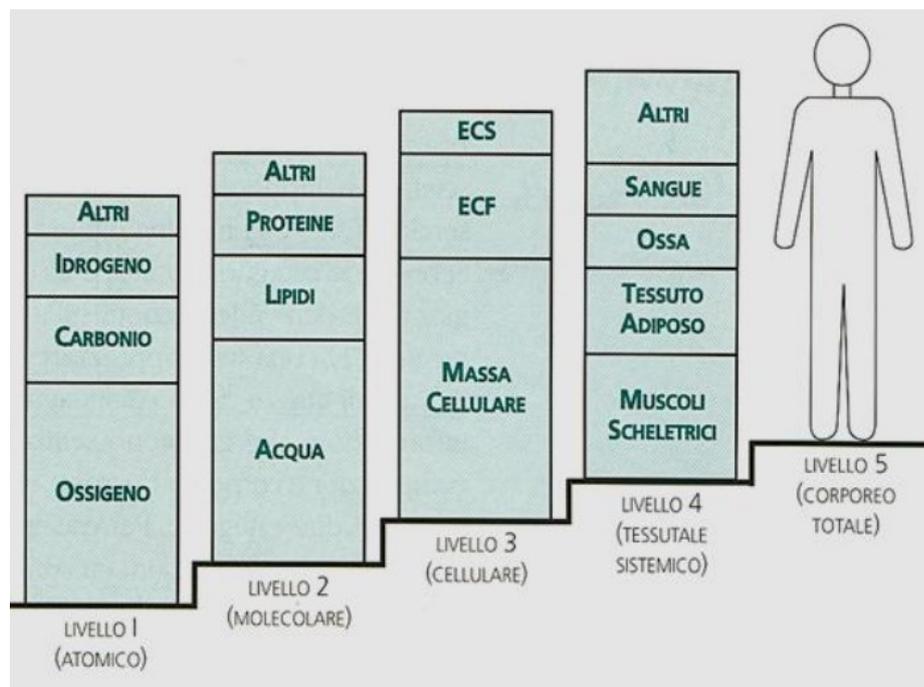
La composizione corporea si riferisce alla misura dei diversi componenti che costituiscono il corpo umano, tra cui grasso, muscolo ed acqua. La massa magra e la massa grassa sono i due aspetti principali della composizione corporea che vengono di solito presi in considerazione. La prima comprende la massa magra e la componente minerale ossea, mentre la seconda comprende il tessuto adiposo costituito da adipociti, fibre collagene ed elastiche, fibroblasti e capillari (2). La valutazione della composizione corporea fornisce non solo una stima della massa magra e della massa grassa, ma anche preziose informazioni riguardo al bilancio idrico, il quale riveste un ruolo fondamentale per il corretto funzionamento di diversi sistemi nel corpo umano, tra cui il cuore, i muscoli e il sistema nervoso.

La composizione corporea varia in base al sesso. Solitamente, gli uomini presentano una percentuale maggiore di massa magra rispetto alle donne, mentre queste ultime tendono ad avere una maggiore quantità di massa grassa rispetto agli uomini con lo stesso indice di massa corporea (BMI) (3). Tuttavia, questo indice non è in grado di fornire una valutazione accurata della vera composizione corporea di un individuo, poiché non tiene conto della distribuzione specifica del grasso corporeo all'interno dell'organismo. Inoltre, va notato che la distribuzione del tessuto adiposo varia tra i sessi, con gli uomini che tendono ad accumulare grasso principalmente nella zona

addominale e sul tronco, mentre nelle donne si riscontra solitamente una maggiore concentrazione di tessuto adiposo nelle cosce e nei fianchi (3). Negli ultimi anni, la composizione corporea ha suscitato un interesse crescente, sia da un punto di vista estetico che da quello legato alla salute. Questa crescente attenzione ha portato ad un affinamento delle tecnologie utilizzate in questo settore, consentendo una quantificazione sempre più precisa delle diverse componenti del corpo umano.

1.1 I livelli di organizzazione della composizione corporea

A seconda dei metodi di misura impiegati, si possono distinguere cinque livelli di analisi della composizione corporea: atomico, molecolare, cellulare, tissutale sistemico e corporeo totale (4), come riportato in figura:



- Livello 1 (atomico): comprende gli elementi fondamentali come ossigeno, carbonio, idrogeno, potassio, calcio, etc.
- Livello 2 (molecolare): comprende le molecole di acqua, lipidi, proteine, minerali e glicogeno.

- Livello 3 (cellulare): le molecole vengono considerate assemblate in cellule; dunque, vengono valutati la massa cellulare e i fluidi e i solidi extracellulari.
- Livello 4 (tissutale sistemico): comprende il tessuto muscolo-scheletrico, il tessuto connettivo, il tessuto osseo, il tessuto epiteliale ed il tessuto nervoso.
- Livello 5 (corporeo totale): comprende i caratteri dimensionali, gli indici antropometrici ed il somatotipo.

1.2 I modelli compartimentali

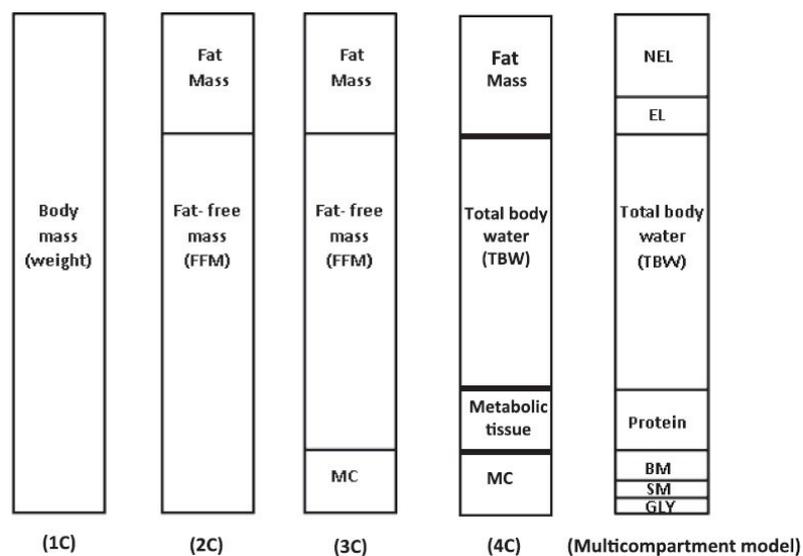
Ogni livello ha componenti diversi e sono stati ulteriormente organizzati per includere due compartimenti (2C), tre compartimenti (3C), quattro compartimenti (4C) e modelli multi-compartimentali (5,6):

- **Modello 2C:** questo modello stima sia la quantità di massa magra che quella di massa grassa e si basa sull'assunzione che il contenuto di acqua, proteine e minerali nella massa magra rimanga costante. Questi metodi, a causa del loro costo relativamente accessibile, sono comunemente utilizzati nella pratica clinica e negli ambienti dedicati al fitness e allo sport. Due esempi di questo modello possono essere la plicometria e l'analisi dell'impedenza bioelettrica (BIA) (4).
- **Modello 3C:** in questo tipo di modello viene aggiunto un terzo componente in cui la massa magra viene ulteriormente suddivisa in massa magra di tessuto e contenuto minerale osseo (5). Questo approccio si basa sulla misurazione del contenuto di minerali ossei, ma presenta ancora delle sfide in quanto possono verificarsi differenze significative nei livelli di idratazione, glicogeno e creatina muscolare nelle popolazioni atletiche. Uno dei metodi a tre compartimenti è l'assorbimetria a raggi X a doppia energia (DEXA), che consente una misurazione veloce e non invasiva della

composizione corporea regionale o totale mediante il passaggio di raggi X ad alta e bassa energia attraverso il corpo (5).

- **Modello 4C:** esso è considerato il “gold standard” in quanto è particolarmente sensibile alle variazioni individuali nella composizione della massa magra. Questo modello viene ottenuto combinando numerosi metodi che suddividono la massa corporea in grasso, minerali, e proteine. Tuttavia, è importante notare che questo metodo ha limitazioni pratiche in contesti clinici e in studi su larga scala a causa dei costi elevati, della necessità di spazio e di attrezzature specializzate (5).
- **Modelli multi-compartmentali:** questo tipo di modelli richiede un’analisi diretta degli elementi chiave presenti nel corpo. Uno dei più utilizzati è l’analisi dell’attivazione dei neutroni, che consente di misurare il contenuto totale di elementi nel corpo, tra cui calcio, sodio, cloruro, fosforo, azoto, idrogeno, ossigeno e carbonio (5). Nonostante forniscano misurazioni precise della composizione corporea, l’utilizzo regolare di tali modelli è limitato a causa della mancanza di strutture adeguate, dei costi elevati e del rischio associato all’esposizione alle radiazioni (5).

I diversi modelli sono rappresentati nella figura sottostante.



CAPITOLO SECONDO

I METODI DI ANALISI

Senza dubbio, i metodi per la valutazione della composizione corporea dovrebbero, in uno scenario ideale, garantire un uniforme grado di precisione per tutti gli individui, indipendentemente da fattori quali età, etnia, genere o stato di salute. Tuttavia, la realizzazione di tale obiettivo è ostacolata dalle intrinseche limitazioni dei metodi esistenti, risultando in notevoli disparità individuali in termini di accuratezza e precisione nelle misurazioni della composizione corporea (6).

Nel corso del tempo, sono state sviluppate diverse tecniche per valutare la composizione corporea, che spaziano dalle misurazioni indirette, come il calcolo del rapporto vita-fianchi e l'utilizzo di calibri, fino alle più sofisticate misurazioni dirette basate sulla volumetria. In aggiunta, esistono metodi più invasivi o in vitro utilizzati per analizzare la composizione corporea, come l'impiego di sostanze che influenzano l'accumulo di acqua o grasso tramite inalazione o iniezione, o mediante l'analisi chimica di campioni cadaverici (7).

Questi approcci possono essere suddivisi in due categorie distinte: i metodi da campo e quelli da laboratorio.

2.1 Metodi da campo

- **Antropometria:**

Si tratta di un metodo non invasivo che riveste un'importanza fondamentale nella valutazione dello stato nutrizionale, nell'identificazione di individui a rischio, nel monitoraggio dell'efficacia di interventi nutrizionali e nel fornire informazioni riguardo alle riserve di grasso e muscoli nel corpo (5).

L'Indice di Massa Corporea (BMI) rappresenta uno strumento ampiamente utilizzato per stimare la percentuale di grasso corporeo, in virtù della sua semplicità e della sua economia. Il calcolo del BMI si basa sulla divisione del peso corporeo in chilogrammi per il quadrato dell'altezza in metri. Il risultato ottenuto è quindi confrontato con una tabella di valutazione che permette di classificare l'individuo in diverse categorie: normopeso ($18.5 < \text{BMI} < 24.9$), sottopeso ($\text{BMI} < 18.5$), sovrappeso ($24.9 < \text{BMI} < 29.9$), obesità moderata di I classe ($30.0 < \text{BMI} < 34.9$), obesità grave di II classe ($35.0 < \text{BMI} < 39.9$) e obesità gravissima di III classe ($\text{BMI} > 40$).



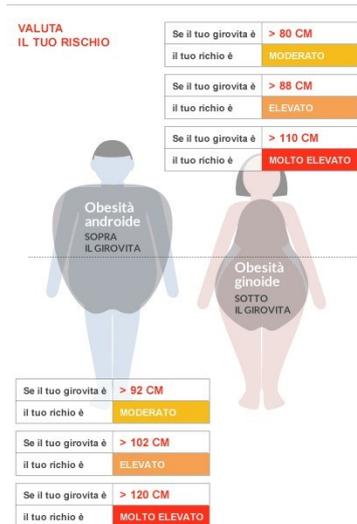
Tabella di Calcolo BMI

kg cm	45.4	47.6	49.9	52.2	54.4	56.7	59.0	61.2	63.5	65.8	68.0	70.3	72.6	74.8	77.1	79.4	81.6	83.9	86.2	88.5	90.7	93.0	95.3	97.5
152.4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
154.9	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
157.5	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
160.0	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
162.6	17	18	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	31	32	33	34	35	36	37	38
165.1	16	17	18	19	20	20	21	22	23	24	25	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	35	36
167.6	16	17	17	18	19	20	21	21	22	23	24	25	25	26	27	28	29	29	30	31	32	33	34	34
170.2	15	16	17	18	18	19	20	21	22	22	23	24	25	25	26	27	28	29	29	30	31	32	33	33
172.7	15	16	16	17	18	19	20	21	22	22	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	32	33	32
175.3	14	15	16	17	17	18	19	20	21	22	22	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	31	31
177.8	14	15	15	16	17	18	18	19	20	21	22	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	30	30
180.3	14	14	15	16	16	17	18	18	19	20	21	21	22	23	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30
182.9	13	14	14	15	16	17	17	18	19	20	21	21	22	23	23	24	25	25	26	27	27	28	29	29
185.4	13	13	14	14	15	16	17	17	18	19	20	21	21	22	23	23	24	25	25	26	27	27	28	28
188.0	12	13	14	14	15	16	16	17	18	18	19	20	21	21	22	23	23	24	25	25	26	27	27	27
190.5	12	13	13	14	15	15	16	16	17	18	18	19	20	21	21	22	23	23	24	25	25	26	26	26
193.0	12	12	13	14	14	15	15	16	17	17	18	18	19	20	21	22	22	23	23	24	25	25	25	25

■ Sottopeso (bmi < 18.5)	$\text{BMI} = \frac{\text{PESO (kg)}}{\text{ALTEZZA (m)} \times \text{ALTEZZA (m)}}$
■ Normopeso (bmi da 18.5 a 24.9)	
■ Sovrappeso (bmi da 25 a 29.9)	
■ Obesità lieve (bmi da 30 a 34,99)	
■ Obesità moderata (bmi da 35 a 39,99)	
■ Obesità grave (bmi > 40)	

○ **Circonferenza della vita:**

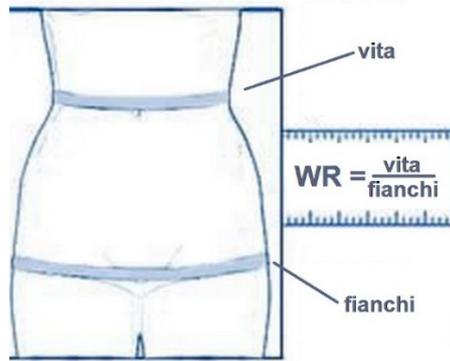
Questo metodo viene utilizzato come indicatore del grasso intra-addominale. Viene misurato con un nastro non estensibile in posizione eretta durante l'inspirazione nel punto medio tra la costola più bassa e la cresta iliaca. I valori numerici di rischio basati sulla circonferenza della vita sono dati da ≥ 102 cm negli uomini e ≥ 88 cm nelle donne (5).



○ **Rapporto vita-fianchi (WHR):**

Il rapporto vita-fianchi è un indicatore utilizzato per valutare la distribuzione del grasso corporeo e determinare se esso sia prevalentemente localizzato nella parte superiore o inferiore del corpo. Comunemente, si osserva che gli uomini tendono ad accumulare una maggiore quantità di grasso corporeo nella parte superiore del corpo, mentre le donne tendono a presentare un eccesso di grasso corporeo nella parte inferiore.

Il valore finale è calcolato dividendo la circonferenza della vita per la circonferenza dei fianchi e gli indicatori di rischio sono generalmente considerati come $\geq 1,0$ per gli uomini e $\geq 0,85$ per le donne (5). Questi valori possono fornire informazioni importanti sulla distribuzione del grasso corporeo e possono essere utilizzati per valutare il rischio di determinate condizioni legate all'accumulo di grasso in specifiche regioni del corpo.



- **Plicometria:**

Questa tecnica coinvolge la misurazione del grasso sottocutaneo mediante l'uso di plicometri con un'approssimazione di circa 0,2 mm. Tali misurazioni vengono effettuate in siti specifici del corpo, come bicipiti, tricipiti, sottoscapolare e soprailiaco, e vengono quindi utilizzate in equazioni specifiche che tengono conto dell'età e del sesso dell'individuo per calcolare i valori di densità corporea (5).

