

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

Tesi di Laurea

**ANTROPOMETRIA DIGITALE: VALIDAZIONE PRELIMINARE DI UN  
APPLICAZIONE MOBILE**

Relatore: Dott. Francesco Campa

Laureando: Elipanni Lorenzo

N° di matricola: 1224199

Anno Accademico 2022/2023

## **Sommario**

<b>GLOSSARIO .....</b>	<b>2</b>
<b>CAPITOLO PRIMO.....</b>	<b>4</b>
<b>LA COMPOSIZIONE CORPOREA .....</b>	<b>4</b>
1.1. Livelli organizzativi .....	5
1.2 Modelli compartimentali .....	9
1.3 Tecniche e metodi di analisi .....	12
<b>L'ANTROPOMETRIA MANUALE.....</b>	<b>28</b>
2.1. La tecnica antropometrica .....	28
2.2. Misure antropometriche e stato di salute .....	33
2.3. Effetti dell'esercizio fisico sulla composizione corporea.....	35
<b>CAPITOLO TERZO .....</b>	<b>39</b>
<b>NUOVE FRONTIERE PER VALUTARE LA COMPOSIZIONE</b>	
<b>CORPOREA.....</b>	<b>39</b>
3.1. L'antropometria digitale: stato dell'arte e vantaggi di utilizzo	
.....	39
3.2 Validazione di un sistema di acquisizione immagini per la	
valutazione della composizione corporea .....	44
3.3 Materiali e metodi .....	45
3.4 Risultati.....	47
3.5 Discussione.....	48
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>50</b>
<b>RINGRAZIAMENTI.....</b>	<b>51</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>52</b>

## **GLOSSARIO**

FM = Massa Grassa

FFM = Massa Magra

TBW = Acqua Corporea Totale

BMC = Contenuto Minerale Osseo

ICW = Acqua Intracellulare

ECW = Acqua Extracellulare

BCM = Massa Cellulare

RX = Raggi X

DEXA = tecnica di assorbimento a raggi X a doppia energia (Dual-Energy X-Ray Absorptiometry)

RMN = Risonanza Magnetica Nucleare

QCT = Tomografia Computerizzata Quantitativa

ADP = Pletismografia a Spostamento D'aria

BMD = Densità Minerale Ossea

LST = Tessuto Magro

TOBEC = Total Body Electrical Conductivity

TBK = Potassio Corporeo Totale

CP = Creatinfosfato

BD = Densità Corporea

BMI = Indice Di Massa Corporea

WHO – OMS = Organizzazione Mondiale Della Sanità

WHR = Rapporto Vita-Fianchi

ATP = Adenosintrifosfato

IMTG = Trigliceridi Intramuscolari

EPOC = Consumo di Ossigeno in Eccesso Post Esercizio

MICT = Allenamento Continuo a Moderata Intensità

RMR = Metabolismo Basale

ROM = Range of Motion

WC = Perimetro della Vita

HC = Perimetro dei Fianchi

W:HT = Rapporto Vita-Altezza

SM = Massa Muscolare Scheletrica

VBC = Visual Body Composition

ISAK = Società Internazionale per l'Avanzamento della Chinantropia

SEE = Errore di Stima Standard

$r^2$  = Coefficiente di Correlazione

CCC = Coefficiente di Correlazione della Concordanza

## **CAPITOLO PRIMO**

### **LA COMPOSIZIONE CORPOREA**

La composizione corporea è uno dei parametri più interessanti e dibattuti che mette in relazione il mondo dello sport e quello dei professionisti della salute. Con questo termine si identificano tutti gli elementi che costituiscono il peso corporeo. Chi opera in modo attivo in questo settore ha l'obiettivo di garantire alla popolazione uno stile di vita sano e di maggior qualità. Nutrizionisti, medici, wellness personal trainers, preparatori e chinesiologi offrono le proprie conoscenze per giungere al miglior risultato. Numerosi componenti, come il grasso corporeo, la massa muscolare e il quantitativo minerale osseo hanno un ruolo chiave nello stato di salute e nella prestazione fisica. Trascurare tali aspetti porta ad una marcata esposizione all'insorgenza di fattori di rischio. Controllare, gestire e curare la composizione corporea permette di agire in modo preventivo nei confronti di malattie, talvolta croniche, che possono manifestarsi di conseguenza. Non è facile ambire a tale risultato: con gli strumenti ad oggi utilizzati molti elementi vengono stimati in modo indiretto. Progredire in tal senso è una sfida che coinvolge tutti i professionisti del settore.

La valutazione della composizione corporea è diventata un metodo importante per determinare il peso corporeo desiderabile di adulti e atleti. La pesatura idrostatica è un metodo popolare e valido, ma risulta essere troppo generale per l'ambiente clinico; quindi, l'antropometria è diventata il metodo prediletto. Attraverso l'analisi della composizione corporea si possono stabilire le proporzioni degli elementi e dei compartimenti di natura chimica e anatomica del corpo umano, con il fine di valutare lo stato di idratazione, lo stato nutrizionale e lo stato di salute generale di un individuo. Questa tesi sperimentale ha l'obiettivo di proporre un metodo scientifico valido per

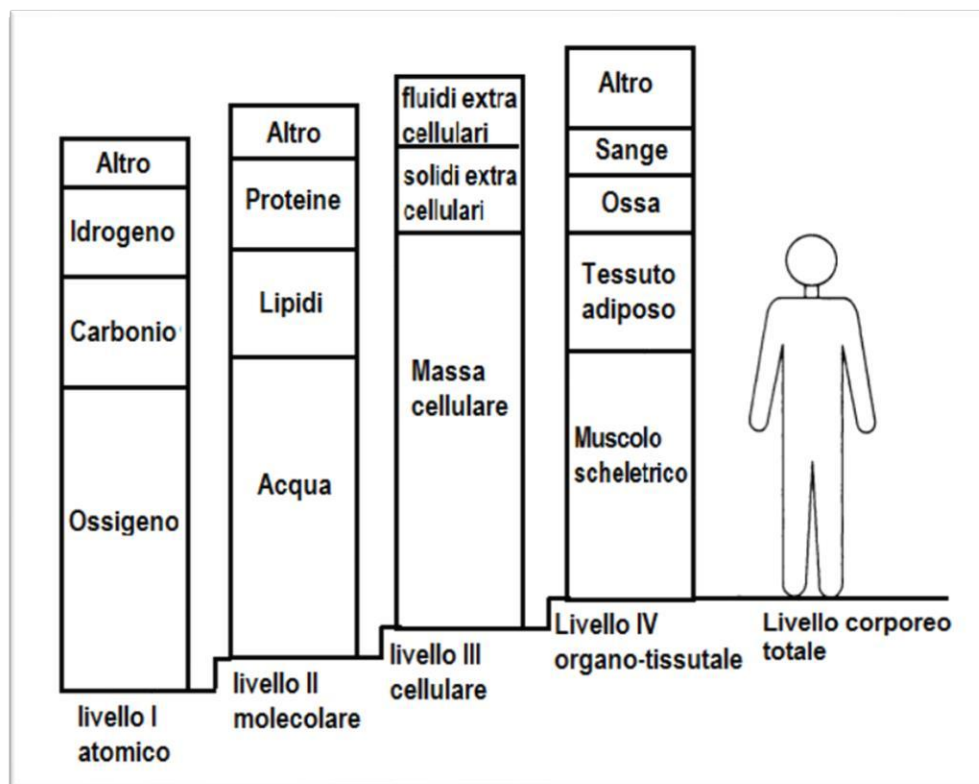
determinare le misure antropometriche di un soggetto tramite applicazione mobile.

### 1.1. Livelli organizzativi

Per la prima volta nel 1992, il Prof. Wang propone un'organizzazione a cinque livelli delle componenti del peso del corpo umano. Una successione che evolve dall'atomo alla molecola, dalla cellula al tessuto (Z. M. Wang et al., 1992):

- I) Primo livello: atomico;
- II) Secondo livello: molecolare;
- III) Terzo livello: cellulare;
- IV) Quarto livello: organo-tissutale;
- V) Quinto livello: corporeo totale;

Una schematizzazione grafica è riportata in Figura 1:



**Figura 1.** schematizzazione del modello a 5 livelli proposto da Wang (Z. M. Wang et al., 1992)

Questa suddivisione esula dal concetto di massa, che non è riconducibile a nessun livello. Questo termine lo si può inserire in uno schema a due compartimenti composto da:

- Massa grassa (Fat Mass = FM): rappresenta la percentuale del peso corporeo costituita da tessuto adiposo. Studi su cadaveri le attribuiscono una densità pari a  $0.9 \text{ g/cm}^3$  (Z. Wang et al., 1999), tuttavia la sua costituzione dipende da numerose variabili: età, sesso e quadro ormonale in primis. Nell'uomo, la massa lipidica di deposito rappresenta – in media – l'11,5% ed è costituita da trigliceridi. Nella donna il 10%. La quantità di grasso essenziale, invece, rappresenta la percentuale presente in organi e apparati, fondamentale per l'equilibrio ormonale, soprattutto nella donna. Si parla del 3% nell'uomo e del 12% nella donna (S. B. Heymsfield et al., 1997). Valori eccessivi, in entrambi i sessi, portano all'aumento di fattori di rischio per la salute. Valori nella media ottimizzano la performance sportiva (Campa, Piras, et al., 2019; Campa, Semprini, et al., 2019). L'exasperazione in difetto provoca rischi per la salute e per la funzionalità fisica.
- Massa magra (Fat Free Mass = FFM): questo valore viene ricavato sottraendo il valore di FM alla massa corporea totale e, in media, costituisce circa l'85% del peso corporeo. La percentuale di massa magra è costituita dal tessuto osseo scheletrico, dal tessuto muscolare, dagli organi e dai tessuti molli (quali cartilagini, fluidi, tessuto connettivo, tra tutti). Grazie ad accertamenti su cadaveri (S. B. Heymsfield et al., 1997) si stima che la FFM abbia una densità di  $1.1 \text{ g/cm}^3$ .

Nella classificazione (Z. M. Wang et al., 1992) la suddivisione dei livelli avviene secondo una precisa natura.

Il primo livello, quello atomico, rappresenta la composizione corporea come un insieme di tante particelle chimiche fondamentali: ossigeno, idrogeno, carbonio e altri atomi meno complessi e non sufficientemente organizzati per costituire livelli superiori. In questo livello vengono rappresentati cinquanta elementi con una struttura atomica. Nello specifico, 6 elementi (ossigeno, carbonio, idrogeno, azoto, calcio e fosforo) rappresentano circa il 98% del peso corporeo e altri 44 elementi costituiscono il restante 2%. Purtroppo, poche tecniche, tra cui l'attivazione neutronica (whole-body counting), permettono di indagare la composizione corporea in maniera precisa a questo livello.

Nel secondo livello sono rappresentate le molecole costituenti l'organismo, che incorporano i principali elementi costitutivi. Specie molecolari simili possono essere raggruppate in quattro categorie fondamentali: acqua, lipidi, proteine e altre molecole. Acqua e minerale osseo, poiché facilmente quantificabili con i metodi di analisi utilizzati ad oggi, permettono una misurazione efficace in ambito clinico e pratico. Le principali componenti indagate nel livello molecolare sono:

- Acqua Corporea Totale (Total Body Water = TBW): in media, costituisce il 60% del peso nell'uomo e il 56% nella donna. Costituisce una buona parte della massa magra ed è soggetta a diverse variabili, come età, sesso, stato nutrizionale e livello di attività fisica del soggetto (S. B. Heymsfield et al., 1997)
- Contenuto Minerale Osseo (Bone Mineral Content = BMC): in percentuale compone il 10% del peso corporeo ed è soggetto a variabili come lo stato di accrescimento osseo e l'equilibrio osteoblastico, lo stato di salute e la funzionalità fisica (Xu & Wu, 2018)



Nel secondo livello viene proposta un'analisi attraverso la quantificazione di deuterio e trizio o con bioimpedenziometria.

Nel terzo livello, quello cellulare, vengono valutati gli spazi intra ed extra cellulari. Nell'organismo è necessario che le molecole siano accorpate in singole unità funzionali, le cellule. Secondo questo modello, il corpo umano è composto da tre maggiori compartimenti (massa cellulare, fluidi e solidi extra cellulari). A questo livello viene indagata la distribuzione dei liquidi, che segue un andamento medio in cui risulta che il 60% di questi occupi lo spazio intracellulare (intracellular water = ICW), mentre il 40% quello extracellulare (extracellular water = ECW) (S. B. Heymsfield et al., 1997).

L'analisi della composizione corporea a livelli cellulari organizzati come questo avviene attraverso indagini su FM e Massa Metabolicamente Attiva (Body Cell Mass = BCM).

Il livello tissutale, definito come quarto livello, coinvolge parametri fondamentali per la funzionalità fisica (Cruz-Jentoft et al., 2019), ovvero organi e tessuti. La composizione corporea viene valutata studiando il tessuto muscolare, connettivo (osseo e adiposo), epiteliale e nervoso.

Indagini dettagliate e quantificate avvengono attraverso strumentazione medica specifica, ad esempio raggi x (RX), risonanza magnetica nucleare (RMN) o Dual-Energy X-Ray Absorptiometry (DEXA).

Per concludere il modello di Wang troviamo il livello whole-body, in cui il peso è definito come la somma dei differenti segmenti corporei: arti, tronco e testa sono dotati di aree e volumi propri. Questo livello propone una visione macroscopica e più complessa rispetto alle precedenti. Vengono prese in considerazione le caratteristiche fisiche esteriori: peso, statura, lunghezza dei segmenti corporei, circonferenze, pliche adipose, volume. Determinate variabili permettono di ricavare parametri correlati alla composizione corporea: densità (come rapporto peso/volume) e stima della FM e FFM.

## 1.2 Modelli compartimentali

In questo paragrafo verranno presentate le interazioni che ci possono essere tra i vari livelli del modello di Wang al fine di realizzare un'analisi della composizione corporea quanto più accurata e individualizzata possibile.

Inizialmente è bene procedere con una verifica delle esigenze del soggetto, per poi decidere gli strumenti e il modello più adatto da applicare. Risulta fondamentale conoscere i test e i risultati ottenibili da ognuno di essi per proporre il metodo di misura più efficace. Il peso corporeo può essere scomposto nella somma di due o più elementi della stessa natura organizzativa: da qui nasce la visione di un modello multicompartimentale.

Normalmente, la composizione corporea può essere considerata a livello generale, o a livello segmentale e le variazioni tra i soggetti sono soprattutto dovute alla differenza di sesso (Heo et al., 2012), età, stato di accrescimento e di salute: fase adolescenziale (Bray et al., 2001) e senile (Andreoli et al., 2009).

Il concetto di massa corporea non appartiene a nessun livello o natura; quindi, può essere plasmato a seconda delle esigenze soggettive mettendo in comunicazione diversi compartimenti. L'esempio più chiaro è riferito alla FM: è possibile costituire il peso corporeo in un modello a 3 compartimenti composto da FM, massa residua (costituita da proteine e minerali) e TBW, la maggior componente molecolare della FFM. Questi dati, integrati con i risultati della densitometria forniscono una stima accurata della FM.

I modelli multicompartimentali molecolari sono sempre più accurati e considerati in campo clinico, grazie all'utilizzo di una varietà di tecnologie e protocolli di estrema precisione. Si assume che il parametro TBW (Total Body Water) costituisca il 73,2% della FFM (Z. M. Wang et al., 1999), proporzione costante che è stata verificata su cadaveri e animali (Pace &

Rathbun, 1945; Z. M. Wang et al., 1999) A sua volta, la densità della FFM risulta discostarsi dal valore di  $1,1 \text{ g/cm}^3$  (Durnin & Womersley, 1974) a seconda dello stato nutrizionale e patologico del soggetto.

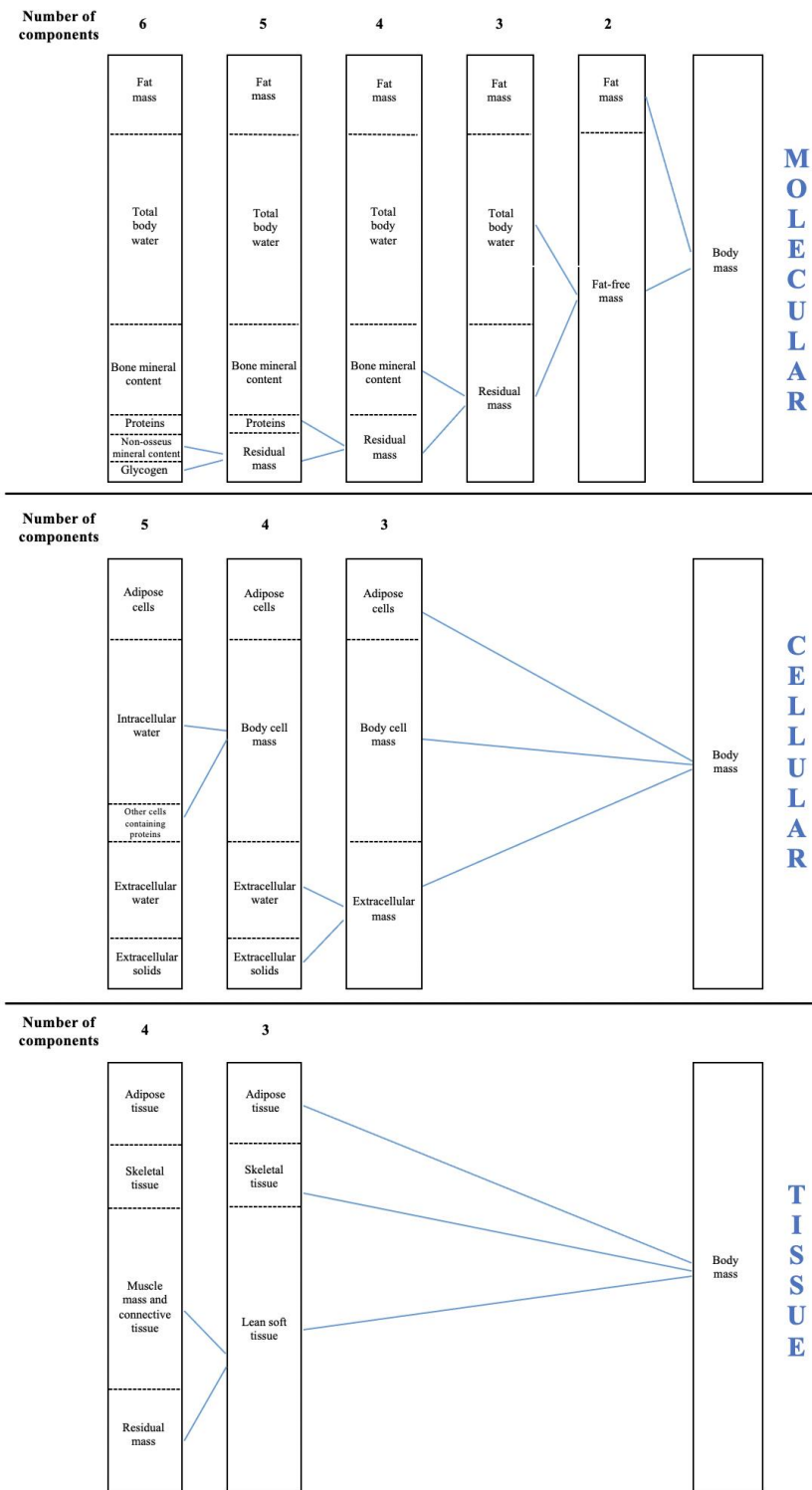
Il modello bi-compartimentale è quello maggiormente utilizzato: FM e FFM si compensano in maniera duale. La FM è espressa in percentuale rispetto al peso corporeo totale (FM%). La FFM, data dalla differenza tra peso corporeo totale e FM, è suddivisa in 6 compartimenti: Total Body Water (TBW), distinguibile in Intra Cellular Water (ICW) ed Extra Cellular Water (ECW), i carboidrati, la somma delle proteine costituenti l'organismo, i minerali nei tessuti molli e i minerali che compongono il tessuto osseo (Z. M. Wang et al., 1992). La FM include gli adipociti, cellule di deposito di trigliceridi (TGA), il collagene e le fibre elastiche (Z. M. Wang et al., 1992).

Una precisione più accurata nella stima della FFM si ha con il passaggio ad un modello molecolare a tre compartimenti. Considerando FM, TBW e massa residua (proteine e minerali) si può ovviare il problema di misurazione della sola densità.

Un ulteriore aumento della precisione lo si ha con il modello molecolare a 4 compartimenti, nel quale viene stimata la FFM valutando il bilanciamento dei fluidi corporei e il contenuto minerale osseo. Tale procedura è utilizzata come standard per la valutazione della composizione corporea nella ricerca scientifica (Silva, 2019).

Infine, a livello organo-tissutale, viene utilizzato un modello a tre compartimenti (3C) tramite DXA.

In Figura 2 è riportato uno schema dei possibili modelli compartimentali per l'analisi della composizione corporea (Campa et al., 2021).



**Figura 2.** Modelli multi compartimentali per l'analisi della composizione corporea (Campa et al., 2021).

### 1.3 Tecniche e metodi di analisi

Appreso che la valutazione della composizione corporea può essere di diversa natura e che può prendere in considerazione una visione generale o relativa ai singoli segmenti corporei, le tecniche per valutarla si distinguono in dirette, indirette e doppiamente indirette (Ellis, 2000). Da qui vengono ricavati anche i metodi di riferimento, "gold standard". Le tecniche dirette permettono di misurare in maniera effettiva e a qualsiasi livello le componenti che si vogliono valutare, ma risultano essere molto costose, largamente invadenti e di difficile applicazione. Ad esempio, la dissezione del cadavere o l'analisi di attivazione neutronica.

Viceversa, le tecniche indirette offrono una stima accurata basata su modelli matematici che derivano dai risultati ottenuti con le tecniche dirette. Risultano efficaci per precisione, minor invasività e costo. A questo livello di valutazione vengono indagate caratteristiche ben precise, talvolta, a discapito di altre; ad esempio, con la DEXA viene stimato con elevata precisione il contenuto di minerale osseo, mentre viene completamente trascurata la quantità di acqua corporea e le sue componenti. Altri strumenti per la valutazione indiretta sono: la pesa idrostatica, la pletismografia ad aria, la risonanza magnetica nucleare (RMN), la DXA (la tecnica di assorbimento a raggi X a doppia energia, Dual-Energy X-Ray Absorptiometry), la tomografia computerizzata quantitativa (QCT).