Quando questo metodo però è stato confrontato con il modello a quattro compartimenti, è emerso che l'errore medio era di circa 6,6 kg in un gruppo di adulti dell'India meridionale (5). Questo errore può derivare da diverse fonti, tra cui l'abilità del tecnico nell'effettuare le misurazioni, il tipo di plicometri utilizzati e le equazioni usate per la previsione dei valori di densità corporea.



- **Analisi dell'impedenza bioelettrica (BIA):**

Questa tecnica utilizza le proprietà bioelettriche del corpo per stimare la composizione corporea, coinvolgendo la misurazione dell'impedenza (Z) alla conduzione di una corrente elettrica a bassa intensità (800 μ A) e a una frequenza costante (50 kHz). Il tessuto magro, composto principalmente da acqua ed elettroliti, rappresenta un efficace conduttore elettrico, mentre il tessuto adiposo, che contiene poca o per niente acqua, risulta essere un conduttore meno efficiente.

In diversi studi, è emerso che la BIA tende a sottostimare leggermente la percentuale di grasso corporeo rispetto al modello 4C.

Alcuni potenziali fattori di errore associati all'utilizzo della BIA includono differenze nella lunghezza degli arti, il livello di attività fisica dell'individuo, lo stato nutrizionale, il livello di idratazione corporea, i parametri chimici nel sangue, il ciclo mestruale nelle donne e la precisione nel posizionamento degli elettrodi da parte dell'operatore (5,7).



2.2 Metodi da laboratorio

○ **Pesatura idrostatica (UWW):**

La pesatura idrostatica, o idro-densitometria, è un metodo che si basa sul principio di Archimede per stimare la composizione corporea. In questo processo, si valuta la quantità di massa magra e massa grassa di un individuo misurando la variazione del peso corporeo nell'acqua. In sostanza, un individuo con una percentuale più elevata di massa magra avrà un peso maggiore nell'acqua e, di conseguenza, una percentuale di grasso corporeo più bassa, poiché ossa e muscoli sono più densi dell'acqua e quindi affonderanno, mentre il grasso galleggerà.

Al contrario, una maggiore quantità di massa grassa renderà il corpo più leggero nell'acqua, determinando una percentuale di grasso corporeo maggiore (5,7).

Utilizzando un modello a due compartimenti con densità differenti per la massa magra e la massa grassa, e correggendo per il volume di aria presente nei polmoni, è possibile calcolare la percentuale complessiva di grasso corporeo. È importante notare però, che questo metodo non fornisce informazioni sulla distribuzione specifica di tessuto magro e tessuto grasso nel corpo.



- **Pletismografia a spostamento d'aria (ADP):**

Questo metodo, in alcuni aspetti simile all'UWW, valuta la densità corporea totale, permettendo di calcolare la quantità complessiva di grasso corporeo e massa magra, ma non fornisce informazioni sulla loro distribuzione nel corpo. La stima del volume corporeo avviene misurando la differenza di volume d'aria in una camera vuota prima e dopo che l'individuo vi si è posizionato. Il tempo necessario per questa è approssimativamente compreso tra 5 e 8 minuti per ciascun individuo (5).

È importante notare che, simile alla pesatura idrostatica, anche l'ADP è influenzata da fattori di confondimento, principalmente le variazioni nel contenuto minerale osseo e il livello di idratazione corporea. Inoltre, sia l'ADP che la pesatura idrostatica sono in grado di fornire solamente una valutazione della composizione corporea complessiva, senza la capacità di stimare la distribuzione specifica di grasso o muscoli in diverse regioni del corpo (7).



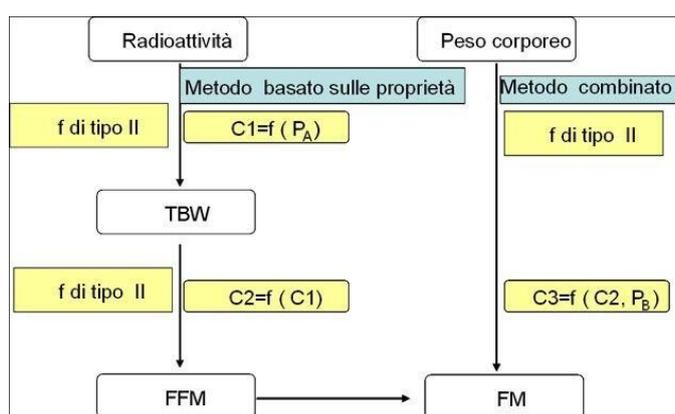
- **Diluizione isotopica (idrometria):**

L'idrometria si fonda sul principio della diluizione, in cui è possibile stimare la quantità complessiva di acqua corporea (solvente) conoscendo la concentrazione e la quantità di un tracciante (isotopo). Poiché l'acqua corporea totale costituisce generalmente tra il 40% e il 60% del peso corporeo umano ed è principalmente presente nella massa magra, questo metodo consente di stimare quest'ultima (5).

Gli isotopi stabili comunemente utilizzati in questo contesto sono $^2\text{H}_2\text{O}$ e ^{18}O . Prima dell'assunzione del tracciante, vengono raccolti campioni di fluidi corporei come saliva, urina o sangue, al fine di determinare i livelli iniziali del tracciante. Successivamente, vengono raccolti campioni dopo 3-4 ore, tempo sufficiente per raggiungere un equilibrio isotopico. Questi campioni permettono di misurare la concentrazione del tracciante, che può quindi essere utilizzata per calcolare la quantità totale di acqua corporea. Di solito, si assume un fattore di idratazione del 73%, e la massa magra viene stimata a partire dalla quantità totale di acqua corporea utilizzando questa ipotesi, poiché nella maggior parte delle specie la percentuale di acqua nella massa magra si situa tra il 70% e il 76% (5).

Va notato che diversi fattori possono contribuire a fonti di errore in questo metodo, tra cui le variazioni nel tipo di fluido misurato, il tempo necessario per raggiungere l'equilibrio isotopico, la correzione per lo spazio di diluizione e il metodo di analisi utilizzato per misurare l'arricchimento isotopico (5).

L'ampio utilizzo di questo metodo è limitato dai costi associati agli isotopi e dalla necessità di competenze tecniche specializzate per analizzare i risultati.



- **Assorbimetria a raggi X a doppia energia (DEXA):**

Il metodo DEXA è una tecnica utilizzata per misurare il grasso corporeo, la massa muscolare e il contenuto minerale osseo totale del corpo

mediante l'uso di due differenti energie dei raggi X. Il principio cardine di questa metodologia è basato sulla misurazione dell'attenuazione dei raggi X, la quale è misurabile e dipende dallo spessore del tessuto attraversato e dal suo coefficiente di attenuazione (5). Le variazioni nell'attenuazione dei raggi X attraverso i tessuti sono causate da differenze nella densità e nella composizione chimica tra il grasso, la massa magra e le ossa. Durante una sessione di misurazione con DEXA, il paziente è posizionato su un lettino mentre un fascio di raggi X passa dalla parte posteriore all'anteriore del corpo verso un rilevatore. Questo metodo è noto per la sua rapidità, la bassa esposizione alle radiazioni e la capacità di valutare la composizione corporea sia a livello globale che regionale (5).

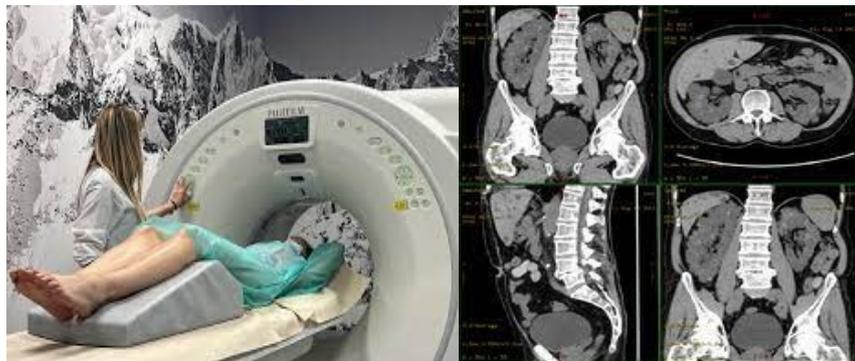
Una delle limitazioni del metodo DEXA è che assume che la quantità di grasso presente sulle ossa sia uguale a quella presente nei tessuti privi di osso, quando in realtà questa quantità può variare. Questo costituisce un significativo ostacolo nella stima della percentuale di grasso corporeo. Inoltre, l'analisi DEXA si basa sull'assunzione di un costante grado di idratazione nei tessuti molli magri, ma è noto che questo può variare in base all'età, al sesso e alle condizioni di salute (5,7).

Tuttavia, nonostante queste limitazioni, il metodo DEXA è considerato il "gold standard" per la valutazione della composizione corporea, sia a livello globale che segmentale, grazie alla sua elevata sensibilità e riproducibilità nella quantificazione della massa magra e della massa grassa.



- **Tomografia computerizzata (TC):**

La tomografia computerizzata è una tecnica che offre un volume di immagine tridimensionale ad alta risoluzione di parti specifiche o dell'intero corpo, ottenuto attraverso una serie di proiezioni di raggi X eseguite da diverse angolazioni (7). Le differenze di attenuazione tra i raggi X del tessuto molle magro e del tessuto adiposo vengono utilizzate per separare questi tessuti (5). La TC è in grado di quantificare con grande precisione il contenuto di grasso nel tessuto muscolare scheletrico e nel fegato. Tuttavia, in molti casi, questa tecnica è limitata all'analisi bidimensionale di una o di un numero limitato di sezioni trasversali del corpo. Questa limitazione è dovuta alla necessità di minimizzare la porzione del corpo sottoposta a scansione al fine di ridurre l'esposizione alle radiazioni ionizzanti (7).



- **Imaging a risonanza magnetica (MRI):**

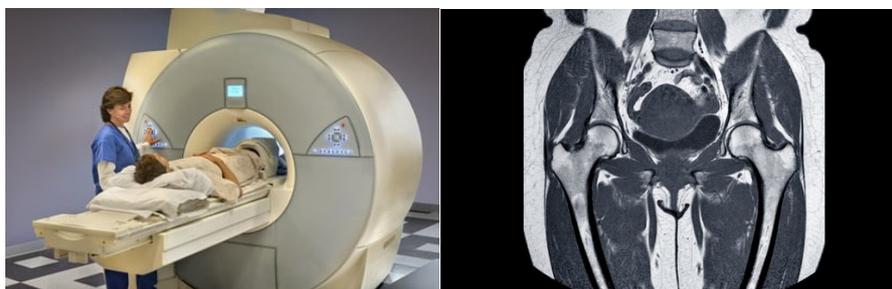
Le immagini dei tessuti molli nel corpo possono essere prodotte dalla risonanza magnetica, che utilizza le diverse proprietà magnetiche dei nuclei degli elementi nella cellula, solitamente idrogeno in acqua e grasso (5).

Utilizzando una tecnica nota come "imaging quantitativo dell'acqua grassa", che si basa sull'imaging Dixon, è possibile ottenere misurazioni precise della distribuzione dei tessuti adiposi e magri in diverse regioni del corpo, nonché dell'accumulo diffuso di grasso in vari organi. Questa

metodologia sfrutta le diverse frequenze di risonanza magnetica dei protoni nel grasso e nell'acqua per separare i due segnali, generando un'immagine specifica per il grasso e un'altra per l'acqua. Successivamente, mediante processi di post-elaborazione, è possibile calibrare l'immagine per ottenere una misura quantitativa della massa grassa (7).

Una caratteristica distintiva della risonanza magnetica rispetto a tecniche come la TC e la DEXA è l'assenza di radiazioni ionizzanti, il che rende possibile valutare la composizione corporea nella maggior parte dei soggetti, inclusi i neonati.

Tuttavia, va notato che l'analisi della composizione corporea tramite risonanza magnetica è spesso limitata dalla scarsa disponibilità di strumenti idonei per l'analisi delle immagini tridimensionali, quindi di solito viene effettuata su sezioni del corpo in formato mono o bidimensionale (5).

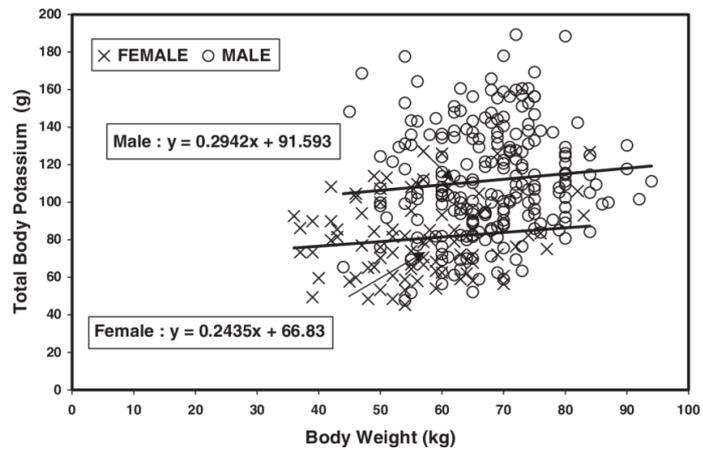


- **Potassio corporeo totale (TBK):**

Questo metodo è il migliore approccio per misurare la massa cellulare corporea (BCM), che costituisce la componente metabolicamente attiva dell'organismo. Questa BCM comprende più del 98% del contenuto complessivo di potassio nel corpo e coinvolge organi, muscoli e cellule del sangue (5).

Nel corso delle misurazioni TBK, il soggetto sottoposto all'esame assume una posizione supina e rimane in questa posizione per un periodo di 30 minuti su un letto mobile che si sposta sotto dei rilevatori.

Questi rilevatori sono in grado di misurare l'intero corpo, suddiviso in tre segmenti, con scansioni effettuate a intervalli di dieci minuti ciascuna. Il TBK viene stimato utilizzando la proporzione costante di ^{40}K rispetto ai suoi principali isotopi stabili. Da questo è possibile stimare la massa cellulare corporea che è data da $0,0092 \times \text{TBK (mmol)}$ (5).



CAPITOLO TERZO

LE EQUAZIONI DI PREDIZIONE DELLA COMPOSIZIONE CORPOREA SU BASE BIOELETRICA: UNA REVISIONE SISTEMATICA

3.1 La storia della bioimpedenziometria (BIA)

Negli anni '60 è stata introdotta la tecnica dell'analisi dell'impedenza bioelettrica, la quale è stata ulteriormente migliorata negli anni '80 per affrontare problemi come costi elevati, dispositivi complessi e la necessità di personale altamente qualificato, che limitavano la sua applicazione nella ricerca e nell'ambito sportivo (8).

Il primo metodo utilizzato per misurare l'impedenza bioelettrica è stato la spettroscopia di impedenza bioelettrica (BIS), che sfrutta un intervallo di frequenze da 4 a 1000 kHz per stimare l'impedenza corporea e l'angolo di fase. Da questi dati, viene calcolata la reattanza bioelettrica (X_c), per poi attraverso dei modelli matematici stimare i valori di resistenza intra ed extracellulare (8).

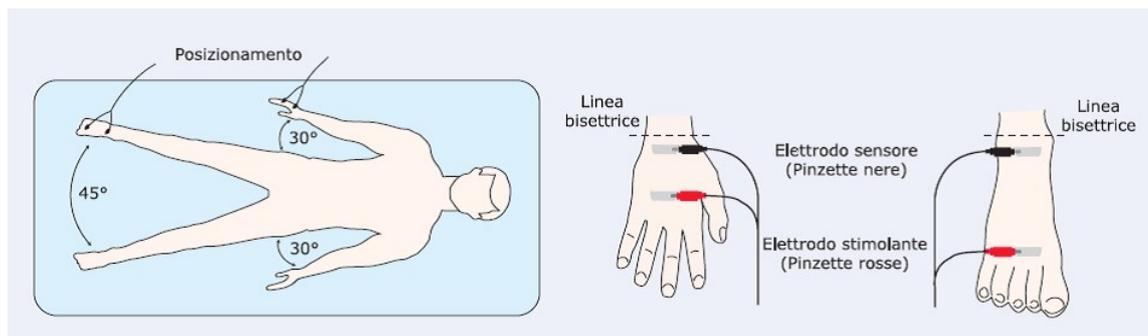
Con la BIA invece, che può essere a singola frequenza o multifrequenza, l'impedenza viene suddivisa in resistenza e reattanza. La resistenza rappresenta l'opposizione al passaggio di una corrente alternata nei fluidi intracellulari ed extracellulari, mentre la reattanza è associata alle membrane cellulari ed è la componente capacitiva dell'impedenza (8). Questo permette di valutare la distribuzione dei fluidi nel corpo.