Infine, le tecniche doppiamente indirette sono la bioimpedenziometria (BIA) e l'antropometria (Ellis, 2000; S. Y. Lee & Gallagher, 2008). Come per le tecniche indirette, le quali basano le loro stime su formule matematiche provenienti da rilevazioni con tecniche dirette, le tecniche doppiamente indirette ricavano i propri parametri di riferimento da modelli matematici provenienti da tecniche indirette. Questi protocolli risultano essere di facile applicazione rispetto ai precedenti, ma presentano una possibilità di propagazione dell'errore maggiore. Ciò dipende da quanto il soggetto si

discosta dalle medie dei dati utilizzati per la formulazione dei modelli di riferimento provenienti da metodi analitici superiori. Si tratta di differenze per sesso, età, stato nutrizionale, di salute, popolazione, ecc.

Di seguito verranno analizzati gli strumenti utilizzati per la valutazione della composizione corporea:

- **Pesa idrostatica**

Difficilmente applicabile ad un elevato numero di pazienti, la pesa idrostatica fa leva sulla teoria descritta da Fidanza (FIDANZA et al., 1953) secondo cui FM e FFM hanno una densità costante, corrispondente a  $1.1 \text{ g/cm}^3$  per la FFM e  $0.9 \text{ g/cm}^3$  per la FM. Prevede la completa immersione in acqua del paziente e ne valuta il volume corporeo in base alla quantità d'acqua spostata, secondo la teoria del principio di Archimede: la forza di spinta verso l'alto che viene esercitata su di un corpo immerso in un fluido è uguale al peso del fluido che il corpo sposta.

- **Pletismografia a spostamento d'aria**

La ADP (pletismografia a spostamento d'aria) misura il volume del corpo attraverso lo spostamento d'aria all'interno di una camera sigillata. Non è invasiva e risulta validata per popolazione infantile, adulta e senile (Urlando et al., 2003). Facilmente applicabile, non necessita di particolare formazione dell'operatore. E' sicura poiché non espone a radiazioni come altre tecniche ad immagine. Risulta limitata sotto alcuni aspetti perché utilizzando questa valutazione si assume costante il rapporto tra TBW e FFM. Quando un soggetto presenta alterazioni di idratazione, e non si può quantificare, si ottiene una FFM discostata dalla realtà. Se l'idratazione è maggiore

della media, la FFM sarà più idratata e quindi sottostimata, a discapito di una FM sovrastimata. Viceversa, se il soggetto risulta essere disidratato, si verifica il contrario. Su atleti maschi hanno riscontrato una sovrastima della FM, dovuta al turnover di liquidi che li mantiene ad un livello di idratazione inferiore alla media (S. Heymsfield et al., 2005).

In figura 3 e 4 è rappresentato un pletismografo ad aria e il suo utilizzo pratico



**Figura 3.** Pletismografo ad aria.



**Figura 4.** Applicazione pratica del pletismografo ad aria.

Di seguito verranno illustrate le principali tecniche per immagine:

- **Tomografia computerizzata quantitativa (QCT)**

La tomografia computerizzata quantitativa (QCT) è una tecnica diagnostica per immagini che distingue la componente corticale da quella trabecolare dell'osso misurandone la densità minerale (Bone Mineral Density = BMD). Si esegue solitamente a livello della colonna vertebrale e a livello lombare e prevede la somministrazione di una dose di raggi X superiore rispetto ad altre tecniche utilizzate, come ad esempio la DEXA, che verrà tratta successivamente. A causa della dose di radiazioni che deve essere somministrata, e al risultato incompleto ai fini della valutazione della composizione corporea, nel corso degli anni si è preferito optare per tecniche a ultrasuoni, come gli apparecchi ecografici.

A scopo illustrativo in figura 5 viene presentato lo strumento descritto.





**Figura 5.** Tomografia assiale computerizzata e relativa applicazione pratica.

- **Assorbimetria a raggi X a doppia energia (DXA)**

Con questa tecnica si possono misurare tre componenti: FM, Tessuto Magro (lean soft tissue = LST) e massa minerale ossea (Bone Mineral Content = BMC). È propriamente definita come “gold standard”, ampiamente accettato come metodo a livello clinico e scientifico ed è l’unica in grado di determinare la stima della densità minerale ossea. La DXA sfrutta una sorgente a raggi X a doppio livello energetico e filtri che permettono di produrre diversi livelli di energia a raggio d’azione (Andreoli et al., 2009). Con questa tecnica si valuta la composizione corporea con l’analisi dei fotoni, che fluiscono attraverso il corpo, disteso in posizione supina. Il macchinario fornisce un risultato a pixel, che presentano configurazioni differenti a seconda dell’intensità del flusso fotonico, modificato dalla cessione di energia al passaggio attraverso i tessuti.

I tessuti molli aumentano il flusso mentre il tessuto osseo lo riduce (Andreoli et al., 2009). Il software permette la distinzione in FM e FFM, con una visione segmentaria o di tutto il corpo. La precisione è dell'1% per il contenuto minerale osseo e del 2,5% per il tessuto adiposo (de Lorenzo, 1998). L'esame è ripetibile frequentemente poiché la dose di radiazioni risulta molto bassa e non viene dispersa nell'ambiente (Andreoli et al., 2009). Richiede però la presenza di un operatore certificato e presenta una durata variabile dai 5 ai 30 minuti, a seconda del macchinario. Non ha limitazioni d'età ma viene sconsigliato alle donne in gravidanza.

In figura 6 è riportato un macchinario per Assorbimetria a raggi X a doppia energia.



**Figura 6.** Macchinario utilizzato per ottenere una DXA.

- **Risonanza Magnetica Nucleare (RMN)**

Questa metodica permette di analizzare in maniera specifica il tessuto adiposo nelle sue forme: sottocutaneo, intramuscolare e viscerale ed è il riferimento per la valutazione del tessuto muscolare e degli organi. Fornisce una loro visione in tre dimensioni, grazie alla potenzialità dei campi magnetici e al contrasto cromatico tra FM e FFM. Implica lunghi tempi di analisi e un personale altamente specializzato. Il costo di acquisto e manutenzione è elevato, ma non comporta l'utilizzo invasivo di raggi X come nella Tomografia Computerizzata.

Il macchinario risulta essere molto simile alla Tomografia Computerizzata (TCQ) ma è basato su un concetto differente.

In figura 7 è rappresentato un macchinario per eseguire RMN



**Figura 7.** Strumento per RMN.

- **Total Body Electrical Conductivity (TOBEC)**

Il principio sul quale il metodo TOBEC si basa è la differenza di conduttività dei tessuti corporei. La FFM possiede un elevato contenuto di liquidi ed elettroliti; quindi, ha una capacità di conduzione migliore rispetto alla massa grassa (Pethig, 1979). Il soggetto viene posizionato all'interno dello strumento riportato in figura 8 e immerso in un campo magnetico.



**Figura 8.** Total Body Electrical Conductivity (TOBEC).

- **Tomografia Computerizzata (TC)**

Questa metodica si basa sul principio dell'attenuazione dei raggi-X nei diversi tessuti a causa della loro diversa densità. Il paziente, adagiato supino sul macchinario, viene attraversato da un fascio di raggi X. I tessuti a bassa densità risultano neri, quelli a maggiore densità bianchi; il tessuto osseo risulterà dunque bianco, mentre l'aria nera. Questa tecnica, oltre a presentar una notevole pericolosità, è abbastanza limitante per pazienti con BMI > 40 kg/m<sup>2</sup>, poiché fisicamente non è possibile adagiarli nel tunnel che emette il flusso di raggi X. Nonostante la sua elevata accuratezza, risulta di difficile applicazione causa costi elevati e limitata disponibilità. In figura 9 viene riportato quanto descritto.

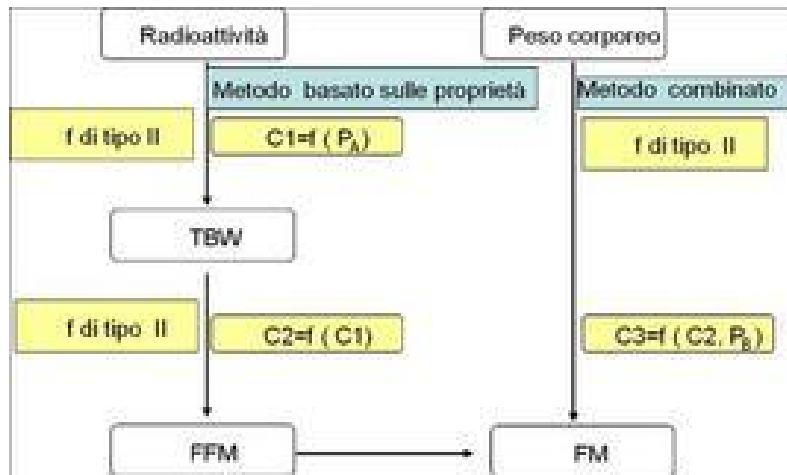


**Figura 9.** Tomografia Computerizzata TC.

Prima di presentare le tecniche antropometriche, risulta interessante analizzare anche:

- **Tecniche di diluizione**

Utilizzate nel 1934 per la prima volta, grazie a George de Hevesy, permisero di ottenere una stima della Total Body Water grazie alla diluizione di deuterio in urine, plasma e saliva, utilizzando il metodo spettrometrico. I traccianti maggiormente utilizzati sono antipirina, etanolo, urea e acqua etichettata isotopicamente. Per i liquidi extracellulari vengono utilizzati bromuro, cloruro, tiocianato, solfato, insulina, saccarosio e mannitolo. Ricavata la relazione tra i traccianti e TBW, si assume che quest'ultima sia il 73,2% della FFM.



**Figura 10.** Procedimento per la determinazione di TBW, FFM e successivamente, dato il dualismo di quest’ultima con la massa magra, FM.

- **Potassio Corporeo Totale**

Attraverso la misurazione del potassio totale è possibile stimare la FFM affidandosi alla relazione che lega potassio e massa proteica cellulare, il quale si trova per il 98% nella massa magra. In questa tecnica ritenuta “gold standard”, il soggetto viene osservato per un tempo che varia dai 30 ai 60 minuti all’interno di una camera di scintillazione. Nello specifico viene valutato il potassio 40 ( $^{40}\text{K}$ ), isotopo radioattivo del potassio, che costituisce lo 0,0118% del potassio totale corporeo e che a seconda del sesso varia da 50 a 70 mmol/kg di FFM. Per differenza con il peso totale viene dedotta anche la FM e la BCM, Body Cell Mass (corrispondente a  $0.00833 \times \text{TBK}$ , Total Body Potassium [mmol]).

- **Escrezione di creatina nelle urine**

La creatinina deriva dalla degradazione di creatinfosfato (CP). Questa sostanza è naturalmente presente nelle cellule muscolari come riserva di energia. Si tratta di un fosfato altamente energetico

che può fornire energia per la contrazione in un brevissimo lasso di tempo. Assumendo che nella contrazione muscolare necessaria a sostenere le esigenze del corpo la CP utilizzata per la produzione di energia venga trasformata in creatinina, poi escreta dal circolo ematico mediante i reni, il protocollo consiste nella raccolta di tutte le urine nell'arco delle 24 ore. Considerato che in 18kg di massa muscolare è contenuta 1g di creatina (S. B. Heymsfield et al., 1983), questo protocollo prevede un'analisi con il metodo cinetico modificato di Jaffe e permette di stimare in modo indiretto la FFM.

Di seguito, infine, vengono presentate le tecniche impedenziometriche e antropometriche per la valutazione della composizione corporea:

- **Bioimpedenziometria (BIA)**

La BIA è una metodologia largamente utilizzata per la sua praticità, attendibilità e per il pattern di dati forniti. Con questo protocollo si misurano la resistenza (forza opposta dai fluidi intra ed extra cellulari) e la reattanza (forza opposta dalle cellule) dell'organismo, ovvero l'impedenza bioelettrica che i tessuti rivelano al passaggio di corrente. La procedura più efficace prevede il posizionamento di due elettrodi, su arto superiore e inferiore omolaterale, secondo il protocollo foot-to-hand. Viene trasmesso un impulso di frequenza 50 kHz e vengono misurati i dati in questione: R (resistenza) e X (reattanza). La prima risulta essere indirettamente proporzionale al contenuto di fluidi (ICW e ECW), mentre la seconda direttamente proporzionale alla densità cellulare. Apparecchiature simili forniscono anche l'angolo di fase. Questi parametri compongono un'equazione, che si differenzia a seconda del soggetto (età, sesso, stato di salute e prestativo), e fornisce i risultati ricercati. In questi casi si è soliti adottare un modello tricompartmentale misto: BCM e

massa extracellulare – componenti appartenenti al livello cellulare – e la FM, appartenente a quello molecolare.

In figura 11 e 12 l'apparecchio utilizzato per eseguire la BIA e la relativa applicazione degli elettrodi.



**Figura 11.** Un analizzatore di bioimpedenza.



**Figura 12.** Schematizzazione dell'applicazione degli elettrodi per esecuzione BIA secondo protocollo foot-to-hand.



È bene appuntare che nel mercato sono disponibili vari modelli di strumentazione per la valutazione della composizione corporea tramite BIA. Un esempio in figura 13.



**Figura 13.** BIA in stazione eretta: direct segmental.

- **Metodo antropometrico**

Il modello antropometrico valuta la composizione corporea considerando la statura, il peso, le circonferenze, le lunghezze dei segmenti corporei, i diametri e lo spessore dei pannicoli adiposi, tramite plicometria. Con questo termine si intende la misurazione – tramite apposito strumento – il plicometro, delle pliche cutanee in zone del corpo standardizzate. Le misure ricavate vengono utilizzate per predire la FM% la densità corporea (Body Density = BD) con delle equazioni popolazione-specifiche. Risulta essere

di frequente utilizzo nella pratica nutrizionale e dietologica. In figura 14 il plicometro.



**Figura 14.** Plicometro.

Peso e altezza: il gold standard per misurare l'altezza è lo stadiometro. Ci si atteggia in posizione di attenti ginnico, con il capo orientato secondo il Piano di Francoforte: un piano orizzontale che congiunge il piano uditivo esterno (triagon) e il bordo inferiore dell'orbita (orbitale). La misura più accurata per il peso viene associata a bilance meccaniche a pesi mobili. Il soggetto sale sulla bilancia in abbigliamento leggero e senza scarpe.

Circonferenze corporee: valutate per mezzo di una cordella metrica anelastica, la misura delle circonferenze corporee ha lo scopo di valutare la distribuzione e l'evoluzione del tessuto adiposo, nell'adulto, e l'accrescimento nell'età pediatrica.

Diametri: utilizzati come indicatori di crescita in età evolutiva e puberale, nell'adulto sono predittivi del somatotipo e taglia corporea. I diametri sono misure della larghezza ossea: per diametri di piccole dimensioni, come polso e gomito si utilizzai il compasso a branche lineari o ricurve, per i diametri maggiori si utilizza l'antropometro

Questo metodo indiretto bicompartimentale si basa sulla presunzione che il grasso sottocutaneo e la FM% abbiano una proporzionalità diretta. Grazie a delle equazioni matematiche, specifiche per la popolazione su cui sono state sviluppate e che si differenziano per sesso, età e attività fisica, è possibile risalire alla stima del valore di massa grassa totale. I pannicoli adiposi da tenere in considerazione sono riferiti a: tricipite, bicipite e quadricipite, area sottoscapolare, pettorale, ascellare, sovraspinale, sovrailiaca, addominale e del polpaccio mediale e laterale.

### **Il dibattito sulla metodica “GOLD STANDARD”**

Con il termine “gold standard” ci si riferisce all’esame che fornisce il risultato più accurato possibile e al quale fanno riferimento successive procedure di approfondimento. Viene definito anche come “standard di riferimento”.

A livello clinico sono riconosciuti dei protocolli “gold standard” per la valutazione di massa muscolare, fluidi corporei, volume corporeo totale e massa minerale ossea. La FM, invece, viene ricavata da una stima, talvolta variabile, e dipendente da più fattori. Per eleggere una stima della massa grassa più accurata possibile entra in gioco il modello a 4 compartimenti proposto da Wang nel 2002 (Z. M. Wang et al., 2002). Viene presa in considerazione la variabilità individuale di TBW e della massa minerale ossea. Secondo l'equazione del prof. Wang la stima del volume corporeo avviene tramite pletismografia ad aria, quella di TBW tramite diluizione isotopica e, infine, il contenuto minerale osseo tramite DEXA.

I parametri ricavati, uniti in questa formula, permettono una stima valida della FM:

$$FM \text{ (kg)} = 2.748 \times \text{body volume} - 0.699 \times \text{total body water} + 1.129 \times \text{bone mineral content} - 2.051 \times \text{body mass}$$

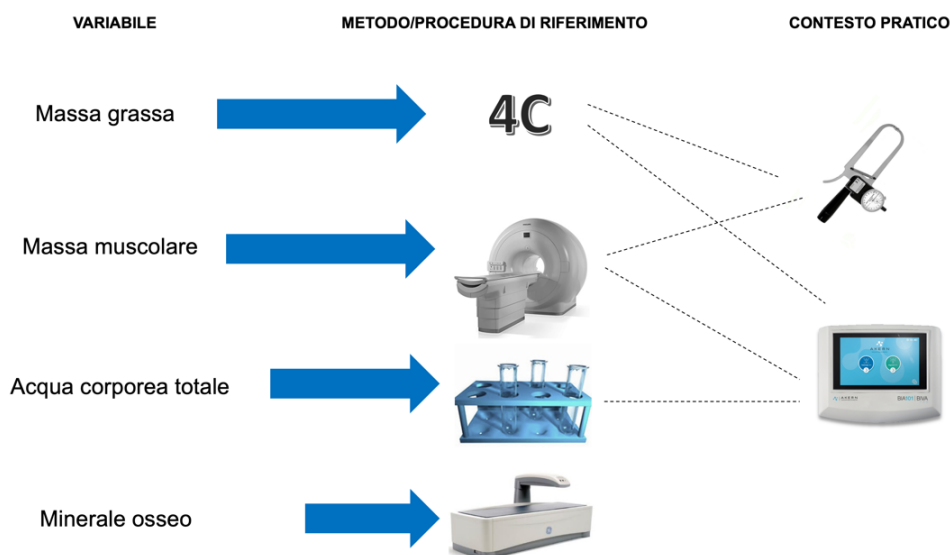
- Wang, 2002 (Z. M. Wang et al., 2002)

## ATTO PRATICO

Una volta illustrati i protocolli e gli strumenti utilizzati per ricavare i vari parametri utili alla valutazione della composizione corporea, risulta interessante verificare come vengano applicati in ambito pratico.

Preso atto che alcune metodologie vengono scartate in partenza per difficoltà logistiche, economiche ed applicative, e altre vengono accantonate per il rischio alla salute che potrebbe comportare un loro abuso, notiamo che: le tecniche antropometriche e bioimpedenziometriche sono quelle maggiormente utilizzate da nutrizionisti e coaches. Stimano in modo semplice, economico, accurato e veloce i valori di FM e FFM. Sono applicabili sul campo, mentre, viceversa, con le tecniche di diagnostica per immagini è il paziente che deve recarsi nel luogo dell'esame.

In figura 15 è possibile notare la schematizzazione dei metodi sostitutivi per indagare parametri utili alla valutazione della composizione corporea. Partendo da un metodo di riferimento "gold standard" a 4C, si passa al contesto pratico antropometrico e bioimpedenziometrico.



**Figura 15.** Il metodo "da campo" discende da quello a quattro compartimenti (4C).

## **CAPITOLO SECONDO**

### **L'ANTROPOMETRIA MANUALE**

L'antropometria è la scienza che studia le misure del corpo umano nel suo insieme, comprendendo peso, statura e i vari segmenti corporei con le loro caratteristiche indagabili. Tramite l'antropometria si può determinare la collocazione dell'individuo nel percentile della popolazione che lo contraddistingue in quanto a peso, altezza e composizione corporea. L'antropometria manuale prende in considerazione tutte le tecniche manuali per la valutazione della composizione corporea: peso, statura, circonferenza e lunghezza dei segmenti corporei, diametro osseo e spessore dei pannicoli adiposi sottocutanei.

#### **2.1. La tecnica antropometrica**

La tecnica antropometrica, al giorno d'oggi, è il metodo più diffuso e pratico per la valutazione preliminare della composizione corporea in ambito sportivo. La stima della composizione corporea prevede la raccolta di dati, secondo una procedura standardizzata (Lohman et al., 1992), quali: statura, peso, circonferenze, lunghezze, diametri e spessore dei pannicoli adiposi.

In questo paragrafo verranno presentati nello specifico i protocolli di raccolta delle misure relative alle circonferenze, lunghezze, diametri e pliche adipose.

Con i dati di peso ed altezza, prese secondo il protocollo precedentemente illustrato (cap.1), è possibile procedere ad una prima suddivisione categoriale secondo l'indice di massa corporea (o Body Mass Index), BMI. Quest'ultimo è il rapporto tra il peso (kg) e il quadrato dell'altezza (m<sup>2</sup>).

$$BMI = \text{peso} / \text{altezza}^2 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

A seconda del valore è possibile discriminare la categoria alla quale la corporatura del soggetto appartiene, come di seguito:

BMI	CLASSIFICAZIONE
<18,5	Sottopeso
Tra 18,5 e 25	Normopeso
Tra 25 e 30	Sovrappeso
Tra 30 e 33	Obesità di primo grado
Tra 33 e 35	Obesità di secondo grado
>35	Obesità di terzo grado

**Figura 16.** Categorie di BMI in accordo con WHO (World Health Organization).

Le limitazioni di questo parametro sono abbastanza evidenti poiché non prende in considerazione la composizione corporea del soggetto. Risulta essere predittivo di stati di salute precari, ma allo stesso modo, ad esempio, può classificare come sovrappeso (BMI tra 25 e 30) soggetti atletici dotati di masse muscolari importanti (a causa del loro peso sopra la media).

La misura dei perimetri permette di valutare lo sviluppo trasversale dei vari segmenti corporei, utili per valutare la distribuzione del tessuto adiposo e i volumi corporei. Lo strumento utilizzato è la cordella metrica anelastica.

Perimetro del torace: il soggetto è in stazione eretta, le braccia sollevate e le mani dietro la nuca per favorire l'adesione delle scapole al dorso. La misurazione viene effettuata in massima inspirazione (circonferenza toracica massima) ed in massima espirazione (circonferenza toracica minima). Il nastro metrico, parallelo al suolo, passa anteriormente sopra lo sterno (a livello della quarta articolazione sterno-costale), e posteriormente a livello del margine inferiore delle scapole.