Nonostante la bioimpedenziometria sia vantaggiosa per la sua convenienza, portabilità ed efficienza in termini di tempo, sono sorte alcune preoccupazioni nel suo utilizzo (8). Ad esempio, sono disponibili diversi dispositivi con tecnologie altrettanto diverse, il che rende difficile il confronto tra di loro poiché ciascun dispositivo emette dei valori differenti in base alla frequenza di campionamento e all'affidabilità (8). Inoltre, è essenziale standardizzare le procedure poiché fattori come la posizione degli elettrodi,

lo stato nutrizionale e la posizione del corpo possono influenzare i risultati. Alcuni dispositivi forniscono dati grezzi per essere utilizzati nelle equazioni di regressione, mentre altri forniscono direttamente i parametri relativi alla composizione corporea, limitando la possibilità di un'ulteriore analisi qualitativa (8).

A questo proposito vengono mostrate le raccomandazioni generali per la BIA utilizzando la tecnica da piede a mano (8):

- Dispositivo: devono essere riportati la frequenza, l'amperaggio e il tipo di segnale misurato (come impedenza, R, Xc o angolo di fase).
- Elettrodi: va riportato il tipo e la dimensione degli elettrodi forniti dal produttore.
- Calibrazione: è necessario utilizzare un modulo di verifica elettronica con una tolleranza di $\pm 1\%$ per valutare la precisione del dispositivo.
- Antropometria: la massa corporea e la statura devono essere riportate rispettivamente con l'approssimazione di $\pm 0,1$ kg e $\pm 0,5$ cm e misurate ogni volta.
- Ambiente: la misurazione deve avvenire ad una temperatura esterna compresa tra $22,3$ °C e $27,7$ °C.
- Ciclo mestruale: la fase del ciclo mestruale dovrebbe essere specificata e le valutazioni della composizione corporea nelle donne dovrebbero essere eseguite nella stessa fase del ciclo mestruale.
- Valutazione della composizione corporea: dovrebbero essere utilizzate equazioni di regressione validate ed ellissi di tolleranza BIVA per gli atleti. Inoltre, sia le equazioni di regressione che le ellissi di tolleranza BIVA dovrebbero fare riferimento alla frequenza utilizzata per convalidarle.



3.2 Analisi qualitativa e quantitativa

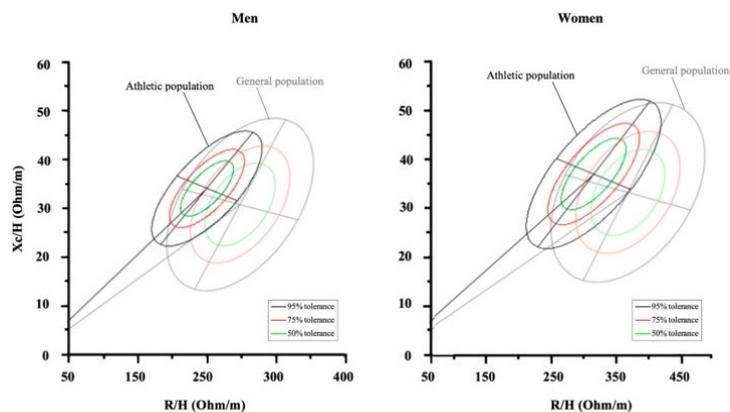
Le differenze tra i dispositivi possono essere ottenute variando le procedure e le tecnologie, e quest'ultime possono essere: da mano a mano, da gamba a gamba, segmentale diretta e da piede a mano. La prima tecnologia misura l'impedenza della parte superiore del corpo, stimando il resto del corpo attraverso algoritmi dedicati. Al contrario, la tecnologia gamba a gamba misura l'impedenza della parte inferiore del corpo, stimando il resto. La tecnologia segmentale diretta invece, misura l'impedenza di tutto il corpo. Questi tre tipi di tecnologia non dipendono dall'esperienza dell'operatore in quanto si utilizzano una piattaforma bilancia e/o degli elettrodi ad impugnatura. Il quarto tipo invece, utilizza degli elettrodi applicati da un operatore e, il posizionamento di tali, potrebbe influire sull'output dei dati grezzi, mostrando quindi possibili differenze tra gli operatori (8). Pertanto, i dati grezzi potrebbero essere utilizzati per un approccio quantitativo o qualitativo nella valutazione della composizione corporea:

- **Analisi qualitativa:** per un'analisi qualitativa si deve tenere conto di diversi fattori come l'angolo di fase, l'analisi della bioimpedenza localizzata e l'analisi vettoriale dell'impedenza bioelettrica (BIVA). L'angolo di fase bioelettrico rappresenta un approccio qualitativo all'analisi della composizione corporea valutata dalla BIA ed è calcolato come arcotangente di $X_c/R \times 180^\circ/\pi$ (8). Alcuni studi hanno mostrato come l'angolo di fase rappresenti principalmente il rapporto acqua intra/extracellulare, i cui

cambiamenti possono indicare spostamenti di liquidi tra i compartimenti, come risultato di disidratazione, infiammazione o danno cellulare. Valori più elevati di angolo dell'angolo di fase sono associati a una maggiore massa muscolare o disidratazione acuta, mentre valori più bassi dell'angolo di fase sono correlati a una minore massa muscolare, iperidratazione acuta o disidratazione cronica (8).

L'angolo di fase viene anche utilizzato per verificare il recupero dalla lesione da sforzo muscolare, dove i valori inferiori indicano uno stato infiammatorio dovuto all'incremento del liquido extracellulare dopo una rottura cellulare (8).

L'analisi qualitativa tramite BIVA consiste nell'interpretazione dei parametri grezzi di bioimpedenza ed evita l'uso delle equazioni di regressione. Con la BIVA non è possibile stimare i parametri della composizione corporea, ma la posizione del vettore può essere valutata all'interno di ellissi di tolleranza disegnate per ogni specifica popolazione (atleti, popolazione generale, bambini, ecc.).



- **Analisi quantitativa:** in questo tipo di analisi avviene una stima delle variabili di composizione corporea attraverso delle equazioni predittive. Le equazioni di regressione basate sull'impedenza bioelettrica, che di solito includono la statura, il peso, l'età e il sesso, trasformano l'impedenza elettrica misurata

e le sue componenti di R e Xc in volume intra ed extracellulare, massa grassa, massa magra, massa cellulare e altre variabili (8). La massa magra altamente idratata è un buon conduttore elettrico, mentre il tessuto adiposo scarsamente idratato è un isolante elettrico; pertanto, l'acqua corporea totale e l'impedenza sono correlate negativamente e i cambiamenti nella prima influenzano anche i cambiamenti nella seconda. È stato poi introdotto da Lukaski l'indice di impedenza, ovvero il rapporto tra il quadrato della statura in centimetri e la resistenza in ohm, dimostrato come predittivo della massa magra, dell'acqua corporea totale e della massa cellulare corporea; è stato, quindi, inserito in tutte le equazioni di regressione per la stima della composizione corporea (8).

Ad oggi, sono state implementate numerose equazioni di regressione per gli atleti ed hanno mostrato un'elevata capacità predittiva e un basso errore per ciascun parametro. Queste equazioni richiedono solo massa corporea e statura, oltre a R e Xc, da inserire e sono state sviluppate per entrambi i sessi e successivamente validate su diversi gruppi di atleti. La BIA, quindi, può essere utilizzata per valutare un'ampia gamma di parametri di composizione corporea, che teoricamente richiedono un dispositivo dedicato per essere facilmente utilizzati nella pratica (8).

È chiaro, dunque, che la composizione corporea è determinata dalla quantità e dalla qualità di diversi elementi, che incidono sulle prestazioni e sulla salute degli atleti. Attraverso l'analisi quantitativa è possibile stimare e valutare il contenuto idrico totale corporeo, intracellulare ed extracellulare in relazione alla massa corporea o massa magra; d'altra parte, utilizzando riferimenti di popolazione appropriati consente al metodo BIVA di quantificare e classificare l'idratazione, indipendentemente dalla massa corporea (8).

3.3 Lavoro sperimentale

Partendo dalle relazioni tra resistenza e reattanza tramite TBW (9), nel corso degli anni sono state sviluppate numerose equazioni predittive basate sulla BIA (10). Precedenti studi hanno dimostrato che la scelta dell'equazione è fondamentale per ottenere stime accurate delle componenti della massa corporea e dovrebbe essere effettuata considerando le caratteristiche dei soggetti quali età cronologica e biologica, provenienza geografica, sesso, stato di salute e livello di attività fisica (11–13). Inoltre, poiché l'uso di diverse tecnologie BIA (mano a mano, gamba a gamba, piede a mano e segmentale) e frequenze di campionamento si traduce in risultati diversi, queste equazioni non possono essere intercambiabili tra diversi dispositivi (14–16).

Oggi la letteratura è ricca di equazioni predittive sviluppate per stimare la composizione corporea utilizzando la BIA. Tuttavia, diverse limitazioni possono mettere in dubbio la validità di alcune equazioni.

Innanzitutto, l'utilizzo di un modello a due componenti invece di un approccio del modello multicomponente. In secondo luogo, l'uso di procedure sub-standard anziché gold standard come riferimento. In terzo luogo, il fatto che uno o più fattori di moderazione non siano stati considerati nello sviluppo delle equazioni. Pertanto, la presente revisione sistematica mirava a esaminare la letteratura pertinente per estrarre tutte le equazioni predittive attualmente disponibili ed elencare solo le equazioni predittive che possono essere considerate libere dalle limitazioni di cui sopra, fornendo una chiara organizzazione in base alla tecnologia BIA, alla frequenza di campionamento e alle caratteristiche della popolazione. Tale elenco aiuterà scienziati e professionisti a selezionare le equazioni predittive più appropriate in conformità con i dispositivi BIA e le peculiarità della popolazione. Inoltre, sarà utile anche per ottimizzare lo sviluppo di nuove equazioni predittive considerando ciò che attualmente manca in letteratura.

3.3.1 Materiali e Metodi

Il seguente studio è stato condotto seguendo le linee guida per i report di revisioni sistematiche e meta-analisi (PRISMA) (17) , con ricerche sistematiche anche in Scopus e PubMed. Le principali parole chiave per la strategia di ricerca hanno incluso “analisi dell’impedenza bioelettrica”, “BIA”, “sviluppo”, “equazione predittiva”, “modello di regressione”, “composizione corporea”, “massa magra”, “massa grassa”, “acqua corporea totale”, “massa muscolare scheletrica”, “tessuti molli”, “massa cellulare”, “acqua intracellulare”, “acqua extracellulare”, “bambini”, “adolescenti”, “giovani”, “adulti”, “atleti”, “giocatori” e “anziani”.

I criteri di inclusione sono stati:

- Articoli sottoposti a revisione paritaria che hanno sviluppato almeno un’equazione predittiva per la stima dei componenti della massa corporea utilizzando la BIA.
- Articoli accessibili con l’intero testo in inglese.

I criteri di esclusione sono stati:

- Protocolli di ricerca, tesi/dissertazioni, abstract, lettere al curatore, case report, capitoli di libri, linee guida, paper di posizione e lavori inediti.
- Articoli mirati a sviluppare equazioni predittive rispetto a tecniche di riferimento non riconosciute o considerare una valutazione della composizione corporea basata su un modello bicompartimentale.
- Articoli volti a validare equazioni predittive.
- Articoli in cui le caratteristiche dei dispositivi BIA non erano disponibili (ad esempio tecnologia e frequenza di campionamento).
- Articoli in cui sono state sviluppate equazioni predittive mescolando diverse popolazioni senza includere variabili come

sesto, stato di maturità o età nello sviluppo dei modelli di regressione.

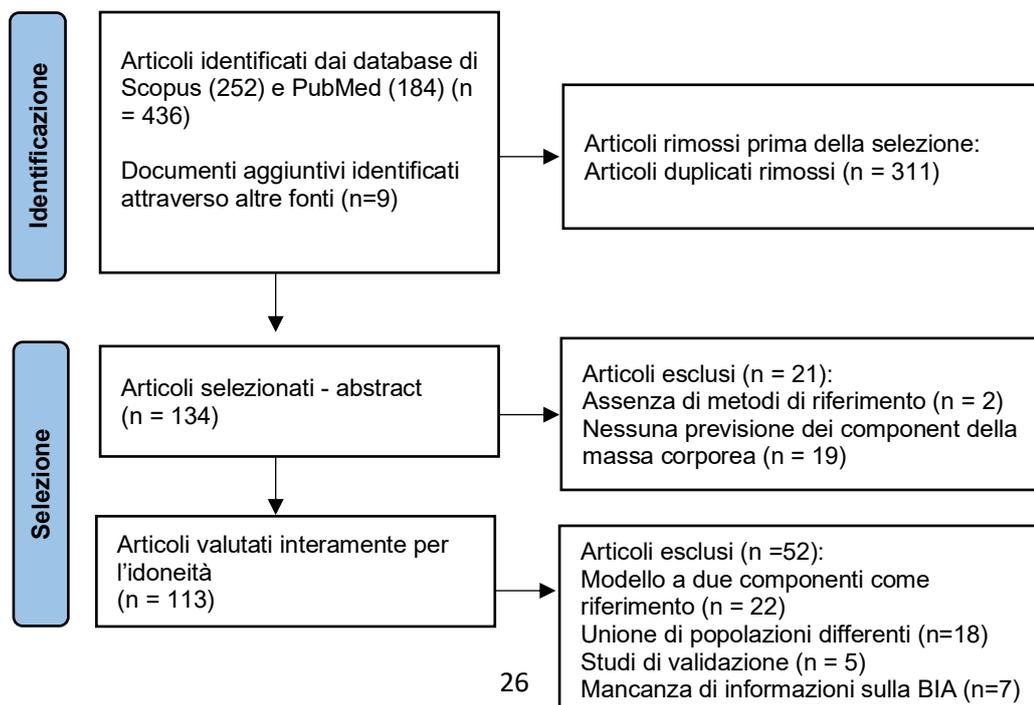
Sulla base dei titoli iniziali recuperati, i duplicati sono stati rimossi. Gli abstract identificati dalle ricerche bibliografiche sono stati selezionati per una potenziale inclusione da due autori e da un terzo autore quando si verificava un disaccordo tra i primi due.

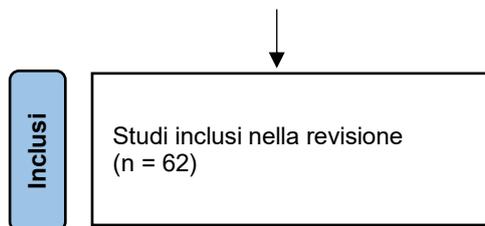
L'estrazione dei dati ha incluso informazioni su ciascun articolo, come: autori, anno, metodi di riferimento, informazioni sui partecipanti (sesto, età, sport, malattia), tecniche e dispositivi di bioimpedenza, equazioni predittive e loro caratteristiche. Gli studi selezionati sono stati raggruppati in cinque categorie, quali soggetti di età inferiore a 18 anni, adulti, atleti, anziani e persone malate.

3.4 Risultati

3.4.1 Selezione degli studi

Dai 62 studi inclusi nella revisione sono risultati un totale di 98 equazioni predittive basate sulla BIA. Il diagramma di flusso PRISMA è mostrato in figura.





3.4.2 Rischio di bias

Una visione dettagliata della valutazione della qualità è presentata nella Tabella supplementare 1. Nel complesso, la qualità degli studi (18,19) è stata buona. Il rischio di bias è stato elevato in due studi e poco chiaro in sette (20–26) a causa del coefficiente di determinazione (R^2) da basso a moderato risultante dallo sviluppo dei modelli. Le preoccupazioni sull'applicabilità erano elevate in 16 studi (21,22,24,27–38) e poco chiare in 12 studi (26,39–49) a causa della dimensione limitata del campione.