Perimetro del braccio: in posizione eretta, il braccio è rilassato e leggermente staccato dal tronco, il nastro metrico è posizionato perpendicolare all'asse longitudinale del braccio, a metà tra acromion e olecrano.

Perimetro del braccio contratto: allo stesso modo del braccio in posizione rilassata, ma con la differenza che il braccio è in massima contrazione.

Perimetro dell'avambraccio: presa nel punto di maggior sviluppo.

Perimetro del polso: la cordella metrica viene posizionata inferiormente ai processi stiloidei di radio e ulna, perpendicolarmente all'asse longitudinale dell'avambraccio.

Perimetro della coscia: con il soggetto in posizione eretta, l'arto d'interesse viene mantenuto in scarico, con il peso che grava sull'arto opposto. La cordella metrica viene posizionata a metà tra la piega inguinale e il margine superiore della patella, perpendicolarmente all'asse longitudinale della coscia.

Perimetro del polpaccio: come per la misura della coscia, in posizione eretta e con l'arto in scarico, con la cordella metrica posizionata in modo perpendicolare rispetto all'asse longitudinale della gamba, nel punto di massima espansione del muscolo tricipite della sura.

Perimetro della caviglia: la misura viene presa appena sopra i malleoli, mediale e laterale.

Perimetro della vita: in posizione eretta, con i piedi uniti e l'addome rilassato, la misura viene presa nel punto medio della distanza tra l'ultima costa e la cresta iliaca. La cordella metrica deve essere in posizione orizzontale. In media, si trova 2,5 cm sopra l'ombelico.

Perimetro dei fianchi: in posizione eretta e con i piedi uniti, la cordella metrica viene passata nel punto di massimo sviluppo dei glutei, in posizione orizzontale e con l'operatore posto lateralmente al soggetto.

I diametri scheletrici sono le misure della larghezza ossea. Permettono di valutare lo stato di accrescimento in età pediatrica ed evolutiva, determinano il somatotipo e la taglia corporea. Gli strumenti utilizzati sono il compasso a branche lineari o ricurve (polso, gomito) e l'antropometro (grandezze biacromiali e bitrocantistiche). Gli strumenti vanno maneggiati nel punto più distale, con le dita adiacenti alla sommità. Durante la misurazione è necessario comprimere i tessuti molli con sufficiente pressione al fine di garantire la misura effettiva dei punti di repere ossei.

Diametro dell'omero: utilizzando il compasso a branche lineari, si richiede al soggetto la flessione del braccio fino a formare un angolo di 90° a livello del gomito. L'operatore individua epitroclea ed epicondilo ed effettua la misura

Diametro del femore: corrisponde alla distanza tra i due epicondili femorali e la misurazione avviene con ginocchio flesso a 90°. Si utilizza il compasso a branche lineari o ricurve.

La plicometria consiste nella rilevazione dello spessore del tessuto adiposo sottocutaneo in particolari distretti corporei standardizzati. Lo spessore del pannicolo varia a seconda del sesso, dell'età e dell'etnia, ma grazie a delle curve di regressione popolazione-specifiche è possibile risalire alla densità corporea e alla massa grassa, tenendo in considerazione la somma delle pliche cutanee.



I siti standardizzati sono:

Plica tricipitale: misurata sulla superficie posteriore del braccio, sul muscolo tricipite, a metà della linea che va dal processo acromiale della scapola all'olecrano dell'ulna. Il soggetto è in posizione eretta e con il braccio rilassato.

Plica bicipitale: misurata sulla superficie anteriore del braccio, sul muscolo bicipite, allo stesso livello di dove viene misurata la plica tricipitale. Il soggetto è in posizione eretta con il braccio rilassato.

Plica sottoscapolare: misurata al di sotto dell'angolo inferiore della scapola, con inclinazione di 45° rispetto al piano orizzontale. Il soggetto è in piedi con le braccia rilassate.

Plica pettorale: nell'uomo viene misurata a metà della distanza tra la piega ascellare anteriore ed il capezzolo. Nella donna ad 1/3 della distanza.

Plica medio-ascellare: lungo la linea medio ascellare a livello del processo xifosternale. La misura viene presa orizzontalmente.

Plica soprailiaca: viene misurata appena sopra la cresta iliaca, con il soggetto in posizione eretta e con inclinazione postero-anteriore secondo le linee di clivaggio della cute.

Plica sopraspinale: si misura 1 cm sopra e 2 cm medialmente rispetto alla spina iliaca antero superiore, con inclinazione obliqua e parallela all'andamento del margine osseo, con il soggetto in piedi.

Plica addominale: localizzata in prossimità dell'equilibrio, 3 cm lateralmente e 1 cm inferiormente. La misurazione può essere fatta sia orizzontalmente che verticalmente.

Plica della coscia: si individua a metà della distanza longitudinale tra la piega inguinale e il margine superiore della patella, nella porzione anteriore

della coscia, in posizione verticale. Si pone l'arto in scarico, la pianta del piede aderente al suolo e il ginocchio è leggermente flesso.

Plica mediale del polpaccio: porzione mediale della gamba, nel punto di massimo volume muscolare.

Plica laterale del polpaccio: nel punto di massima espansione del polpaccio, sulla faccia laterale della gamba.

La metodica sfrutta la stretta correlazione tra grasso sottocutaneo, grasso totale e densità corporea per ricostruire, tramite grafici o equazioni specifiche per la popolazione, la percentuale di massa grassa e per differenza quella di massa magra.

Calcolo della % di massa grassa: sette pliche uomo (tricipite, addome, soprailiaca, sottoscapolare, ascellare, pettorale, coscia)

- $Densità\ corporea = 1.112 - (0.00043499 \times \text{somma } 7 \text{ pliche}) + (0.00000055 \times (\text{somma } 7 \text{ pliche}^2)) - (0.00028826 \times \text{età})$
- $\% FM = (495/Densità\ corporea) - 450$

## **2.2. Misure antropometriche e stato di salute**

Il metodo antropometrico permette di individuare, da una parte il somatotipo di un individuo, dall'altra risulta essere predittivo dello stato di salute. Grazie ad alcuni dati, come la circonferenza di vita e fianchi, si ricava il WHR (Waist to Hip Ratio). Il WHR è il rapporto adimensionale tra la circonferenza della vita e quella dei fianchi. In ambito medico viene utilizzato per valutare la

distribuzione di grasso corporeo e in parte sopperisce alle lacune che presenta il BMI.

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), il WHR in un soggetto sano dovrebbe misurare:

0,95 o meno negli uomini

0,85 o meno per le donne

Diversi studi suggeriscono come il WHR sia più accurato del BMI nella previsione del rischio di malattia cardiovascolare e morte prematura. Inoltre, questo indice permette di definire il biotipo in due categorie, di seguito riportate:

Uomo > 0,91 Androide

Uomo < 0,91 Ginoide

Donna > 0,81 Androide

Donna < 0,81 Ginoide

Il rapporto vita/fianchi è predittivo per alcune patologie come la sindrome metabolica ed è un fattore di rischio per la nostra salute.

Il biotipo suddivide i soggetti in categorie a seconda di dove accumulano maggiormente tessuto adiposo, il quale si correla a malattie cardiovascolari.

Diversi studi hanno dimostrato che l'obesità di tipo androide (con massa adiposa concentrata nel collo, nelle spalle e soprattutto nell'addome al di

sopra dell'ombelico) si associa a livelli più alti di glicemia, trigliceridi e pressione arteriosa.

Nei maschi prevale l'obesità di tipo androide mentre nelle femmine prevale l'obesità di tipo ginoide (massa adiposa concentrata nelle anche, nelle natiche, nelle cosce e nell'addome al di sotto dell'ombelico), meno pericolosa per la salute.

Anche nello studio di Lee e il suo gruppo di lavoro (C. do Lee et al., 1999) viene evidenziato come il rischio di salute sia maggiore in presenza di un elevato rapporto WHR, ma a sua volta i soggetti magri e deallenati (*unfit*) presentano un rischio di insorgenza di patologie cardiovascolari maggiore rispetto a soggetti allenati (*fit*) con un elevato rapporto vita-fianchi (WHR) Lutoslawska (Lutoslawska et al., 2014), infine, riferisce che la classificazione della corporatura in base al BMI e la percentuale di grasso corporeo hanno indicato che il BMI sovrastima la grassezza nei soggetti magri (attivi e sedentari), ma sottostima il grasso corporeo nei soggetti obesi. Nessun parametro (BMI o WHR) è in grado di discriminare la percentuale di grasso corporeo di un soggetto.

### **2.3. Effetti dell'esercizio fisico sulla composizione corporea**

L'esercizio fisico, assieme ad altri fattori, è un potente promotore del miglioramento della composizione corporea. Il solo esercizio ha un impatto moderato sulla diminuzione del peso corporeo, o del BMI, ma in concomitanza con la dieta e una consapevolezza comportamentale adeguata permette di raggiungere anche obiettivi di perdita di peso. Con l'esercizio si fornisce direttamente lo stimolo meccanico fondamentale per la crescita muscolare, ovvero per l'aumento del FFM, e si agisce indirettamente su processi metabolici che sostengono lo stesso: ossidazione dei grassi, sensibilizzazione del glucosio e dell'insulina. Vengono indotti adattamenti positivi sull'apparato cardiovascolare, con

riduzione dei rischi di malattia ad esso collegati, come aterosclerosi, coronopatie, cardiopatie, ictus e insufficienza cardiaca e sull'apparato cardio respiratorio. Con l'aumento del lavoro del tessuto cardiaco, il miocardio assimila adattamenti positivi presentando maggiore resistenza alla fatica, maggiore gittata sistolica, con conseguente maggior volume di eiezione, diminuzione del battito e regolarizzazione della pressione a riposo.

L'allenamento aerobico garantisce maggiori adattamenti cardiovascolari (in quanto a miglioramento del  $Vo_{2max}$ ) rispetto al resistance training, e in ottica di miglioramento della composizione corporea salta all'occhio l'elevato consumo calorico che deriva da questo tipo di attività. Durante un'attività aerobica a bassa intensità, infatti, l'energia prodotta deriva dall'ossidazione degli acidi grassi. Tra il 60 e il 65% del  $Vo_{2max}$ , ad intensità costante, avviene la maggiore ossidazione lipidica: circa il 50% dell'ATP proviene dalla fosforilazione ossidativa, con una suddivisione duale tra acidi grassi plasmatici (provenienti dalla dieta e dalla degradazione dei trigliceridi di riserva) e trigliceridi intramuscolari (IntraMuscolar TriGlycerides = IMTG). Il rimanente 50% dell'ATP proviene da processi glicolitici. Per avere i benefici di un'attività lipolitica, la sessione dovrebbe protrarsi per almeno 20 minuti continuativi.

L'attività aerobica garantisce un elevato consumo calorico dato dall'aumento della spesa energetica dell'organismo, ma il beneficio si risolve in qualcosa di momentaneo, poiché non stimola una risposta metabolica post esercizio come l'allenamento anaerobico contro resistenza (Excess Postexercise Oxygen Consumption = EPOC). Per colmare questo gap si può prolungare la durata della sessione di Moderate Intensity Continuous Training (MICT), ed eventualmente aumentarne l'intensità, traslando verso richiami metabolici glicolitici che garantirebbero un EPOC più prolungato (Quinn et al., 1994).