Tabella supplementare 1. Qualità degli studi inclusi utilizzando Quadas-2 (Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies)

Studi	Rischio di Bias				Preoccupazioni sull'applicabilità		
	Selezione dei pazienti	Indice del test	Standard di riferimento	Flusso e tempistica	Selezione dei pazienti	Indice del test	Standard di riferimento
Lukaski et al. (1988)	😊	😊	😊	😊	😞	😊	😊
Heitmann et al. (1990)	😊	😊	😊	😊	😞	😊	😊
Svendsen et al. (1991)	😊	😊	😊	😊	😞	😊	😊
Zillikens et al. (1991)	😊	😊	😊	😊	😞	😊	😊
Guo et al. (1993)	😊	😊	😊	😊	😞	😊	😊
Roubenoff et al. (1997)	😊	😊	😊	?	😊	😊	😊
Scalfi et al. (1997)	😊	😊	😊	😊	😞	😊	😊
Jakicic et al. (1998)	😊	😊	😊	😞	😊	😊	😊
Fornetti et al. (1999)	😊	😊	😊	😊	?	😊	😊
Janssen et al. (2000)	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
(50)	😊	😊	😊	😊	😞	😊	😊
Dittmar et al. (2001)	😊	😊	😊	😊	?	😊	😊

Morrison et al. (2001)(51)							
(52)							
Dey et al. (2003)							
Kyle et al. (2003)							
Leman et al. (2003)				?			
Pietrobelli et al. (2003)							
Takashi et al. (2004)							
Kontogianni et al. (2005)					?		
Van Baar et al. (2005)					?		
Macdonald et al. (2006)					?		
Rush et al. (2006)							
Nielsen et al. (2007)							
Wickramasinghe et al. (2007)							
Kanellakis et al. (2009)							
Tengvall et al. (2009)							
Oshima et al. (2010)							
Sluyter et al. (2010)							
Chao et al. (2011)							
Jiménez et al. (2012)							
Rush et al. (2013)				?			
Kim et al. (2014)							
Sergi et al. (2014)							
Yoshida et al. (2014)							
Hughes et al. (2015)					?		
Rangel Peniche et al. (2015)				?			
Langer et al. (2016)							
Matias et al. (2016)				?			
De Rui et al. (2017)							
Scafoglieri et al. (2017)				?			
Koury et al. (2018)							
Vermerien et al. (2018)							
Barbosa-Silva et al. (2019)					?		
Dasgupta et al. (2019)							

Van Zyl et al. (2019)	😊	😊	😊	😊	😞	😊	😊
Jeon et al. (2020)	😊	😊	😊	😊	?	😊	😊
Kanellakis et al. (2020)	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Nguyen et al. (2020)	😊	😊	😊	😊	😞	😊	😊
Sardinha et al. (2020)	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Xu et al. (2020)	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Choi et al. (2021)	😊	😊	😊	?	?	😊	😊
Gutiérrez-Marín et al. (2021)	😊	😊	😊	😊	😞	😊	😊
Kourkoumelis et al. (2021)	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Lin et al. (2021)	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Matias et al. (2021)	😊	😊	😊	😊	?	😊	😊
Toselli et al. (2021)	😊	😊	😊	😊	😞	😊	😊
Da Costa et al. (2022)	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Kim et al. (2022)	😊	😊	😊	😊	?	😊	😊
Sardinha et al. (2023)	😊	😊	😊	😊	?	😊	😊
Matias et al. (2023)	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊

😊: rischio basso; 😞: rischio alto; ?: rischio non chiaro

3.4.3 Partecipanti

Sono stati un totale di 41648 persone in questa revisione sistematica, di cui 18884 maschi e 22351 femmine. Tre studi invece, che hanno coinvolto 266 (53), 72 (32) e 75 (45) soggetti, non hanno specificato il sesso dei partecipanti.

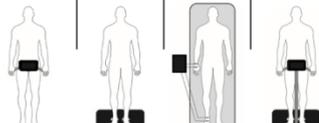
Un totale di 1.851 partecipanti (n=695 maschi, n=890 femmine e n=266 senza informazioni sul sesso) sono stati inclusi in 14 studi (21,22,27–30,35,37,38,53–57) mirati a sviluppare equazioni predittive per soggetti di età inferiore ai 18 anni.

Un totale di 32978 partecipanti (n=15125 maschi, n=17781 femmine e 72 senza informazioni sul sesso) sono stati inclusi in 14 studi (19,22,32,34,41,43,46,58–65) mirati a sviluppare equazioni predittive per gli adulti della popolazione generale di età compresa tra i 18 e i 65 anni.

3.4.4 Modelli predittivi basati sull'impedenza bioelettrica in base al genere, alle popolazioni e alle tecnologie

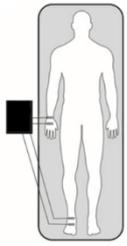
La figura sottostante schematizza il numero di equazioni disponibili per ciascuna tecnologia BIA (ad esempio, mano a mano, gamba a gamba, piede a mano e segmentale) in base al sesso e alla popolazione:

	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
Disease	0	0	0	0	4	2	2	7
Elderly	0	0	0	0	18	17	3	3
Athletes	0	0	0	0	8	8	0	4
Adults	0	0	0	0	24	23	5	5
<18	0	0	0	0	11	8	5	5



Le prossime due immagini mostrano il numero delle equazioni predittive per ciascuna componente stimabile della massa corporea, in base al sesso e alla popolazione, rispettivamente per le tecnologie piede a mano e segmentale: (FM=massa grassa, FFM=massa magra, TBW=acqua corporea totale, SMM=massa muscolare scheletrica, LST=massa magra molle).

	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
Disease	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
Elderly	1	1	8	7	0	0	0	0	1	1	1	1	6	6
Athletes	0	0	4	4	1	1	1	1	0	0	0	0	2	2
Adults	0	0	5	4	2	2	0	0	0	0	2	2	10	10
<18	0	0	5	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	FM		FFM		TBW		ECW		BCM		SMM		LSM	





	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
Disease	1	1	1	6	1	0	0	0	0	0
Elderly	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
Athletes	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Adults	0	0	3	3	0	0	2	2	1	1
<18	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0
	FM		FFM		TBW		SMM		LSM	

3.4.5 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per i minori di 18 anni

Di seguito, la tabella 1 riporta le caratteristiche delle 17 equazioni predittive sviluppate in 14 studi su soggetti di età inferiore ai 18 anni appartenenti alla popolazione generale. Tredici equazioni predittive da 11 studi sono state sviluppate con un SF-BIA, mentre quattro equazioni predittive da tre studi sono state sviluppate con MF-BIA utilizzando parametri bioelettrici misurati a 50 kHz.

Tabella 1. Equazioni predittive (N = 17) da studi (N = 14) su persone di età inferiore a 18 anni che costituiscono la popolazione generale.

Autore	Variabile misurata	Analizzatore	Metodo di riferimento	Equazione	Caratteristiche dei partecipanti	R2	VEDER E	Nota			
PIEDE A MANO											
SF-BIA	Guo et al. (1993)	RJL 101 BIA, RJL Systems Inc, Stati Uniti	DXA	Ragazze nere $FFM (kg) = -12,37 + 0,58 \times H^2/R + R + 0,59 \times$ circonferenza coscia - 0,45 plica sottoscapolare + 0,25 plica soprailiaca	Ragazze nere USA (N = 69; età 11,9 ± 2,08 anni)	0,97	1,97 chilogra mmi	Tutte le pliche cutanee e le circonferenze sono espresse in cm			
				$FFM_{\text{bianco ragazze}} (kg) = 3,71 + 0,38 \times H^2/R - 0,57 \times$ braccio circonferenza + 0,54 × Wt + 58,07 × Xc /R	Ragazze bianche USA (N = 38; età 11,9 ± 2,0 anni)	0,99	1,14 chilogra mmi				
	Morrison et al. (2001)			FFM	RJL 101 BIA, RJL Systems Inc, Stati Uniti	DXA	$FFM (kg) = -6,41 + 0,56 \times H^2/R + 0,34 \times$ Peso + 0,06 × Xc	Ragazze USA (N = 126; età 11,2 ± 2,5 anni)	0,99	1,14 chilogra mmi	
	Leman et al. (2003)			TBT	BIA01Q, RJL Systems Inc., Stati Uniti	Idrometria	$TBW (L) = 1,67 + 0,35 \times H^2/R + 0,24 \times$ Peso - 0,74 × sesso	7 maschi (14,4 ± 2,7 anni) e 22 femmine (11,9 ± 3,9 anni) bambini nigeriani	0,70	0,99 1	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
Takashi et al. (2004)	TBT	TP-95K, Toyo Physical, Giappone	Idrometria	$TBW (kg) = 0,149 \times H^2/R + 0,244 \times$ Peso + 0,460 × età + 0,501 × sesso + 1,628	26 maschi (età 4,9 ± 0,9 anni) e 20 femmine (età 5,2 ± 0,8 anni) bambini giapponesi	0,90	0,44 chilogra mmi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0			

Nielsen et al. (2007)	FFM	RJL 103 BIA, RJL Systems Inc, Stati Uniti	DXA	$FFM (kg) = -5,11 \times [\pm 2,19] + H^2 / R \times 0,54 \times [\pm 0,05] + Xc \times 0,05 [\pm 0,02] + H \times 0,06 [\pm 0,02] + Peso \times 0,09 [\pm 0,03] + sesso \times 0,97 \times [\pm 0,20]$	52 maschi e 49 femmine (età 9-11 anni) bambini svedesi	0,95	0,87 chilogrammi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
Wickramasinghe et al. (2007)	TBT	Bodystat Ltd, Isole britanniche	Idrometria	$TBW (L) = 0,41 \times H^2 / R + 0,17 \times Peso + 1,1 \times sesso + 0,44$	105 maschi (9,5 ± 2,7 anni) e 83 femmine (10,1 ± 2,8 anni) bambini dello Sri Lanka	0,86	2,10 chilogrammi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
Rush et al. (2013)	FFM	BIM4, Impedito, Australia	DXA	$FFM (kg) = 0,367 \times H^2 / R + 0,188 \times Peso + 0,077 \times A + 0,273 \times sesso - 2,490$	35 maschi e 42 femmine (età 22–38 mesi) figli dell'isola del Pacifico	0,89	0,50 chilogrammi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
Kourkoumelis et al. (2021)	TBT	Impedimed DF50 Impedimed Ltd, Stati Uniti	Idrometria	$TBW (kg) = 0,44 \times H^2 / R + 0,12 \times Peso + 0,33 \times sesso + 1,5$	Bambini europei (N = 266; età 7-15 anni)	0,87	1,81 chilogrammi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
Da Costa et al. (2022)	FFM	BIA1010 modello americano Medical do Brasil, Brasile	DXA	$FFM (kg) = -17,189 + 0,498 \times H^2 / R + 0,226 \times Peso + 0,071 \times Xc - 2,378 \times sesso + 0,097 \times H + 0,222 \times età$	86 adolescenti brasiliani maschi e 86 femmine (età 10-18 anni).	0,92	2,49 chilogrammi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
SEGMENTALE								
Sluyter et al. (2010)	FFM	TANITA BC-418 Tanita, Società, Giappone	DXA	$Maschi FFM (kg) = 0,607 \times H^2 / Z + 1,542 \times età + 0,220 \times H + 0,096 \times Peso + 1,836 \times etnia - 47,547$ $Femmine FFM (kg) = 0,531 \times H^2 / Z + 0,182 \times H + 0,096 \times Wt + 1,562 \times etnia - 15,782$	215 maschi e 216 femmine (età 15,9 ± 1,6 anni) adolescenti australiani	0,93	3,09 chilogrammi	Codice etnia: europeo o asiatico = 0; Maori o Pacifico = 1 Codice etnico: non Pacifico = 0, Pacifico = 1

							2,19 chilogra mmi	
	Gutierrez- Marin et al. (2021)	FFM	TANITA BC- 418MA Tanita Corporation. Giappone	4C	FFM (kg) = $-9,012 + 0,818 \times H^2/Z + 0,742 \times \text{età} + 0,648 \times \text{sexo} + 0,235 \times \text{BMI}$	35 maschi e 31 femmine (N = 66; età $10,8 \pm 1,6$ anni) bambini spagnoli	0,88 2,70 chilogra mmi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 2
	SEGMENTALE							
	Pietrobelli et al. (2003)	FFM	Human -Im BIA DS Medigroup , Italia	DXA	Maschi FFM (kg) = $0,6375 \times H^2/R + 5,9913$ Femmine FFM (kg) = $0,7597 \times H^2/R + 3,5853$	50 maschi ($9,7 \pm$ 1,3 anni) e 25 femmine ($10,2 \pm$ 1,6 anni) bambini italiani	0,90 0,90	5,12% Dati misurati a 50 kHz
	Van Zyl et al. (2019)	FFM	Seca mBCA 514 Seca Corporation, Stati Uniti d'America	DXA	FFM (kg) = $105,20 + 0,807 \times \text{sexo} + 0,174 \times \text{Peso} + 0,01 \times Xc + 15,71 \times \log H^2/R$	40 bambini sudafricani maschi ($8,6 \pm 1,5$ anni) e 44 femmine ($8,5 \pm$ 1,4 anni) femmine	0,95 0,97 chilogra mmi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0 Dati misurati a 50 kHz
	Nguyen et al. (2020)	FFM	Seca mBCA 525 Seca Corporation, Stati Uniti d'America	DXA	FFM (kg) = $0,299 \times H^2/R + 0,086 \times H + 0,245 \times \text{Peso} + 0,260 \times \text{età} + 0,901 \times \text{sexo} - 0,415 \times \text{etnia} - 6,952$	44 bambini vietnamiti maschi e 39 femmine (età 4 - 7 anni).	0,91 2,63 chilogra mmi	Codice età: mesi Codice sesso: maschio = 0, femmina = 1 Codice etnico: vietnamita = 1, altri = 0 Dati misurati a 50 kHz

Abbreviazioni: SF-BIA: analisi di impedenza bioelettrica a singola frequenza; MF-BIA: analisi di impedenza bioelettrica multifrequenza; BIS: spettroscopia di impedenza bioelettrica; FFM: massa magra; TBW: acqua corporea totale; 4C: modello a 4 scomparti; DXA: assorbimetria a raggi X a doppia energia; Z: impedenza; R: resistenza; Xc: reattanza. Peso: massa corporea; H: altezza; R²: coefficiente di determinazione; VEDI: errore standard di stima.

3.4.6 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per adulti della popolazione generale

Di seguito, la tabella 2 riporta le caratteristiche delle 27 equazioni predittive sviluppate in 14 studi su soggetti della popolazione generale. Ventidue equazioni predittive da 12 studi sono state sviluppate con un SF-BIA, mentre cinque equazioni predittive da due studi sono state sviluppate con MF-BIA utilizzando parametri bioelettrici misurati a 5, 50 e 250 kHz. Solo uno studio ha fornito un'equazione predittiva utilizzando il BIS a una frequenza di 50 kHz.

Tabella 2. Equazioni predittive (N = 27) da studi (N = 14) sulla popolazione adulta generale.

Autori	Variabile misurata	Analizzatore	Metodo di riferimento	Equazione	Partecipanti caratteristiche	R2 -	VEDE RE	Nota
PIEDE A MANO								
Lukaski et al. (1988)	TBT	BIA 101 Akern , Italia	Idrometria	$TBW (L) = 0,377 \times H^2/R + 0,14 \times \text{Peso} - 0,08 \times \text{età} + 2,8 \times \text{ sesso} + 4,65$	25 maschi (età 29,4 ± 2,4 anni) e 28 femmine (età 45,1 ± 2,6 anni) soggetti statunitensi	0,98	1,50 litri	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
Heitman et al. (1990)	FFM	RJL 101 BIA, RJL Systems Inc, Stati Uniti	4C	Maschi: $FFM (kg) = 0,279 \times H^2/R + 0,245 \times \text{Peso} + 0,231 - 0,077 \times \text{età} - 14,94$ Femmine: $FFM (kg) = 0,279 \times H^2/R + 0,181 \times \text{Peso} + 0,231 \times H - 0,077 \times \text{età} - 14,94$	Soggetti danesi maschi e femmine (N = 72; età 35-65 anni)	0,89	3,30 litri	
Zillikens et al. (1991)	TBT	RJL 101 BIA, RJL Systems Inc, Stati Uniti	Idrometria	$TBW (L) = 2,3802 + 0,4366 \times H^2/R + 0,0579 \times Xc - 0,0612 \times \text{età} + 0,1506 \times Wt - 1,9182 \times \text{ sesso}$	40 maschi (età 37,6 ± 11,2 anni) e 39 femmine (32,5 ± 9,9 anni) soggetti bianchi USA	0,98	1,23 l	Codice sesso: maschio = 0, femmina = 1
Jakicic et al. (1998)	FFM	RJL 101 BIA, RJL Systems Inc, Stati Uniti	DXA	$FFM (kg) = 2,68 + 0,20 \times H^2/R + 0,19 \text{ Peso} + 2,55 \times \text{etnia} + 0,1157 \times H$	Donne USA (N = 123; età 25 – 45 anni)	0,65	8,80 chilogr ammi	Codice etnico: Caucasicco = 0; Afroamericano = 1
Janssen et al. (2000)	SMM	RJL 101B BIA, RJL Systems Inc, Stati Uniti	risonanza magnetica	$SMM (kg) = H^2/R \times 0,401 + \text{ sesso} \times 3,825 + \text{età} \times -0,071 + 5,102$	230 maschi (41,9 ± 14,5 anni) e 158 femmine (età 41,9 ± 14,5 anni) soggetti caucasici USA	0,86	2,70 chilogr ammi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
Kyle et al. (2003)	ALSM	Xitron Technologies, Stati Uniti	DXA	$ALSM (kg) = 4,211 + (0,267 \times H^2/R) + (0,095 \times \text{Peso}) + (1,909 \times \text{ sesso}) + (-0,012 \times \text{età}) + (0,058 \times Xc)$	213 maschi e 113 femmine (età 22-94 anni) soggetti svizzeri	0,98	1,12 chilogr ammi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
Kontogianni et al. (2005)	FFM	BIA 101 Akern, Italia	DXA	$FFM (kg) = 17,825 + 0,38 \times H^2/R + 0,172 \times \text{Peso} - 0,156 \times \text{età}$	Popolazione femminile caucasica greca (N = 60; età 53,6 ± 6,4 anni)	0,88	1,89 chilogr ammi	

SF-BIA

Rush et al. (2006)	FFM	BIM4 Impedita, Australia	DXA	Maschi FFM (kg) = $0,382 \times H^2/R + 0,167 \times \text{Peso} + 0,320 \times H - 36,382$ Femmine FFM (kg) = $0,456 \times H^2/R + 0,127 \times Wt + 0,0746 \times Xc + 5,959$	110 maschi (età 43 ± 14 anni) e 101 soggetti indiani di sesso femminile (età 43 ± 12 anni).	0,84 0,70	2,79 2,01	chilogr ammi chilogr ammi	
Dasgupta et al. (2018)	FFM	BodySTAT 1500	DXA	FFM (kg) = $32,637 + (-0,222 \times \text{età}) + (-32,51 \times \text{WHR}) + (0,33 \times \text{BMI}) + (1,58 \times \text{BWC}) + (0,510 \times \text{circonferenza vita})$	Adulti maschi indiani (N = 117; età 19,6 ± 0,8 anni)	N/R	N/R	Dove BWC è il codice di nascita: Normale = 1, Basso = 2.	
Kanellakis et al. (2020)	FFM	BIA 101, Akern SRL, Italia	DXA	FFM (kg) = $12,299 + 0,164 \times \text{Peso} + 7,287 \times \text{sezzo} - 0,116 \times H^2/R + 0,365 \times Xc / H^2 + 21,570 \times H$	265 maschi e 429 femmine (età 40,4 ± 15,3 anni) soggetti greci	0,99	2,65	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0. H è in metri	
Sardinha et al. (2023)	ALSM	BIA 101, Akern SRL, Italia	DXA	LSM corpo sinistro (kg) = $9,016 + 0,399 \times \text{RILB} - 91,962 \times \text{RITE} + 1,229 \times \text{sezzo}$ LSM corpo destro (kg) = $0,461 + 0,273 \times \text{RIRB} + 0,006 \times \text{RIRT}$ LSM parte inferiore del corpo (kg) = $7,998 + 0,284 \times \text{RILwB} - 100,561 \times \text{RITE} + 1,559 \times \text{sezzo}$ LSM parte superiore del corpo (kg) = $1,560 + 0,102 \times \text{RIUB} - 23,420 \times \text{RITE} + 0,717 \times \text{sezzo}$ LSM gamba sinistra (kg) = $4,756 + 0,067 \times \text{RILL} - 54,597 \times \text{RITE} + 0,901 \times \text{sezzo}$ LSM gamba destra (kg) = $3,724 + 0,071 \times \text{RIRL} - 46,197 \times \text{RITE} + 0,733 \times \text{sezzo}$ LSM braccio sinistro (kg) = $0,676 + 0,026 \times \text{RILA} - 11,398 \times \text{RITE} + 0,346 \times \text{sezzo}$	49 maschi e 51 femmine (età 33 ± 12,2 anni) soggetti multietnici portoghesi	0,95 0,95 0,95 0,94 0,95 0,96	1,80 1,90 1,40	chilogr ammi chilogr ammi chilogr ammi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0 RILB: indice di resistenza del corpo sinistro, RITE: indice di resistenza del rapporto tra tronco ed estremità, RIRB: indice di resistenza del corpo destro, RIRT indice di resistenza del tronco destro, RILwB : indice di resistenza della parte inferiore del corpo, RIUB: indice di resistenza della parte superiore del corpo, RILL: indice di resistenza della gamba sinistra, RIRL: indice di resistenza della gamba destra, RILA: indice di resistenza del braccio sinistro, RIRA: indice di resistenza del

$$\text{LSM}_{\text{braccio destro}} (\text{kg}) = 1,034 + 0,024 \times \text{RIRA} - 12,272 \times \text{RITE} + 0,388 \times \text{sezzo}$$

$$\text{Tronco LSM (kg)} = -10,039 + 0,015 \times \text{RIT} + 160,945 \times \text{RITE}$$

0,95	0,60	chilogr	braccio destro, RIT: indice di resistenza medio del tronco calcolato come media degli indici di resistenza del tronco destro e sinistro,
0,88	ammi		
	0,80	chilogr	
	ammi		
	0,70	chilogr	
	ammi		
	0,30	chilogr	
	ammi		
	0,30	chilogr	
	ammi		
	2,60	chilogr	
	ammi		

SEGMENTALE

Oshima et al. (2010)	SMM	HBF-354 Omron Healthcare Co. Ltd., Giappone	risonanza magnetica	$\text{SMM (kg)} = 0,126 \times \text{H}^2/\text{Z} + 1,937 \times \text{BSA} - 0,062 \times \text{età} - 2,186 \times \text{sezzo} - 2,881$	71 maschi (età 40,5 ± 13,7 anni) e 97 femmine (età 43,4 ± 12,9 anni) soggetti giapponesi	0,89	1,65 chilogr ammi	Dove BSA è la superficie corporea codice sessuale: maschio = 1, femmina = 2
-------------------------	-----	---	------------------------	--	--	------	-------------------------	---

		SEGMENTALE							
MF-BIA	Xu et al. (2020)	ALM, FFM, ALSM, SMM	BCA II, TFHT, Cina	DXA	ALM (kg) = $-10,413 + 2,441 \times \text{sezzo} + 0,124 \times \text{Peso} + 0,096 \times H + 0,278 \times H^2/R_{50} - 0,024 \times \text{età}$	13.973 soggetti cinesi maschi e	0,89	1,41 chilogr	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
					FFM (kg) = $-13,563 + 5,469 \times \text{sezzo} + 0,233 \times \text{Peso} + 0,176 \times H + 0,652 \times H^2/R_{50} - 0,073 \times \text{età}$	16.527 femmine (età 18-96 anni)	0,93	ammi	R5 e R250 rappresentano la reattanza del corpo intero misurata a 50 e 250 kHz
					ALSM (kg) = $7,950 + 2,334 \times \text{sezzo} - 0,034 \times \text{età} + 0,145 \times \text{Peso} - 125,351 \times R_{50}/H^2 + 43,063 \times R_{250}/H^2$		0,85	2,33	
					SMM (kg) = $8,924 + 4,673 \times \text{sezzo} - 0,034 \times \text{età} + 0,248 \times \text{Peso} - 120,761 \times R_{50}/H^2 + 33,042 \times R_{250}/H^2$		0,89	chilogr ammi	
								1,68 chilogr ammi 2,03 chilogr ammi	
		PIEDE A MANO							
BRI	Hughes et al. (2015)	FFM	SFB7 ImpediMed Ltd, Australia	DXA	FFM (kg) = $0,432 \times H^2/R - 0,086 \times \text{età} + 0,269 \times \text{Peso} - 6,422 \times \text{sezzo} + 16,429$	41 maschi e 55 femmine (età 50,5 anni) soggetti indigeni australiani	0,94	3,33 chilogr ammi	Codice sesso: maschio = 0, femmina = 1 Dati misurati a 50 kHz

Abbreviazioni: SF-BIA: analisi di impedenza bioelettrica a singola frequenza; MF-BIA: analisi di impedenza bioelettrica multifrequenza; BIS: spettroscopia di impedenza bioelettrica; FFM: massa magra; TBW: acqua corporea totale; LSM: massa magra molle; SMM: massa muscolare scheletrica; ALM: massa magra appendicolare; ALSM: massa molle magra appendicolare; 4C: modello a 4 scomparti; DXA: assorbimetria a raggi X a doppia energia; MRI: immagine di risonanza magnetica; Z: impedenza; R: resistenza; Xc: reattanza. Peso: massa corporea; H: altezza; WHR: rapporto vita-fianchi; R²: coefficiente di determinazione; VEDI: errore standard di stima.

3.4.7 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per gli atleti

Di seguito, la tabella 3 riporta le caratteristiche delle 15 equazioni predittive sviluppate in nove studi sugli atleti. Undici equazioni predittive da 8 studi sono state sviluppate con un SF-BIA, mentre quattro equazioni predittive da due studi sono state sviluppate con un MF-BIA utilizzando parametri bioelettrici misurati a 50 kHz.

Tabella 3. Equazioni predittive (N = 15) da studi (N = 9) sugli atleti.

Autore	Variabile misurata	Analizzatore	Metodo di riferimento	Equazione	Caratteristiche dei partecipanti	R2 -	VEDE RE	Nota
PIEDE A MANO								
Fornetti et al. (1999)	FFM	BIA 101 AKERN Forza Italia	DXA	$FFM (kg) = 0,272 \times H + 0,461 \times Peso - 0,036 \times R + 0,101 \times Xc - 11,567$	Atlete miste italiane (N = 66; età 20,4 anni ± 1,5)	0,96	1,20 chilogr ammi	
Yannakoulia et al. (2000)	FFM	RJL 101 BIA, RJL Systems Inc, Stati Uniti	DXA	$massa\ magra\ (kg) = 0,247 \times Peso + 0,214 \times H^2/R + 0,191 \times H - 14,96$	Ballerine professioniste greche (N = 42, età 21,0 ± 2,0 anni)	0,83	1,45 chilogr ammi	L'altezza è in cm
Matias et al. (2016)	TBT ECW	Akern 101° Anniversario, Italia	Idrometria	$TBW (kg) = 0,286 + 0,195 \times H^2/R + 0,385 \times Peso + 5,086 \times Sesso$ $ECW (kg) = 1,579 + 0,055 \times H^2/R + 0,127 \times Wt + 0,006 \times H^2/Xc + 0,932 \times Sesso$	138 maschi e 70 femmine (età 22,3 ± 5,0 anni) atleti misti portoghesi	0,91 0,70	2,42 chilogr ammi 1,33 chilogr ammi	L'altezza è in cm. codice sessuale: maschio = 1, femmina = 0
Langer et al. (2016)	FFM	Quantum II RJL Systems Inc, Stati Uniti	DXA	$massa\ magra\ (kg) = 0,508 \times Peso + 39,234 \times H^2/R \times Log10 - 48,263$	Cadetti dell'esercito maschio brasiliano (N = 264, età 19,3 ± 1,2 anni)	0,87	2,30 chilogr ammi	L'altezza è in cm
Kouri et al. (2019)	FFM	BIA 450 Biodinamica	DXA	Maschi $FFM (kg) = - 6,340 + 0,795 \times età + 2,071 \times maturità\ scheletrica + 0,744 \times H^2/R$ Femmine $FFM (kg) = - 2,615 + 0,603 \times età + 0,954 \times comparsa\ del\ menarca + 0,713 \times H^2/R$	165 maschi e 153 femmine (età 13,3 ± 1,1 anni) Atleti adolescenti brasiliani	0,92 0,84	2,74 chilogr ammi 2,26 chilogr ammi	Codice maturità scheletrica: immaturo = 0, maturo = 1 Codice menarca: nessuna occorrenza = 0; occorrenza = 1

SF-BIA

	Sardinha et al. (2020)	ALSM	BIA 101 AKERN Forza Italia	DXA	$\text{Braccia ALSM (kg)} = 0,940 \times \text{sezzo} + 0,042 \times \text{Wt} + 0,080 \times \text{H}^2/\text{R} + 0,024 \times \text{Xc} - 3,927$ $\text{ALSM}_{\text{gambe}} \text{ (kg)} = 1,983 \times \text{sezzo} + 0,154 \times \text{Peso} + 0,127 \times \text{H}^2/\text{R} - 1,147$	112 maschi (età 22,5 ± 4,4 anni) e 65 atlete miste portoghesi (età 22,1 ± 4,5 anni).	0,89 0,81	0,61 chilogr ammi 1,93 chilogr ammi	Codice sesso: maschio = 0, femmina = 1
	Matias et al. (2021)	FFM	BIA 101 AKERN Forza Italia	4C	$\text{FFM (kg)} = - 2,261 + 0,327 \times \text{H}^2/\text{R} + 0,525 \times \text{Peso} + 5,462 \times \text{Sesso}$	72 maschi e 23 femmine (età 21,3 ± 5,0 anni) Atleti misti portoghesi	0,95	2,64 chilogr ammi	L'altezza è in cm. codice sessuale: maschio = 1, femmina = 0
	Matias et al. (2023)	FFM	BIA 101 BIVA PRO, Akern , Italia	DXA	$\text{FFM (kg)} = - 8,865 + 0,437 \times \text{Peso} + 0,186 \times \text{Xc} + 0,415 \times \text{H}^2/\text{R}$	Giocatori portoghesi di futsal (N = 66, età 23,3 ± 5,3 anni)	0,89	2,38 chilogr ammi	L'altezza è in cm
SEGMENTALE									
MF-BIA	Chao et al. (2011)	FFM	Tanita BC-418 Tanita Corporation, Giappone	DXA	$\text{FFM}_{\text{arto superiore}} \text{ (kg)} = - 0,746 + 0,028 \times \text{H}^2/\text{Z}_{\text{arto superiore}} - 0,003 \times \text{età} + 0,017 \times \text{Peso}$ $\text{FFM}_{\text{arto inferiore}} \text{ (kg)} = - 0,044 - 0,005 \times \text{H}^2/\text{Z}_{\text{arto inferiore}} - 0,054 \times \text{età} + 0,203 \times \text{Peso}$ $\text{FFM}_{\text{corpo intero}} \text{ (kg)} = - 1,146 + 0,212 \times \text{H}^2/\text{Z}_{\text{corpo intero}} - 0,187 \times \text{età} + 0,780 \times \text{Peso}$ $\text{FFM}_{\text{tronco}} \text{ (kg)} = \text{FFM}_{\text{corpo intero}} - 2 \times \text{FFM}_{\text{arto inferiore}} - 2 \times \text{FFM}_{\text{arto superiore}}$	Giocatori di calcio maschili d'élite taiwanesi (N = 26, età 20,7 ± 1,9 anni)	0,74 0,78 0,95	0,31 chilogr ammi 0,82 chilogr ammi	L'altezza è in cm Sono stati utilizzati i dati misurati a 50 kHz



1,71
chilogr
ammi

1,19
chilogr
ammi

Abbreviazioni: SF-BIA: analisi di impedenza bioelettrica a singola frequenza; MF-BIA: analisi di impedenza bioelettrica multifrequenza; BIS: spettroscopia di impedenza bioelettrica; FFM: massa magra; TBW: acqua corporea totale; ECW: acqua extracellulare ALSM: massa molle magra appendicolare; 4C: modello a 4 scomparti; DXA: assorbimetria a raggi X a doppia energia; Z: impedenza; R: resistenza; Xc : reattanza. Peso : massa corporea; H: altezza; R² : coefficiente di determinazione; VEDI: errore standard di stima.