Viceversa, l'allenamento con i pesi permette di raggiungere livelli significativi di EPOC che si prolungano anche per 24 ore dopo la sessione. In uno studio Binzen (Binzen et al., 2001) ha verificato che facendo eseguire

ai soggetti serie di una ripetizione al 70-80% del massimale con 1 minuto di recupero tra le serie, per un totale di 45 minuti, nella prima ora successiva all'esercizio si ha un aumento della spesa energetica post esercizio molto significativa, con una prevalenza di utilizzo del substrato lipidico. L'effetto dell'EPOC è sovrapponibile sia per soggetti femminili che maschili, mentre nei soggetti allenati, a parità di  $Vo_{2max}$ , l'ossidazione lipidica è maggiore ad elevate intensità rispetto a soggetti neofiti. Una variabile importante per l'EPOC è la pausa tra gli esercizi (Haltom et al., 1999): pause di 20 secondi risultano essere più efficaci rispetto a pause di 60 secondi per l'innalzamento del metabolismo basale (Rest Metabolic Rate = RMR).

Il miglioramento della composizione corporea è mirato alla perdita di massa grassa FM, e al mantenimento o all'aumento della massa muscolare FFM. Esercizi di resistenza che seguono protocolli standardizzati hanno dimostrato essere più efficaci rispetto all'allenamento classico. Nello studio di Paoli e il suo gruppo di lavoro (Paoli et al., 2012) vengono prese in considerazione tecniche intermittenti ad alta intensità (High Intensity Interval Resistance Training=HIRT) in confronto al resistance training classico. Da una parte la tecnica Stretch Contrasto, che prevede la posizione statica di massimo allungamento per 20 secondi una volta raggiunto il cedimento, ha dimostrato il maggior aumento della massa muscolare rispetto all'inizio, al gruppo di resistance training e rispetto alle altre tecniche. Dall'altra parte, il gruppo Rest Pause (tecnica che prevede serie ad esaurimento con 20 secondi di recupero e riduzione del carico del 10% ad ogni serie, fino a cedimento) ha dimostrato un calo significativo della massa grassa (FM) e un notevole aumento di massa muscolare rispetto alle condizioni di partenza e rispetto al gruppo di resistance training classico.

Gli esercizi base ad alta sinergia forniscono uno stimolo maggiore per l'aumento del  $Vo_{2max}$ , soprattutto se inseriti con tecniche ad alta intensità. Ai fini del dimagrimento, invece, una progressione così costituita risulta essere la più efficace:

- 20' attività aerobica;
- 20' attività anaerobica resistance training;

- 20' attività aerobica;

In quanto a composizione corporea è bene prendere in considerazione anche la massa ossea, elemento strutturale fondamentale. L'aumento della BMD viene favorito dalla pratica di esercizio fisico che crei uno stress meccanico sull'apparato scheletrico, come la corsa, i salti, il sollevamento di pesi. L'andamento della massa ossea dipende da fattori come: sesso, età, stato di salute; in un caso l'esercizio può essere promotore di aumento e rafforzamento della struttura ossea, dall'altro, in presenza di soggetti con osteoporosi, può aiutare a rallentare l'eccessiva erosione del tessuto trabecolare.

## **CAPITOLO TERZO**

### **NUOVE FRONTIERE PER VALUTARE LA COMPOSIZIONE CORPOREA**

I dispositivi mobili sono largamente diffusi nella popolazione e la stragrande maggioranza di essi permette di scaricare applicazioni di facile utilizzo da parte dell'utente. Al giorno d'oggi, la tecnologia mobile si sta inserendo sempre di più anche nel campo clinico, medico e nutrizionale, permettendo la raccolta di dati fisiologici, antropometrici e correlati alla performance grazie all'interfaccia di output esterni come fotocamere, GPS, microfoni, accelerometri e sensori esterni aggiuntivi. Tra i dati più rilevanti ci sono la frequenza cardiaca, misurata attraverso una fascia cardio, la frequenza respiratoria, la forza massima ed esplosiva, in quanto a spostamento di una massa lungo una traiettoria in un determinato tempo (Potenza e Lavoro), l'altezza di un salto, la coordinazione e l'analisi del movimento di locomozione, in corsa e in camminata, la distanza e il percorso (determinata tramite GPS), il Range Of Motion (ROM) e l'antropometria.

L'antropometria digitale è stata recentemente sviluppata per l'analisi posturale e per la valutazione della composizione corporea; è un metodo non invasivo e senza contatto per stimare le misure del corpo umano: è accurato, a basso costo, privo di rischi e molto veloce rispetto a tutte le tecniche più invasive precedentemente trattate.

#### **3.1. L'antropometria digitale: stato dell'arte e vantaggi di utilizzo**

L'antropometria digitale è un ambito di recente studio e ricerca perché si presenta come un metodo veloce, che non necessita di operatori altamente specializzati, di macchinari ingombranti e costosi. Viene ricavata tramite un software di semplice utilizzo, facilmente accessibile e a basso costo che offre risultati affidabili e di notevole importanza al fine di prevenire e tutelare lo stato di salute. Permette di valutare la correlazione tra diversi parametri,



la massa muscolare scheletrica (McCarthy et al., 2023) e la massa grassa (Minetto et al., 2022), grazie all'interazione con circonferenze, lunghezze, superfici e volumi di differenti distretti corporei.

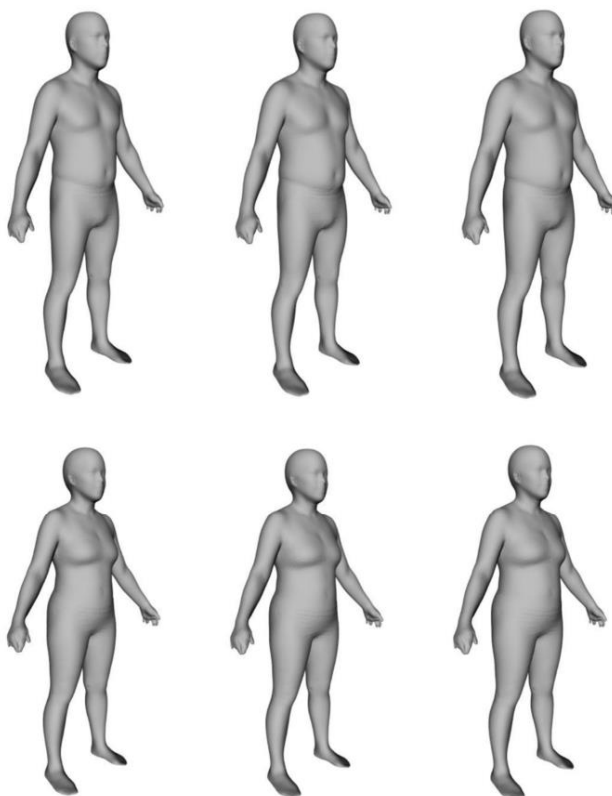
Inizialmente, la precisione di questo metodo risultava dubbia, ma con il progressivo aumento della qualità dei dispositivi mobili e dell'affinamento delle tecniche di stima, grazie alla ricerca scientifica, si è giunti sempre alla conferma della validità di tale protocollo (Graybeal et al., 2023).

Una prima conferma della qualità del risultato offerto dall'antropometria digitale è stata recentemente confermata da Graybeal et al., (Graybeal et al., 2023): sono state prese in considerazione le misure antropometriche di 115 soggetti formanti un gruppo eterogeneo e sono state confrontate con le antropometrie digitali ricavate con diversi smartphone (iOs e Android) tramite due applicazioni, MeThreeSixty® e myBVI®. Dall'analisi statistica si evincono stime accurate, con una possibilità di errore inferiore al 2,5% per i valori del perimetro della vita e dei fianchi (Waist Circumference = WC e Hip Circumference = HC), di fondamentale importanza per valutare lo stato di salute del soggetto (WHR, W:HT). Si può confermare che l'antropometria digitale e quella manuale offrono dati sovrapponibili. All'interno del margine d'errore proposto, si nota una leggera sovrastima di HC e una leggera sottostima di WC, che nel complesso possono alterare il valore di WHR al fine di determinare lo stato di salute, soprattutto in caso di soggetti borderline. Si notano anche lievi differenze tra i due sessi. Questo metodo, implementato a grande velocità durante la pandemia di COVID-19 per evidenti esigenze di distanziamento sociale, trova la propria dimensione anche di fronte a situazioni psico-fisico sociali complesse, come negli stati di grave obesità, garantendo un livello di privacy superiore.

Procedure più dettagliate sono state portate a termine su un gruppo di 322 soggetti, con annessa validazione crociata su 53 soggetti: l'antropometria digitale ottenuta con applicazione mobile è stata messa a confronto con la valutazione della massa muscolare scheletrica (Skeletal Mass, SM) ricavata tramite DXA e l'antropometria digitale 3D ricavata con un sistema optoelettronico formato da 20 telecamere. L'errore quadratico medio è di

1,78 kg per le donne e 1,5 kg per gli uomini; ciò sottolinea un'elevata accuratezza nella determinazione del somatotipo in soggetti adulti utilizzando il protocollo di cattura ed elaborazione immagine via smartphone (McCarthy et al., 2023).

È stata presa in considerazione anche la stima della massa grassa: in un gruppo di 134 soggetti è stata confrontata la visual body composition (VBC) generata da un sistema optoelettronico computerizzato con la FM% ricavata tramite BIA e DXA. Inoltre, la densità corporea è stata ricavata con un pletismografo a spostamento d'aria. In quanto a stima della FM%, la VBC offre risultati statisticamente accettabili per quantificare le zone di maggior adiposità (Minetto et al., 2022). La VBC ha generato il minor errore (standard ed assoluto) rispetto a tutti gli altri metodi quando comparata con il gold standard, la DXA (Majmudar et al., 2022a).



**Figura 17.** Antropometria digitale ottenuta con sistema optoelettronico “e-tape” (Minetto et al., 2022).

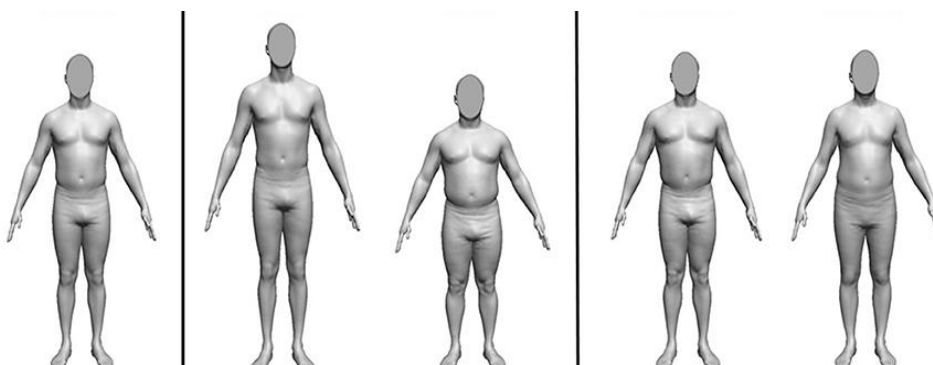
L'equivalenza tra una figura tridimensionale ed una bidimensionale è stata anch'essa motivo di indagine. L'effettiva immagine che può essere catturata tramite smartphone è in 2D, ma con lo sviluppo del software dedicato si può giungere all'elaborazione di un'immagine a 3 dimensioni. In letteratura sono stati approvati diversi metodi di scansione 3D. Nelle ultime decadi sono stati pubblicati dati con gli scanning di numerosi soggetti, permettendo di avere un range molto ampio di dati da confrontare (Bartol et al., 2021)(Yan et al., 2020).