3.4.8 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per gli anziani

Di seguito, la tabella 4 riporta le caratteristiche delle 25 equazioni predittive sviluppate in 17 studi su soggetti anziani. Diciassette equazioni predittive da 11 studi sono state sviluppate con un SF-BIA, mentre sette equazioni predittive da cinque studi sono state sviluppate con MF-BIA utilizzando parametri bioelettrici misurati a 2, 50 e 250 kHz. Uno studio ha fornito equazioni predittive utilizzando parametri bioelettrici misurati con BIS utilizzando una frequenza di 5 kHz.

Tabella 4. Equazioni predittive (N = 25) da studi (N = 17) su persone anziane.

Autore	Variabile misurata	Analizzatore	Metodo di riferimento	Equazione	Caratteristiche dei partecipanti	R2 -	VEDE RE	Nota
PIEDE A MANO								
San Francisco-BIA	Svendsen et al. (1991)	RJL 103 BIA, RJL Systems Inc, Stati Uniti	DXA	Maschi $FM (kg) = 20,85 - 1,75 \times ST - 0,51 \times WC + 44,72 \times WHR - 0,05 \times R - 0,63 \times H^2/R + 0,88 \times \text{Peso}$ FM femmine (kg) = $-80,92 - 0,20 \times WC + 0,39 \times SS + 0,48 \times H - 0,54 \times H^2/R + 2,33 \times BMI$	23 maschi e 23 femmine (età media 75 anni) soggetti danesi	0,98 0,97	0,95 chilogr ammi 1,81 chilogr ammi	
	Williams et al. (1995)	A Valhalla 1990B Valhalla scientifico, USA	4C	Maschi $FFM (kg) = 0,54 \times H^2/R + 0,13 \times \text{Peso} + 0,13 \times R - 0,11 \times \text{età} + 8,7$ Femmine $FFM (kg) = 0,37 \times H^2/R + 0,16 \times \text{Peso} + 11,94$	25 soggetti bianchi maschi (età $68,5 \pm 7,1$ anni) e 23 femmine ($65,0 \pm 9,4$ anni) USA	0,87 0,96	1,50 chilogr ammi 1,50 chilogr ammi	
	Roubenoff et al. (1997)	RJL 101 BIA, RJL Systems Inc, Stati Uniti E Analizzatore BCA, BCA, Inc., Stati Uniti	DXA	Maschi $FFM (kg) = 9,1536 + 0,4273 \times H^2/R + 0,1926 \times Wt + 0,0667 \times Xc$ FFM femmina (kg) = $7,7435 + 0,4542 \times H^2/R + 0,1190 \times \text{Peso} + 0,0455 \times Xc$	116 maschi (età $76,2 \pm 5,6$ anni) e 167 femmine (età $75,8 \pm 6,6$ anni) USA Soggetti bianchi	0,72 0,77	3,43 chilogr ammi 2,09 chilogr ammi	
	Dittmar et al. (2001)	BIA 2000-M, Immissione dati, Germania	TBK	$BCM (kg) = 1.898 \times H^2/Xc - 0,051 \times \text{Peso} + 4.180 \times \text{sex} + 15.496$	55 maschi ($68,8 \pm 6,1$ anni) e 55 femmine ($68,9 \pm 5,7$ anni) soggetti tedeschi	0,84	1,71 chilogr ammi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
	Haapala et al. (2002)	BIA 101 Akern, Italia	DXA	$FFM (kg) = -128,06 \times 1,85 \times BMI - 0,63 \times \text{Peso} + 1,07 \times A - 0,03 \times R + 10,0 \times WHR$	Femmina finlandese (N = 93; età $66,8 \pm 3,2$ anni)	0,83	1,60 chilogr ammi	

Dey et al. (2003)	FFM	RJL 101 BIA, RJL Systems Inc, Stati Uniti	4C	FFM (kg) = $11,78 + 0,499 \times H^2/R + 0,134 \times \text{Peso} + 3,449 \times \text{sezzo}$	344 maschi e 479 femmine (età 70 e 75 anni) soggetti svedesi	0,95	2,64 chilogr ammi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
Rangel Peniche et al. (2015)	ALSM	Sistemi Quantum X RJL, Inc., Stati Uniti	DXA	ALSM (kg) = $-0,05376 + 0,2394 \times H^2/R + 2,708 \times \text{sezzo} + 0,065 \times \text{Peso}$	55 soggetti maschi (70,5 ± 6,7 anni) e 158 femmine (68,2 ± 5,5 anni) soggetti messicani	0,91	1,01 chilogr ammi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
Sergi et al. (2015)	ALSM	BIA 101 Akern , Italia	DXA	ALSM (kg) = $-3,964 + 0,227 \times H^2/R + 0,095 \times \text{Peso} + 1,384 \times \text{sezzo} + 0,064 \times Xc$	117 maschi e 179 femmine (età 71,4 ± 5,4 anni) soggetti italiani	0,92	1,14 chilogr ammi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
De Rui et al. (2017)	FFM	BIA 101 Akern , Italia	DXA	ULM _{braccio dominante} (kg) = $-0,081 + 0,061 \times H^2/R + 0,010 \times Wt + 0,299 \times \text{sezzo}$ ULM _{braccio non dominante} (kg) = $-0,026 + 0,014 \times H^2/R + 0,009 \times Wt + 0,352 \times \text{sezzo}$ LLM _{gamba dominante} (kg) = $-0,462 + 0,027 \times H^2/R + 0,047 \times Wt + 0,639 \times \text{sezzo} + 0,026 \times Xc$ LLM _{gamba non dominante} (kg) = $-0,522 + 0,029 \times H^2/R + 0,045 \times Wt + 0,569 \times \text{sezzo} + 0,025 \times Xc$	160 soggetti maschi e 134 femmine (età 71 ± 5,6 anni) soggetti caucasici italiani	0,86 0,88 0,88		Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
Barbosa-Silva et al. (2019)	ALSM	RJL Quantum II; RJL Systems Inc, Stati Uniti d'America	DXA	ALSM (kg) = $2,08 \times \text{sezzo} + 0,04 \times \text{Peso} + 0,24 \times H^2/R + 0,07 \times Xc - 0,16$	70 soggetti brasiliani maschi e 111 femmine (età > 60 anni).	0,89	1,34 chilogr ammi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
Toselli et al. (2021)	ALSM	Analizzatore BIA Soluzioni nutrizionali, Stati Uniti	DXA	ALSM (kg) = $5,982 + 0,188 \times H^2/R + 0,014 \times WC + 0,046 \times \text{Peso} + 3,881 \times \text{sezzo} - 0,053 \times \text{età}$	26 soggetti maschi (75,6 ± 7,8 anni) e 92 femmine (70,9 ± 6,6 anni)	0,86	1,35 chilogr ammi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0

				soggetti caucasici		brasiliani		
PIEDE A MANO								
MF-BIA	Kim et al. 2014	Inbody 3.0, Biospace Co., Corea	DXA	ALSM (kg) = $H^2/R_{250} \times 0,104 + età \times -0,050 + sesso \times 2,954 +$ $Peso \times 0,055 + 5,663$	285 soggetti maschi e 435 femmine (età $71 \pm$ $3,8$ anni) coreani	0,89	1,35 chilogr ammi	R_{250} : resistenza a 250kHz Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
	Vermerien et al. (2019)	Quad Scan 4000, Bodystat® Regno Unito	DXA	ALSM (kg) = $0827 + 0,19 \times H^2/R + 2101 \times sesso + 0,079 \times$ Peso	91 maschi (età $83,3 \pm 2,9$ anni) e 83 femmine (età $83,3 \pm 3,0$ anni) soggetti belgi	0,89	1,45 chilogr ammi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0 Sono stati utilizzati i dati misurati a 50 kHz
	SEGMENTALE							
Yoshida et al. (2014)	ALSM	MC-980A, società Tanita, Giappone	DXA	Maschi ALSM (kg) = $0,197 \times H^2/R + 0,179 \times Peso - 0,019$	141 maschi ($73,7$ $\pm 5,7$ anni) e 109 femmine ($73,2 \pm$ $5,5$ anni) soggetti giapponesi	0,87 0,89	0,98 chilogr ammi 0,81 chilogr ammi	Sono stati utilizzati i dati misurati a 50 kHz
				Femmine ALSM (kg) = $0,221 \times H^2/R + 0,117 \times Peso + 0,881$				
Jeon et al. (2020)	ALSM	InBody 770	DXA	ALSM _{in piedi} (kg) = $0,286 \times H^2/R_{250} + 1,367 \times sesso + 0,054 \times$ $Xc_{50\text{ kHz}} + 0,031 \times Wt - 1.864$	63 soggetti maschi ($76,4 \pm 4,2$ anni) e 70 femmine ($76,1$ $\pm 4,1$ anni) soggetti coreani	0,93 0,93	1,02 chilogr ammi 1,01 chilogr ammi	R_{250} : resistenza a 250 kHz, Xc_{50} : reattanza a 50 kHz Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
		InBody S10 InBody Co., Corea del Sud		ALSM _{supino} (kg) = $0,276 \times H^2/R_{250} + 1,151 \times sesso + 0,059 \times$ $Xc_5 + 0,429$				

BRI	Kim et al. (2022)	ALSM	BWA 2.0, InBody Co. Corea del Sud	DXA	$ALSM (kg) = 0,247 \times H^2 / R^2 - 1.254 \times sesso + 0,067 \times Xc_5 + 1.739$	63 soggetti maschi (77,5 ± 4,1 anni) e 68 femmine (76,9 ± 4,4 anni) soggetti coreani	0,93	0,97 chilogr ammi	R_2 : resistenza a 2kHz, Xc_5 : reattanza a 5kHz Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0
	PIEDE A MANO								
	Tengvall et al. (2009)	SMM	Xitron Hydra 4200 , Xitron Technologies, Stati Uniti	DXA	$SMM (kg) = - 24,021 + 0,33 \times H - 0,031 \times R + 0,083 \times Xc_5 - 1,58 \times sesso + 0,046 \times Peso$	229 soggetti maschi e 345 femmine (età media 75 anni) soggetti svedesi	0,93	1,59 chilogr ammi	Xc_5 : reattanza a 5kHz Codice sesso: maschio = 0, femmina = 1

Abbreviazioni: SF-BIA: analisi di impedenza bioelettrica a singola frequenza; MF-BIA: analisi di impedenza bioelettrica multifrequenza; BIS: spettroscopia di impedenza bioelettrica; FFM: massa magra; TBW: acqua corporea totale; ECW: acqua extracellulare; BCM: massa cellulare; ULM: massa dell'arto superiore; LLM: massa degli arti inferiori; ALSM: massa molle magra appendicolare; 4C: modello a 4 scomparti; DXA: assorbimetria a raggi X a doppia energia; TBK: potassio corporeo totale; Z: impedenza; R: resistenza; Xc_5 : reattanza. Peso: massa corporea; H: altezza; BMI: indice di massa corporea; WC: circonferenza vita; WHR: rapporto vita-fianchi; ST: spessore della plica cutanea da scapolare a tricipite; SS: spessore della plica cutanea sottoscapolare; R^2 : coefficiente di determinazione; VEDI: errore standard di stima.

3.4.9 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per persone affette da malattie

Di seguito, la tabella 5 riporta le caratteristiche delle 14 equazioni predittive sviluppate in 8 studi su soggetti affetti da patologie. Uno studio ha presentato un'equazione predittiva utilizzando SF-BIA, mentre otto equazioni predittive di tre studi sono state sviluppate con MF-BIA utilizzando parametri bioelettrici misurati a 50 e 100 kHz. Due equazioni predittive sono state sviluppate in due diversi studi utilizzando la BIA ad una frequenza di 50 kHz. Tre studi sviluppati hanno fornito un'equazione predittiva utilizzando il BIS a una frequenza di 50 kHz.

Tabella 5. Equazioni predittive (N = 14) da studi (N = 8) su persone affette da malattie.

	Autore	Variabile misurata	Analizzatore	Metodo di riferimento	Equazione	Caratteristiche dei partecipanti	R2 -	VEDERE	Nota	
SF-BIA	PIEDE A MANO									
	Kanellakis et al. (2010)	FFM	Bia 101 Akern, Italia	DXA	$\text{massa magra (kg)} = 38,475 + 0,207 \times \text{Peso} - 0,092 \times R / H^2 + 0,291 \times X_c / H^2$	Donne greche in sovrappeso e obese in postmenopausa (N = 131; età 62,3 ± 6,0 anni)	0,80	1,62 chilogrammi		
	Scafoglieri et al. (2017)	AFM FFM	BIA 101 Akern, Italia	DXA	$\text{AFM (kg)} = 4,957 + 0,196 \times H^2 / R + 0,060 \times \text{Peso} - 2,554 \times \text{sezzo}$ $\text{FFM (kg)} = - 4,716 - 0,142 \times H^2 / R + 0,316 \times \text{Peso} + 4,453 \times \text{sezzo} - 0,040 \times X_c$	88 maschi e 203 femmine (età 77,6 ± 6,9 anni) soggetti europei funzionalmente limitati	0,90 0,73	1,28 1,54 chilogrammi	Codice sesso: maschio = 0, femmina = 1	
MF-BIA	SEGMENTALE									
	Scalfi et al. (1997)	TBT	Scansione IM umana, Dietosystem, Italia	Idrometria	$\text{TBW (L)} = 0,563 + H^2 / R_{100} + 2,695$	Donne anoressiche italiane (N = 19; età 22,1 ± 4,9 anni)	0,88	2,40 litri	R ₁₀₀ : resistenza a 100kHz	
	Jiménez et al. (2012)	FFM FM	Tanita a.C. 418 MA Tanita, società, Giappone	DXA	$\text{FFM}_{\text{corpo intero}} \text{ (kg)} = 18.240 - 4.395 \times \text{sezzo} + 0,137 \times \text{Wt} + [5.865.274 \times H^2 / Z]$ $\text{Tronco FM (kg)} = - 43,710 + 0,268 \times \text{HC} + 0,207 \times \text{WC} + 0,235 \times \text{Wt} - 2.232,18 \times H^2 / Z$	35 maschi e 124 femmine (età 43,5 ± 11,8 anni) adulti spagnoli caucasici patologicamente obesi	0,894 0,66	0,18 9,10 chilogrammi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 2 Tutte le circonferenze sono in cm. Sono stati utilizzati i dati misurati a 50 kHz	
Choi et al. (2021)	FFM	InBody S10 InBody Co. Corea del Sud	DXA	$\text{LA}_{\text{FFM}} \text{ (kg)} = -3,759 + 0,204 \times \text{ZILA} + 0,410 \times X_c \text{ LA} + 0,019 \times H - 0,007 \times \text{età}$ $\text{RA}_{\text{FFM}} \text{ (kg)} = -1,370 + 0,212 \times \text{ZIRA} + 0,054 \times X_c \text{ RA}$	coreani (N = 75; 43,6 ± 12 anni)	0,90 0,73	0,29 chilogrammi	ZIBPL: indice di impedenza della lunghezza della parte del corpo; ZBPL: impedenza; XcBP: reattanza; RBPL: resistenza; LA: braccio sinistro; RA: braccio destro;		