Risalire alla figura in 3D è un processo molto più economico rispetto ad esami obiettivi effettuati secondo protocolli precedentemente esposti. La sagoma di un soggetto (anche detta silhouettes) fornisce il punto di partenza. Da ogni sagoma vengono identificati dei punti di reperi fondamentali per creare la forma del corpo in 3D, e le modifiche effettuate seguono un modello free-form, una tecnica di deformazione grafica per oggetti solidi. Lin & Wang hanno testato su 30 soggetti il protocollo e i risultati ottenuti hanno dimostrato efficacia e validità (Y. L. Lin & Wang, 2012). Si prendono in considerazione i modelli di costruzione in 3D, ovvero il database di modelli umani in 3D (validati grazie al confronto con metodi di stima e misura diretta definiti "gold standard" (Murillo et al., 2019)), la sagoma del corpo e i punti di interesse che determinano la sagoma del soggetto. Il dispositivo mobile cattura due immagini, una in veduta posteriore ed una in veduta laterale, secondo dei canoni standardizzati. Le immagini a colori vengono convertite in dati binari. Successivamente, tramite un rilevatore di bordi viene ricavata la sagoma e i punti di interesse sono utilizzati da un algoritmo per ricavare un modello umano in 3D. L'algoritmo verifica la relazione tra i pixel adiacenti, e se riscontra un cambio direzionale tra 45 e 90 gradi classifica quella zona come punto di interesse. In media, dalla veduta frontale sono stati ricavati 38 punti di interesse, da quella laterale 22 (Y. L. Lin & Wang, 2012). Una volta inseriti in un sistema di coordinate tridimensionali x-y-z, questi punti rappresentano la base su cui sviluppare il modello 3D secondo tecnica di deformazione free-form.

Questo passaggio è fondamentale perché permette di standardizzare le diverse sagome e confrontarle con quelle già presenti in database, provenienti da scanner 3D optoelettronico.

Determinare il modello umano in 3D permette di accedere ad una stima rapida e valida del fenotipo, a sua volta collegato con la FM% e perdita di peso (Farina et al., 2016) e della densità corporea (Pradhan et al., 2016), (Fedewa et al., 2021).

In figura 18 un esempio dei soggetti trattati per determinare il fenotipo e le caratteristiche ad esso associate.



**Figura 18.** Il fenotipo, differenziato per altezza e FM%.

Processando via software le immagini 2D, si giunge alla conclusione che il volume corporeo, la stima della FM% e della FFM% combinate con la misura della TBW in un modello a 3C, risultano reali (Fedewa et al., 2021) (Shaw et al., 2017).

Una delle limitazioni che presenta questa nuova tecnologia è l'accettazione sociale. Da un lato lo scanner via smartphone è stato ritenuto il più semplice da utilizzare, dall'altro quello 3D il più scomodo, a causa della necessità di recarsi nel luogo dove il sistema optoelettronico è stato predisposto, ma anche come più affidabile. Sostanziali differenze tra uomini e donne si

notano con il mobile scanner: le donne si relazionano più difficilmente con questa tecnologia, dubitano sull'effettiva validità della sagoma corporea (Stannard & Islam, 2021). L'affidabilità del risultato dipende dalla qualità della foto, dello smartphone utilizzato, del colore dei vestiti e della quantità delle parti scoperte del corpo, dalla distanza e dal tilt con cui viene catturata l'immagine, dal momento della giornata: se dopo un pasto abbondante o un allenamento intenso. A sua volta, non viene specificata la localizzazione del grasso, se viscerale o addominale, ma risulta un metodo pratico, veloce, economico e scientificamente accurato, senza notevoli bias e con un basso livello di errore (Majmudar et al., 2022b).

### **3.2 Validazione di un sistema di acquisizione immagini per la valutazione della composizione corporea**

La valutazione antropometrica su base digitale è stata recentemente proposta come una valida alternativa alla procedura di rilevazione manuale ed è tutt'oggi oggetto di studio in letteratura scientifica. Il vantaggio di questa metodica consiste nel ridurre l'invasività della procedura di misurazione delle dimensioni corporee, come anche dell'errore operatore-dipendente che può caratterizzare le misurazioni manuali.

I sistemi di imaging digitale sono sempre più utilizzati nelle strutture sanitarie per quantificare le dimensioni e la forma del corpo, nonché classificazioni accurate. Esiste la possibilità di fornire misure antropometriche simili al di fuori delle impostazioni professionali utilizzando applicazioni per smartphone (app). Lo scopo di questo studio era confrontare il WHR acquisito da un'applicazione scaricabile con quello misurato con un nastro flessibile negli stessi siti anatomici.

### 3.3 Materiali e metodi

Sessantadue adulti di entrambi i sessi (età  $23,3 \pm 3,6$  anni) sono stati scansionati con l'app SizeYou. (SizeYou, I-DEAL S.r.l., Italia) e misurati con antropometria manuale. Tutte le misurazioni antropometriche sono state eseguite sotto la supervisione di un antropometrista accreditato di livello I secondo il protocollo stabilito da The International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK), come illustrato nelle Figure 19 e 20. Il software mobile è stato utilizzato per generare stime del perimetro della vita e dei fianchi, derivandone il WHR.



**Figura 19.** Misura del perimetro dei fianchi secondo il protocollo ISAK.



**Figura 20.** Misura del perimetro della vita secondo il protocollo ISAK.

Il software IBM SPSS Statistics, v. 24.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) è stato utilizzato per le analisi statistiche. La normale distribuzione dei dati è stata valutata attraverso il test di Shapiro-wilks. I dati sono stati riportati come media  $\pm$  deviazione standard. Per valutare l'accuratezza dell'applicazione mobile, i parametri di convalida hanno incluso un t test di Student per misure ripetute, l'analisi del coefficiente di correlazione ( $r^2$ ) e dell'errore di stima standard (SEE). Inoltre, è stato eseguito il coefficiente di correlazione della concordanza (CCC) utilizzando l'approccio proposto da Lin (L. I. Lin, 1989). L'accordo tra le misure derivate dall'app digitale e la procedura di riferimento è stato valutato utilizzando il metodo Bland-Altman (Bland et al., 2012). La significatività statistica è stata impostata considerando un p-value  $<0.05$ .

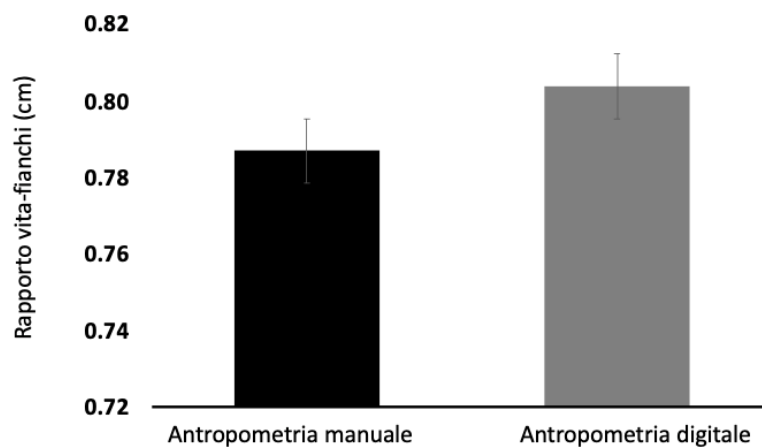
### 3.4 Risultati

Le caratteristiche generali dei partecipanti (N = 31 maschi e N = 31 femmine) sono riportate in Tabella 1.

**Tabella 1.** Caratteristiche generali dei partecipanti (N = 62) riportate come media  $\pm$  deviazione standard.

Età (anni)	23.3 $\pm$ 3.6
Statura (m)	174.8 $\pm$ 9.1
Massa corporea (kg)	71.9 $\pm$ 11.7

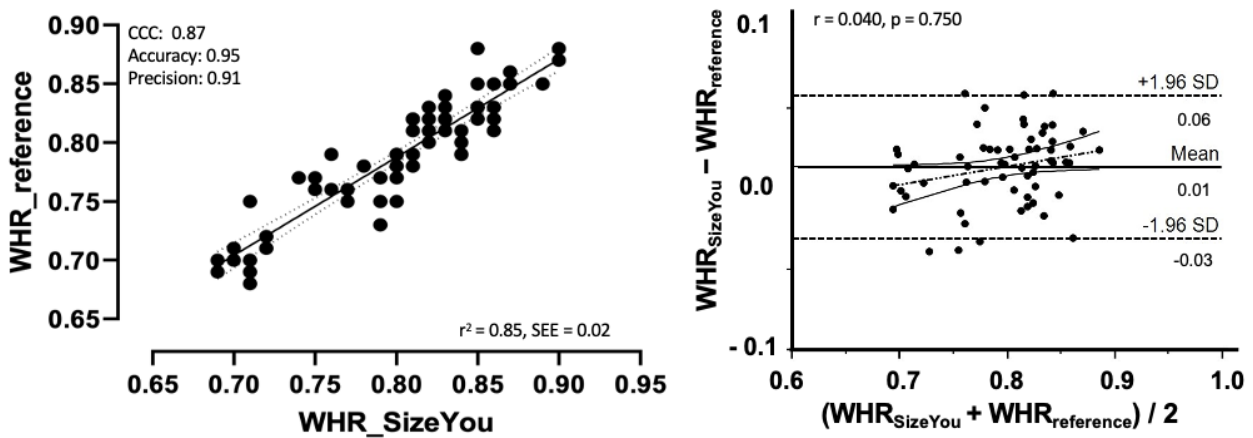
Nessuna differenza statistica ( $p=0.054$ ) è stata misurata tra i due metodi nella misura relativa al WHR, come mostrato in Figura 21.



**Figura 21.** Grafico a barre e valori relativi al WHR misurato con i due metodi antropometrici.



Riguardo l'analisi di regressione tra l'approccio manuale e il WHR di derivazione digitale, i metodi sono risultati altamente correlati ( $r^2=0.85$ ;  $p<0.01$ ;  $SEE=0.02$  cm), come mostrato in Figura 22. La precisione e l'accuratezza dei metodi sono state rispettivamente di 0.91 e 0.95, con un CCC tra il metodo digitale e la procedura di riferimento pari a 0.87. Dall'analisi della concordanza, non abbiamo osservato alcuna tendenza a sovra o sottostimare il WHR ( $r=0.040$ ,  $p=0.750$ ), con limiti di accordo al 95% considerati accettabili (da -0,03 a 0,06 cm) (Fig. 22).



**Figura 22.** A sinistra, lo scatterplot con l'associazione tra WHR derivato da antropometria manuale e digitale. A destra, il grafico Bland-Altman illustrante l'accordo (agreement) tra le due metodiche.

### 3.5 Discussione

L'obiettivo del presente elaborato di tesi era quello di condurre un'analisi preliminare di validazione di una tecnica di antropometria digitale. Il parametro preso in considerazione è stato il WHR ed è stato ricavato attraverso tecnica antropometrica manuale e stimato utilizzando un app digitale (Size you app.) reperibile in commercio. L'analisi di validazione ha

mostrato come i due metodi non differiscano tra loro nella misura del WHR, identificando la tecnica digitale come un'alternativa valida per ottenere delle dimensioni antropometriche. Pertanto, l'utilizzo di tecniche digitale può rappresentare una valida soluzione utile a ridurre l'invasività delle misurazioni manuali e il possibile errore tecnico di misura ad esse associate.