				$LL_{FFM}(\text{kg}) = -4,089 + 0,162 \times XcLL + 0,143 \times ZILL + 0,039 \times Wt + 0,006 \times RLL$	0,90	0,40 chilogrammi	TR: tronco; LL: gamba sinistra; RL: gamba destra.	
				$RL_{FFM} = -3,715 + 0,009 \times RRL + 0,152 \times ZIRL + 0,139 \times XcRL + 0,031 \times Wt$	0,93	0,91 chilogrammi	Sono stati utilizzati i dati misurati a 50 kHz	
				$TR_{FFM} = -2,061 + 0,046 \times ZITR + 0,073 \times \text{Peso} + 0,212 \times H - 0,419 \times RTR + 0,041 \times \text{età}$	0,76	0,74 chilogrammi		
						1,51 chilogrammi		
PIEDE A MANO								
BRI	Van Baar et al. (2005)	Xitron Hydra 4200, Xitron Technologies, Stati Uniti	DXA	$ALSM(\text{kg}) = -6,296 + H^2/R \times 0,227 + Xc \times 0,072 + \text{sezzo} \times 9,909 + \text{Peso} \times 0,072 + \text{sezzo} \times \text{età} \times -0,098 + \text{età} \times 0,054$	45 maschi (età 80,4 ± 8,2 anni) e 61 femmine (età 77,5 ± 7,8 anni) soggetti fragili europei	0,92	1,19 chilogrammi	Codice sesso: maschio = 1, femmina = 0 Sono stati utilizzati i dati misurati a 50 kHz
	MacDonald et al. (2006)	Hydra ECF/ICF 4200, Xitron Technologies, Stati Uniti d'America	DXA	$ALSM(\text{kg}) = -11,626 + 0,292 \times H^2/R + 0,06983 \times Xc + 0,08553 \times H - 2,092 \times \text{sezzo} - 0,05 \times \text{età}$	75 soggetti inglesi non diabetici con insufficienza renale cronica pre-dialisi (età 65,1 ± 12 anni)	0,92	1,77 chilogrammi	Codice sesso: maschio = 0, femmina = 1 Sono stati utilizzati i dati misurati a 50 kHz

Lin et al. (2021)				ALSM (kg) = $-1,838 + 0,395 \times \text{TBW} + 0,105 \times \text{W} + 1,231 \times \text{sex} - 0,026 \times \text{età}$	115 pazienti maschi (età 57,9 $\pm 11,3$ anni) e 99 donne (età $60,0 \pm 12,5$ anni) pazienti taiwanesi in emodialisi	0,91	1,35 chilogrammi	ai dati bioelettrici Codice sesso: maschio = 1 femmina = 0 Sono stati utilizzati i dati misurati a 50 kHz
	ALSM	Monitor della composizione corporea, Fresenius Medical Care, Germania	DXA					

Abbreviazioni: SF-BIA: analisi di impedenza bioelettrica a singola frequenza; MF-BIA: analisi di impedenza bioelettrica multifrequenza; BIS: spettroscopia di impedenza bioelettrica; FFM: massa magra ; AFM : massa grassa appendicolare; TBW: acqua corporea totale; ECW: acqua extracellulare; BCM: massa cellulare; ALST: massa molle magra appendicolare; DXA: assorbimetria a raggi X a doppia energia; Z: impedenza; R: resistenza; Xc : reattanza. Peso : massa corporea; H: altezza; HC: circonferenza fianchi; CKD: malattia renale cronica; R²: coefficiente di determinazione; VEDI: errore standard di stima.

3.5 Discussione

La presente revisione sistematica è stata progettata per fornire un elenco delle equazioni predittive basate sulla BIA per la stima dei componenti della massa corporea in diverse popolazioni che soddisfano i criteri del gold standard. In particolare, abbiamo escluso un disegno sperimentale che mescolasse popolazioni diverse o utilizzasse il modello a due componenti come riferimento per lo sviluppo delle equazioni predittive. Ciò ha prodotto 98 equazioni predittive in cui sono state soddisfatte procedure di alto livello, organizzate in base alla popolazione (vale a dire, sotto i 18 anni, adulti, atleti, anziani e persone con malattie), alle quattro tecnologie BIA (vale a dire, mano a mano, gamba a gamba, piede a mano e segmentale) e la frequenza di campionamento (cioè singola e multifrequenza). Inoltre, sono state individuate le aree geografiche dei partecipanti. I presenti risultati forniscono un punto di partenza aggiornato affinché i ricercatori possano determinare possibili carenze nella letteratura e fornire ulteriori equazioni predittive. Inoltre, un elenco così aggiornato contribuisce a identificare facilmente le equazioni più accurate per la popolazione e la tecnologia specifiche e assiste i professionisti nell'adozione delle migliori pratiche.

3.5.1 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per persone di età inferiore a 18 anni

Sono state incluse 17 equazioni predittive sviluppate in 14 studi su soggetti di età inferiore a 18 anni provenienti dalla popolazione generale. Due di questi studi sono stati condotti negli Stati Uniti dove non era coinvolta nessuna partecipante femminile, mentre i restanti 12 studi sono stati condotti in diversi paesi in tutto il mondo con entrambi i sessi inclusi. Delle 17 equazioni, 10 sono state sviluppate utilizzando la tecnologia piede a mano e 7 utilizzando le tecnologie segmentali. Per quanto riguarda la tecnologia piede a mano, sette equazioni sono adatte per i maschi, dieci

per le femmine e X per entrambi i sessi. Per quanto riguarda la tecnologia segmentale, cinque equazioni sono adatte per i maschi e cinque per le femmine. Tutte le 17 equazioni sono state sviluppate ad un'unica frequenza di 50 kHz, anche se quattro equazioni predittive sono state sviluppate con dispositivi multifrequenza, ma comunque alla stessa frequenza di 50 kHz.

3.5.2 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per adulti

Sono state riviste 27 equazioni predittive sviluppate in 14 studi sugli adulti. Sebbene una buona parte degli studi (n = 4) siano stati condotti negli Stati Uniti, il maggior numero di partecipanti è stato incluso solo in uno studio sui cinesi. I restanti studi hanno coinvolto popolazioni europee, orientali e australiane con un numero equilibrato di partecipanti maschi e femmine. Delle 27 equazioni disponibili, 22 sono state fornite con la tecnologia piede a mano, di cui 18 adatte per soggetti maschili e 19 per soggetti femminili, mentre cinque equazioni sono state sviluppate utilizzando una tecnologia segmentale e sono adatte per soggetti maschili e femminili. Per quanto riguarda la tecnologia piede a mano, c'erano cinque diverse formule per stimare la FFM nei soggetti maschili e sei in quelle femminili, quattro equazioni per la stima della TBW, dieci per la stima della LSM e due per la stima della SMM nei soggetti maschili e femminili. Considerando la tecnologia segmentale, c'erano due equazioni per stimare FFM, SMM e LSM per ciascun sesso. Tutte queste equazioni sono state sviluppate ad un'unica frequenza di 50 kHz, ad eccezione di quattro equazioni sviluppate con dispositivi multifrequenza che utilizzavano parametri bioelettrici misurati a 50 e 250 kHz.

3.5.3 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per gli atleti

Sono state riviste 15 equazioni predittive sviluppate in nove studi sugli atleti. Quattro studi hanno coinvolto partecipanti portoghesi maschili e femminili provenienti da diverse discipline sportive, mentre due studi hanno reclutato maschi brasiliani, in uno erano cadetti dell'esercito maschio e nell'altro i partecipanti erano atleti misti adolescenti. Sono stati condotti due studi sull'Europa femminile, con atlete miste italiane e ballerine greche, e uno studio è stato progettato a Taiwan su calciatori maschi. Delle 15 equazioni disponibili, 11 sono state fornite con la tecnologia piede a mano, di cui 8 adatte per soggetti maschili e 8 per soggetti femminili, mentre quattro equazioni sono state sviluppate utilizzando una tecnologia segmentale e sono adatte solo per soggetti maschili. Per quanto riguarda la tecnologia piede a mano, c'erano quattro diverse formule per stimare la FFM nei soggetti maschili e femminili, un'equazione per stimare TBW ed ECW nei maschi e una nelle femmine, e due equazioni adatte per prevedere LSM in entrambi i sessi. Considerando la tecnologia segmentale, c'erano quattro equazioni per la stima della FFM adatte per gli atleti di calcio di sesso maschile. Tutte queste equazioni, comprese quelle sviluppate con un dispositivo multifrequenza, sono state sviluppate ad un'unica frequenza di 50 kHz.

3.5.4 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per gli anziani

Sono state riviste 25 equazioni predittive sviluppate in 17 studi sugli anziani. Gli studi selezionati includevano partecipanti maschili e femminili americani, europei e asiatici. Delle 25 equazioni disponibili, 20 sono state fornite con la tecnologia piede a mano, di cui 16 adatte per soggetti maschili e 17 per soggetti femminili, mentre cinque equazioni sono state sviluppate utilizzando una tecnologia segmentale di cui quattro adatte per soggetti maschili e quattro per soggetti femminili. Per quanto riguarda la tecnologia

piede a mano, c'erano un'equazione predittiva per la stima della FM nei soggetti maschili e una nelle femmine, e sette equazioni per la stima della FFM nei soggetti maschili e otto nelle femmine. Per entrambi i sessi sono disponibili una, una e sei equazioni per la stima rispettivamente di BCM, SMM e LSM. Considerando la tecnologia segmentale, c'erano solo tre equazioni per i sessi che consentivano la stima dell'LSM. La maggior parte delle equazioni sono state sviluppate ad una singola frequenza di 50 kHz, mentre cinque delle otto equazioni sviluppate coinvolgevano dispositivi multifrequenza con frequenze di campionamento di 2, 5 e 250 kHz.

3.5.5 Equazioni basate sull'impedenza bioelettrica per persone affette da malattie

Sono state riviste 14 equazioni predittive sviluppate in 8 studi su persone affette da malattie. Gli studi selezionati includevano partecipanti maschili e femminili europei e asiatici. Delle 14 equazioni disponibili, sei sono state fornite con la tecnologia piede a mano, di cui cinque adatte per soggetti maschili e sei per soggetti femminili, mentre otto equazioni sono state sviluppate utilizzando una tecnologia segmentale di cui sette adatte per soggetti maschili e tre per soggetti femminili. Per quanto riguarda la tecnologia piede a mano, c'erano un'equazione predittiva per la stima della FM nei soggetti maschili e una nelle femmine, e un'equazione per la stima della FFM nei soggetti maschili e due nelle femmine. Sono disponibili tre equazioni per la stima del LSM in entrambi i sessi. Considerando la tecnologia segmentale, c'era un'equazione per stimare la FM nei maschi e una nelle femmine, un'equazione per stimare la FFM nei maschi e sei nelle femmine, e solo un'equazione per stimare la TBW nei soggetti di sesso femminile. Sono state sviluppate tre equazioni utilizzando dispositivi a singola frequenza a 50 kHz, mentre 11 equazioni sono state realizzate con dispositivi multifrequenza coinvolgendo misure ottenute a 50 e 100 kHz.

3.5.6 Limiti della revisione e prospettive future

- Dire che la frequenza di 50 kHz è la più usata anche nei dispositivi multifrequenza
- Non c'è stata la possibilità di approfondire l'amperaggio e le possibili differenze tra le stesse tecnologie e brand diversi per assenza di dati in letteratura

3.6 Conclusioni

Questa revisione ha raccolto le migliori equazioni predittive basate sulla bioimpedenza che sono state sviluppate per valutare la composizione corporea. Ricercatori e professionisti possono ora scegliere le migliori equazioni avendo la possibilità di considerare le loro caratteristiche e peculiarità.

Tuttavia, dopo aver raggruppato queste equazioni per la tecnologia BIA, popolazioni diverse per età e sesso e le componenti stimabili della massa corporea, il numero disponibile di equazioni predittive appare molto limitato. In effetti, non esistono equazioni predittive per le tecnologie mano a mano e gamba a gamba, mentre sono attualmente disponibili più equazioni predittive per la tecnologia piede a mano rispetto alla tecnologia segmentale. Inoltre, non è stato possibile stimare in modo specifico un'ampia gamma di componenti della massa corporea a causa della mancanza di equazioni predittive specifiche della tecnologia e della popolazione. Poiché i valori di riferimento e le equazioni predittive basate sulla BIA sono specifici della popolazione e della tecnologia, questi risultati potrebbero sottolineare la necessità di sviluppare nuove equazioni predittive per alcune tecnologie, popolazioni e componenti della massa corporea BIA.

BIBLIOGRAFIA

1. Wells JCK, Fewtrell MS. Measuring body composition. Vol. 91, Archives of Disease in Childhood. 2006. p. 612–7.
2. Mundi MS, Patel JJ, Martindale R. Body Composition Technology: Implications for the ICU. Vol. 34, Nutrition in Clinical Practice. John Wiley and Sons Inc; 2019. p. 48–58.
3. Bredella MA. Sex differences in body composition. In: Advances in Experimental Medicine and Biology. Springer New York LLC; 2017. p. 9–27.
4. Aragon AA, Schoenfeld BJ, Wildman R, Kleiner S, VanDusseldorp T, Taylor L, et al. International society of sports nutrition position stand: Diets and body composition. Vol. 14, Journal of the International Society of Sports Nutrition. BioMed Central Ltd.; 2017.
5. Kuriyan R. Body composition techniques. Vol. 148, Indian Journal of Medical Research. Wolters Kluwer Medknow Publications; 2018. p. 648–58.
6. Fosbøl MO, Zerahn B. Contemporary methods of body composition measurement. Vol. 35, Clinical Physiology and Functional Imaging. 2015. p. 81–97.
7. Borga M, West J, Bell JD, Harvey NC, Romu T, Heymsfield SB, et al. Advanced body composition assessment: From body mass index to body composition profiling. Vol. 66, Journal of Investigative Medicine. BMJ Publishing Group; 2018. p. 887–95.
8. Campa F, Toselli S, Mazzilli M, Gobbo LA, Coratella G. Assessment of body composition in athletes: A narrative review of available methods with special reference to quantitative and qualitative bioimpedance analysis. Vol. 13, Nutrients. MDPI AG; 2021.

9. Lukaski HC, Bolonchuk WW, Hall CB, Siders WA. Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J Appl Physiol* (1985). 1986 Apr;60(4):1327–32.
10. Moon JR. Body composition in athletes and sports nutrition: an examination of the bioimpedance analysis technique. *Eur J Clin Nutr*. 2013 Jan;67 Suppl 1:S54-9.
11. Campa F, Matias CN, Moro T, Cerullo G, Casolo A, Teixeira FJ, et al. Methods over Materials: The Need for Sport-Specific Equations to Accurately Predict Fat Mass Using Bioimpedance Analysis or Anthropometry. *Nutrients*. 2023 Jan 5;15(2):278.
12. Coratella G, Campa F, Matias CN, Toselli S, Koury JC, Andreoli A, et al. Generalized bioelectric impedance-based equations underestimate body fluids in athletes. *Scand J Med Sci Sports*. 2021 Nov 19;31(11):2123–32.
13. Campa F, Matias CN, Teixeira FJ, Reis JF, Valamatos MJ, Coratella G, et al. Comparison of generalized and athletic bioimpedance-based predictive equations for estimating fat-free mass in resistance-trained exercisers. *Nutrition*. 2022 Oct;102:111694.
14. Dellinger JR, Johnson BA, Benavides ML, Moore ML, Stratton MT, Harty PS, et al. Agreement of bioelectrical resistance, reactance, and phase angle values from supine and standing bioimpedance analyzers. *Physiol Meas*. 2021 Apr 6;42(3).
15. Stratton MT, Smith RW, Harty PS, Rodriguez C, Johnson BA, Dellinger JR, et al. Longitudinal agreement of four bioimpedance analyzers for detecting changes in raw bioimpedance during purposeful weight gain with resistance training. *Eur J Clin Nutr*. 2021 Jul 16;75(7):1060–8.
16. Tinsley GM, Moore ML, Silva AM, Sardinha LB. Cross-sectional and longitudinal agreement between two multifrequency bioimpedance

- devices for resistance, reactance, and phase angle values. *Eur J Clin Nutr.* 2020 Jun 27;74(6):900–11.
17. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. Vol. 372, *The BMJ.* BMJ Publishing Group; 2021.
 18. Jiménez A, Omaña W, Flores L, Coves MJ, Bellido D, Perea V, et al. Prediction of whole-body and segmental body composition by bioelectrical impedance in morbidly obese subjects. *Obes Surg.* 2012 Apr;22(4):587–93.
 19. Jakicic JM, Wing RR, Lang W. Bioelectrical impedance analysis to assess body composition in obese adult women: The effect of ethnicity.
 20. Roubenoff R, Baumgartner RN, Harris TB, Dallal GE, Hannan MT, Economos CD, et al. Application of Bioelectrical Impedance Analysis to Elderly Populations [Internet]. Vol. 52, *Journal of Gerontology: MEDICAL SCIENCES.* 1997. Available from: <https://academic.oup.com/biomedgerontology/article/52A/3/M129/608165>
 21. Leman CR, Adeyemo AA, Schoeller DA, Cooper RS, Luke A. Body composition of children in south-western Nigeria: validation of bioelectrical impedance analysis. *Ann Trop Paediatr.* 2003 Mar 18;23(1):61–7.
 22. Rush EC, Chandu V, Plank LD. Prediction of fat-free mass by bioimpedance analysis in migrant Asian Indian men and women: A cross validation study. *Int J Obes.* 2006 Jul 14;30(7):1125–31.
 23. Rangel Peniche DB, Raya Giorguli G, Alemán-Mateo H. Accuracy of a predictive bioelectrical impedance analysis equation for estimating appendicular skeletal muscle mass in a non-Caucasian sample of older people. *Arch Gerontol Geriatr.* 2015 Jul 1;61(1):39–43.

24. Matias CN, Santos DA, Júdice PB, Magalhães JP, Minderico CS, Fields DA, et al. Estimation of total body water and extracellular water with bioimpedance in athletes: A need for athlete-specific prediction models. *Clinical Nutrition*. 2016 Apr 1;35(2):468–74.
25. Scafoglieri A, Clarys JP, Bauer JM, Verlaan S, Van Malderen L, Vantieghem S, et al. Predicting appendicular lean and fat mass with bioelectrical impedance analysis in older adults with physical function decline – The PROVIDE study. *Clinical Nutrition*. 2017 Jun 1;36(3):869–75.
26. Choi HJ, Ko CY, Chang Y, Kim GS, Choi K, Kim CH. Development and validation of bioimpedance prediction equations for fat-free mass in unilateral male amputees. *PeerJ*. 2021 Mar 8;9.
27. Nielsen BM, Dencker M, Ward L, Linden C, Thorsson O, Karlsson MK, et al. Prediction of fat-free body mass from bioelectrical impedance among 9- to 11-year-old Swedish children. *Diabetes Obes Metab*. 2007;9(4):521–39.
28. van Zyl A, White Z, Ferreira J, Wenhold FAM. Developing an impedance based equation for fat-free mass of black preadolescent south african children. *Nutrients*. 2019 Sep 1;11(9).
29. Nguyen PH, Young MF, Khuong LQ, Ramakrishnan U, Martorell R, Hoffman DJ. Development of population-specific prediction equations for bioelectrical impedance analyses in Vietnamese children. *British Journal of Nutrition*. 2020 Dec 28;124(12):1345–52.
30. Gutiérrez-Marín D, Escribano J, Closa-Monasterolo R, Ferré N, Venables M, Singh P, et al. Validation of bioelectrical impedance analysis for body composition assessment in children with obesity aged 8-14y. *Clinical Nutrition*. 2021 Jun 1;40(6):4132–9.
31. Toselli S, Campa F, Matias CN, de Alencar Silva BS, dos Santos VR, Maietta Latessa P, et al. Predictive equation for assessing appendicular lean soft tissue mass using bioelectric impedance

- analysis in older adults: Effect of body fat distribution. *Exp Gerontol*. 2021 Jul 15;150.
32. Heitmann BL. Evaluation of body fat estimated from body mass index, skinfolds and impedance. A comparative study. *Eur J Clin Nutr*. 1990 Nov;44(11):831–7.
 33. Svendsen OL, Haarbo J, Heitmann BL, Gotfredsen A, Christiansen C. Measurement of body fat in elderly subjects by dual-energy x-ray absorptiometry, bioelectrical impedance, and anthropometry. *American Journal of Clinical Nutrition*. 1991;53(5):1117–23.
 34. Zillikens MC, Conway JM. Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis in blacks. *American Journal of Human Biology*. 1991;3(1):25–32.
 35. Guo SS, Khoury PR, Specker B, Heubi J, Chumlea WmC, Siervogel RM, et al. Prediction of fat-free mass in black and white pre-adolescent and adolescent girls from anthropometry and impedance. *American Journal of Human Biology*. 1993;5(6):735–45.
 36. Scalfi L, Bedogni G, Marra M, Di Biase G, Caldara A, Severi S, et al. The prediction of total body water from bioelectrical impedance in patients with anorexia nervosa. *British Journal of Nutrition*. 1997 Sep 9;78(3):357–65.
 37. Pitrobelli A, Andreoli A, Cervelli V, Carbonelli MG, Peroni DG, De Lorenzo A. Predicting fat-free mass in children using bioimpedance analysis. In: *Acta Diabetologica*. 2003.
 38. Takashi M, Shuichi K. A Prediction Equation for Total Body Water from Bioelectrical Impedance in Japanese Children. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*. 2003;
 39. Fornetti WC, Pivarnik JM, Foley JM, Fiechtner JJ. Reliability and validity of body composition measures in female athletes. *J Appl Physiol*. 1999 Sep 1;87(3):1114–22.

40. Kim H, Song KH, Ambegaonkar JP, Chung S, Jeon K, Jiang FL, et al. Two-megahertz impedance index prediction equation for appendicular lean mass in Korean older people. *BMC Geriatr*. 2022 Dec 2;22(1):385.
41. Sardinha LB, Rosa GB, Hetherington-Rauth M, Correia IR, Magalhães JP, Silva AM, et al. Development and validation of bioelectrical impedance prediction equations estimating regional lean soft tissue mass in middle-aged adults. *Eur J Clin Nutr*. 2023 Feb 17;77(2):202–11.
42. Dittmar M, Reber H. New equations for estimating body cell mass from bioimpedance parallel models in healthy older Germans. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 2001 Nov 1;281(5):E1005–14.
43. Kontogianni MD, Panagiotakos DB, Skopouli FN. Does body mass index reflect adequately the body fat content in perimenopausal women? *Maturitas*. 2005 Jul 16;51(3):307–13.
44. van Baar H, Hulshof PJM, Tieland M, de Groot CPGM. Bioimpedance analysis for appendicular skeletal muscle mass assessment in (pre-frail elderly people. *Clin Nutr ESPEN*. 2015 Aug 1;10(4):e147–53.
45. Macdonald JH, Marcora SM, Jibani M, Roberts G, Kumwenda MJ, Glover R, et al. Bioelectrical impedance can be used to predict muscle mass and hence improve estimation of glomerular filtration rate in non-diabetic patients with chronic kidney disease. *Nephrology Dialysis Transplantation*. 2006 Dec 1;21(12):3481–7.
46. Hughes JT, Maple-Brown LJ, Piers LS, Meerkin J, O’Dea K, Ward LC. Development of a single-frequency bioimpedance prediction equation for fat-free mass in an adult Indigenous Australian population. *Eur J Clin Nutr*. 2015 Jan 23;69(1):28–33.

47. Barbosa-Silva TG, Gonzalez MC, Bielemann RM, Santos LP, Menezes AMB. Think Globally, Act Locally: The Importance of Population-Specific Bioelectrical Impedance Analysis Prediction Equations for Muscle Mass Assessment. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*. 2020 Sep 20;44(7):1338–46.
48. Matias CN, Campa F, Cavaca M, Paoli A, Teixeira FJ. Fat-free mass estimation in male elite futsal players: Development and validation of a new bioelectrical impedance–based predictive equation. *Nutrition*. 2023 Mar 1;107.
49. Jeon KC, Kim SY, Jiang FL, Chung S, Ambegaonkar JP, Park JH, et al. Prediction Equations of the Multifrequency Standing and Supine Bioimpedance for Appendicular Skeletal Muscle Mass in Korean Older People. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Aug 12;17(16):5847.
50. Arias Téllez MJ, Carrasco F, España Romero V, Inostroza J, Bustamante A, Solar Altamirano I. A comparison of body composition assessment methods in climbers: Which is better? *PLoS One*. 2019;14(11):e0224291.
51. Hartmann Nunes RF, de Souza Bezerra E, Orssatto LB, Moreno YM, Loturco I, Duffield R, et al. Assessing body composition in rugby players: agreement between different methods and association with physical performance. *J Sports Med Phys Fitness*. 2020 May;60(5):733–42.
52. Sardinha LB, Correia IR, Magalhães JP, Júdice PB, Silva AM, Hetherington-Rauth M. Development and validation of BIA prediction equations of upper and lower limb lean soft tissue in athletes. *Eur J Clin Nutr*. 2020 Dec;74(12):1646–52.
53. Kourkoumelis N, Grujic VR, Grabez M, Vidic A, Siksna I, Lazda I, et al. New bioelectrical impedance analysis equations for children and

- adolescents based on the deuterium dilution technique. *Clin Nutr ESPEN*. 2021 Aug 1;44:402–9.
54. Morrison JA, Guo SS, Specker B, Cameron Chumlea WM, Yanovski SZ, Yanovski JA. Assessing the body composition of 6-17-year-old black and white girls in field studies. *American Journal of Human Biology*. 2001;13(2):249–54.
 55. Wickramasinghe VP, Lamabadusuriya SP, Cleghorn GJ, Davies PSW. Assessment of body composition in Sri Lankan children: Validation of a bioelectrical impedance prediction equation. *Eur J Clin Nutr*. 2008;62(10):1170–7.
 56. Costa RF da, Silva AM, Masset KV da SB, Cesário T de M, Cabral BG de AT, Ferrari G, et al. Development and Cross-Validation of a Predictive Equation for Fat-Free Mass in Brazilian Adolescents by Bioelectrical Impedance. *Front Nutr*. 2022 Mar 17;9.
 57. Sluyter JD, Schaaf D, Scragg RKR, Plank LD. Prediction of fatness by standing 8-electrode bioimpedance: A multiethnic adolescent population. *Obesity*. 2010 Jan;18(1):183–9.
 58. Lukaski HC, Bolonchuk WW. Estimation of body fluid volumes using tetrapolar bioelectrical impedance measurements. *Aviat Space Environ Med*. 1988 Dec;59(12):1163–9.
 59. Oshima Y, Shiga T, Namba H, Kuno S. Estimation of whole-body skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis in the standing position. *Obes Res Clin Pract*. 2010;4(1):e1.
 60. Xu H qi, Liu J min, Zhang X, Xue Y tai, Shi J peng, Chen W, et al. Estimation of skeletal muscle mass by bioimpedance and differences among skeletal muscle mass indices for assessing sarcopenia. *Clinical Nutrition*. 2021 Apr 1;40(4):2308–18.
 61. Kanellakis S, Kourlaba G, Moschonis G, Vandorou A, Manios Y. Development and validation of two equations estimating body

- composition for overweight and obese postmenopausal women. *Maturitas*. 2010 Jan;65(1):64–8.
62. Janssen I, Heymsfield SB, Wang Z, Ross R. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. [Internet]. Vol. 89, *J Appl Physiol*. 2000. Available from: <http://www.jap.org>
 63. Kyle UG, Genton L, Hans D, Pichard C. Validation of a bioelectrical impedance analysis equation to predict appendicular skeletal muscle mass (ASMM). *Clinical Nutrition*. 2003;22(6):537–43.
 64. Dasgupta R, Anoop S, Samuel P, Kurian ME, Inbakumari M, Finney G, et al. Bioimpedance analysis with a novel predictive equation - A reliable technique to estimate fat free mass in birth weight based cohorts of Asian Indian males. *Diabetes and Metabolic Syndrome: Clinical Research and Reviews*. 2019 Jan 1;13(1):738–42.
 65. López-Taylor JR, González-Mendoza RG, Gaytán-González A, Jiménez-Alvarado JA, Villegas-Balcázar M, Jáuregui-Ulloa EE, et al. Accuracy of Anthropometric Equations for Estimating Body Fat in Professional Male Soccer Players Compared with DXA. *Journal of Sports Medicine*. 2018;2018:1–7.
 66. Matias CN, Campa F, Santos DA, Lukaski H, Sardinha LB, Silva AM. Fat-free Mass Bioelectrical Impedance Analysis Predictive Equation for Athletes using a 4-Compartment Model. *Int J Sports Med*. 2021 Jan 7;42(01):27–32.
 67. Langer RD, Borges JH, Pascoa MA, Cirolini VX, Guerra-Júnior G, Gonçalves EM. Validity of bioelectrical impedance analysis to estimation fat-free mass in the army cadets. *Nutrients*. 2016 Mar 11;8(3).
 68. Koury JC, de Oliveira-Junior AV, Portugal MRC, de Oliveira K de JF, Donangelo CM. Bioimpedance parameters in adolescent athletes in relation to bone maturity and biochemical zinc indices. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2018 Mar 1;46:26–31.

69. Sardinha LB, Correia IR, Magalhães JP, Júdice PB, Silva AM, Hetherington-Rauth M. Development and validation of BIA prediction equations of upper and lower limb lean soft tissue in athletes. *Eur J Clin Nutr.* 2020 Dec 1;74(12):1646–52.
70. Chao JJ, Kao MF, Chuang CL, Lu HK, Wu MC, Chen YY, et al. The bioelectrical impedance analysis with newly predictive equations for measuring segments body composition of elite male football players in Taiwan. *Scientific Research and Essays [Internet].* 2011;6(24):5131–7. Available from: <http://www.academicjournals.org/SRE>
71. YANNAKOULIA M, KERAMOPOULOS A, TSAKALAKOS N, MATALAS AL. Body composition in dancers: the bioelectrical impedance method. *Med Sci Sports Exerc.* 2000 Jan;228.
72. Williams Peter Bale CA. Bias and limits of agreement between hydrodensitometry, bioelectrical impedance and skinfold calipers measures of percentage body fat.
73. Kim JH, Choi SH, Lim S, Kim KW, Lim JY, Cho NH, et al. Assessment of appendicular skeletal muscle mass by bioimpedance in older community-dwelling Korean adults. *Arch Gerontol Geriatr.* 2014 May;58(3):303–7.
74. Vermeiren S, Beckwée D, Vella-Azzopardi R, Beyer I, Knoop V, Jansen B, et al. Evaluation of appendicular lean mass using bio impedance in persons aged 80+: A new equation based on the BUTTERFLY-study. *Clinical Nutrition.* 2019 Aug 1;38(4):1756–64.
75. Yoshida D, Shimada H, Park H, Anan Y, Ito T, Harada A, et al. Development of an equation for estimating appendicular skeletal muscle mass in Japanese older adults using bioelectrical impedance analysis. *Geriatr Gerontol Int.* 2014 Oct 1;14(4):851–7.
76. Tengvall M, Ellegård L, Malmros V, Bosaeus N, Lissner L, Bosaeus I. Body composition in the elderly: Reference values and bioelectrical

impedance spectroscopy to predict total body skeletal muscle mass. *Clinical Nutrition*. 2009 Feb;28(1):52–8.

77. Haapala I, Hirvonen A, Niskanen L, Uusitupa M, Kröger H, Alhava E, et al. Anthropometry, bioelectrical impedance and dual-energy X-ray absorptiometry in the assessment of body composition in elderly Finnish women. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2002 Nov;22(6):383–91.
78. Dey DK, Bosaeus I, Lissner L, Steen B. Body composition estimated by bioelectrical impedance in the Swedish elderly. Development of population-based prediction equation and reference values of fat-free mass and body fat for 70- and 75-y olds. *Eur J Clin Nutr*. 2003 Aug 1;57(8):909–16.
79. Sergi G, De Rui M, Veronese N, Bolzetta F, Berton L, Carraro S, et al. Assessing appendicular skeletal muscle mass with bioelectrical impedance analysis in free-living Caucasian older adults. *Clinical Nutrition*. 2015 Aug 1;34(4):667–73.
80. De Rui M, Veronese N, Bolzetta F, Berton L, Carraro S, Bano G, et al. Validation of bioelectrical impedance analysis for estimating limb lean mass in free-living Caucasian elderly people. *Clinical Nutrition*. 2017 Apr 1;36(2):577–84.
81. Lin TY, Wu MY, Chen HS, Hung SC, Lim PS. Development and validation of a multifrequency bioimpedance spectroscopy equation to predict appendicular skeletal muscle mass in hemodialysis patients. *Clinical Nutrition*. 2021 May 1;40(5):3288–95.