L'alta correlazione statistica tra l'antropometria digitale e quella manuale è già stata discussa e confermata in letteratura scientifica (Graybeal et al., 2023), (Farina et al., 2016), (Bragança et al., 2018). In particolare, questi studi già presenti propongono ulteriori stime: fenotipo, FM%, localizzazione dei pannicoli adiposi in zone target. Graybeal con il suo gruppo di lavoro (Graybeal et al., 2023) ha valutato il WHR con misure derivanti da antropometria digitale e manuale, come proposto dal presente elaborato. Nel suo caso, i dati statistici affermano l'equivalenza dei due metodi, ma pongono un punto di domanda sulla veridicità del WHR a causa delle lievi variazioni che può presentare la stima delle misure digitali. Nel loro caso le applicazioni (mobile app) utilizzate erano differenti. Nel nostro caso, invece, con l'utilizzo dell'app SizeYou (SizeYou, I-DEAL S.r.l., Italia), non è stata notata nessuna differenza statistica tra i valori manuali e digitali con un margine di errore da -0,03 a 0,06 cm.

L'antropometria digitale esclude l'errore di parallasse operatore dipendente, fornisce una stima che deriva dal software e presenta altri numerosi vantaggi: non necessita del contatto fisico tra utente ed operatore, e a quest'ultimo non si richiede un grado di specializzazione elevato. Grazie a questo la privacy nei confronti del paziente aumenta notevolmente, e di fronte a casi di sovrappeso ed obesità il soggetto si può prestare alla misurazione più facilmente. Nel corso della fase di raccolta misure, l'utilizzo del protocollo ISAK unito ai canoni antropometrici classici ha permesso una maggior accuratezza delle misure.

Il presente elaborato mostra, tuttavia, dei limiti metodologici. Innanzitutto, non è stata condotta un'analisi di validazione sulle singole misure relative al perimetro della vita e a quello dei fianchi. In aggiunta, non è stata eseguita un'analisi di validazione longitudinale per determinare l'accuratezza del metodo digitale nel tracciare i cambiamenti del WHR nel tempo. A tal proposito, il WHR può subire delle variazioni nel tempo in risposta ad un intervento di allenamento o ad un piano alimentare mirato a migliorare la composizione corporea. Infine, solo un numero limitato di circonferenze corporee è stato considerato. Pertanto, la validità di tale app nel monitoraggio della composizione corporea è ancora da approfondire.

L'evoluzione di questa tecnologia, che nel corso dell'ultimo decennio ha fatto grandi progressi, è destinata a continuare. Validazione di protocolli come questi sono fondamentali per raccogliere dati e per integrarli con le tecnologie esistenti. Il progresso e la ricerca scientifica costituiscono ambito di grande interesse e innovazione. L'antropometria digitale è la base da cui partire per implementare nuove tecnologie per la valutazione di varie componenti fisiche: il confronto tra diversi volumi corporei, la postura, l'atteggiamento del corpo in movimento.

## **CONCLUSIONI**

Il protocollo presentato nel seguente elaborato è la conferma della validità del metodo antropometrico digitale. Nuove frontiere attendono lo sviluppo di questa tecnologia e l'implementazione in campo medico, nutrizionale ed estetico sono la dimostrazione della versatilità e la facilità di diffusione. Anche se presenta alcuni punti deboli, dimostra solidità e validità dei risultati nelle principali aree di interesse: misure antropometriche, stime della FM%, calcolo del WHR e determinazione del fenotipo. L'ambito di ricerca che coinvolgerà l'antropometria digitale in futuro potrà tenere conto dello stato nutrizionale e dell'andamento della composizione corporea del soggetto

## **RINGRAZIAMENTI**

Vorrei riservare questo spazio finale della mia tesi di laurea ai ringraziamenti verso tutti coloro che hanno contribuito alla realizzazione della stessa. Per prima cosa, vorrei ringraziare il mio relatore, Dott. Francesco Campa, per i suoi preziosi consigli e per la sua disponibilità. Grazie per i momenti di collaborazione e per gli spunti offerti. Grazie, inoltre, a tutti coloro che hanno reso importante questo percorso triennale: genitori, amici e colleghi che hanno inciso positivamente sul traguardo ottenuto.

## BIBLIOGRAFIA

- Andreoli, A., Scalzo, G., Masala, S., Tarantino, U., & Guglielmi, G. (2009). Body composition assessment by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *La Radiologia Medica*, 114(2). <https://doi.org/10.1007/s11547-009-0369-7>
- Bartol, K., Bojanic, D., Petkovic, T., & Pribanic, T. (2021). A Review of Body Measurement Using 3D Scanning. In *IEEE Access* (Vol. 9). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3076595>
- Binzen, C. A., Swan, P. D., & Manore, M. M. (2001). Postexercise oxygen consumption and substrate use after resistance exercise in women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(6). <https://doi.org/10.1097/00005768-200106000-00012>
- Bland, J. M., Altman, D. G., & Warner, D. S. (2012). Agreed Statistics: Measurement Method Comparison. *Anesthesiology*, 116(1), 182–185. <https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e31823d7784>
- Bragança, S., Arezes, P., Carvalho, M., Ashdown, S. P., Castellucci, I., & Leão, C. (2018). A comparison of manual anthropometric measurements with Kinect-based scanned measurements in terms of precision and reliability. *Work*, 59(3). <https://doi.org/10.3233/WOR-182684>
- Bray, G. A., DeLany, J. P., Harsha, D. W., Volaufova, J., & Champagne, C. M. (2001). Body composition of African American and white children: A 2-year follow-up of the BAROC study. *Obesity Research*, 9(10). <https://doi.org/10.1038/oby.2001.80>
- Campa, F., Piras, A., Raffi, M., & Toselli, S. (2019). Functional movement patterns and body composition of high-level volleyball, soccer, and rugby players. *Journal of Sport Rehabilitation*, 28(7). <https://doi.org/10.1123/jsr.2018-0087>

- Campa, F., Semprini, G., Júdece, P. B., Messina, G., & Toselli, S. (2019). Anthropometry, Physical and Movement Features, and Repeated-sprint Ability in Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*, 40(2). <https://doi.org/10.1055/a-0781-2473>
- Campa, F., Toselli, S., Mazzilli, M., Gobbo, L. A., & Coratella, G. (2021). Assessment of body composition in athletes: A narrative review of available methods with special reference to quantitative and qualitative bioimpedance analysis. In *Nutrients* (Vol. 13, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/nu13051620>
- Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., Cooper, C., Landi, F., Rolland, Y., Sayer, A. A., Schneider, S. M., Sieber, C. C., Topinkova, E., Vandewoude, M., Visser, M., Zamboni, M., Bautmans, I., Baeyens, J. P., Cesari, M., ... Schols, J. (2019). Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis. In *Age and Ageing* (Vol. 48, Issue 1). <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>
- de Lorenzo, A. (1998). Comparison of different techniques to measure body composition in moderately active adolescents. *British Journal of Sports Medicine*, 32(3). <https://doi.org/10.1136/bjism.32.3.215>
- Durnin, J. V. G. A., & Womersley, J. (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 Years. *British Journal of Nutrition*, 32(01). <https://doi.org/10.1079/bjn19740060>
- Ellis, K. J. (2000). Human body composition: In vivo methods. In *Physiological Reviews* (Vol. 80, Issue 2). <https://doi.org/10.1152/physrev.2000.80.2.649>
- Farina, G. L., Spataro, F., de Lorenzo, A., & Lukaski, H. (2016). A smartphone application for personal assessments of body

composition and phenotyping. *Sensors (Switzerland)*, 16(12).  
<https://doi.org/10.3390/s16122163>

Fedewa, M. V., Sullivan, K., Hornikel, B., Holmes, C. J., Metoyer, C. J., & Esco, M. R. (2021). Accuracy of a Mobile 2D Imaging System for Body Volume and Subsequent Composition Estimates in a Three-Compartment Model. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 53(5). <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002550>

FIDANZA, F., KEYS, A., & ANDERSON, J. T. (1953). Density of body fat in man and other mammals. *Journal of Applied Physiology*, 6(4).  
<https://doi.org/10.1152/jappl.1953.6.4.252>

Graybeal, A. J., Brandner, C. F., & Tinsley, G. M. (2023). Evaluation of automated anthropometrics produced by smartphone-based machine learning: a comparison with traditional anthropometric assessments. *British Journal of Nutrition*, 1–29.  
<https://doi.org/10.1017/S0007114523000090>

Haltom, R. W., Kraemer, R. R., Sloan, R. A., Hebert, E. P., Frank, K., & Tryniecki, J. L. (1999). Circuit weight training and its effects on excess postexercise oxygen consumption. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(11). <https://doi.org/10.1097/00005768-199911000-00018>

Heo, M., Faith, M. S., Pietrobelli, A., & Heymsfield, S. B. (2012). Percentage of body fat cutoffs by sex, age, and race-ethnicity in the US adult population from NHANES 1999-2004. *American Journal of Clinical Nutrition*, 95(3). <https://doi.org/10.3945/ajcn.111.025171>

Heymsfield, S. B., Arteaga, C., McManus, C. M., Smith, J., & Moffitt, S. (1983). Measurement of muscle mass in humans: Validity of the 24-hour urinary creatinine method. *American Journal of Clinical Nutrition*, 37(3). <https://doi.org/10.1093/ajcn/37.3.478>

Heymsfield, S. B., Wang, Z. M., Baumgartner, R. N., & Ross, R. (1997). Human body composition: Advances in models and methods. In

*Annual Review of Nutrition* (Vol. 17).

<https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.17.1.527>

Heymsfield, S., Lohman, T., Wang, Z., & Going, S. (2005).

Multicomponent molecular-level models of body composition analysis. In *Human Body Composition*. (Vol. 918).

Lee, C. do, Blair, S. N., & Jackson, A. S. (1999). Cardiorespiratory fitness, body composition, and all-cause and cardiovascular disease mortality in men. *American Journal of Clinical Nutrition*, 69(3).

<https://doi.org/10.1093/ajcn/69.3.373>

Lee, S. Y., & Gallagher, D. (2008). Assessment methods in human body composition. In *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* (Vol. 11, Issue 5).

<https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e32830b5f23>

Lin, L. I. (1989). A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*, 45(1), 255–268.

Lin, Y. L., & Wang, M. J. J. (2012). Constructing 3D human model from front and side images. *Expert Systems with Applications*, 39(5).

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.10.011>

Lohman, T. J., Roache, A. F., & Martorell, R. (1992). Anthropometric Standardization Reference Manual. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 24(8). <https://doi.org/10.1249/00005768-199208000-00020>

Lutoslawska, G., Malara, M., Tomaszewski, P., Mazurek, K., Czajkowska, A., Keska, A., & Tkaczyk, J. (2014). Relationship between the percentage of body fat and surrogate indices of fatness in male and female Polish active and sedentary students. *Journal of Physiological Anthropology*, 33(1). <https://doi.org/10.1186/1880-6805-33-10>

Majmudar, M. D., Chandra, S., Yakkala, K., Kennedy, S., Agrawal, A., Sippel, M., Ramu, P., Chaudhri, A., Smith, B., Criminisi, A., Heymsfield, S. B., & Stanford, F. C. (2022a). Smartphone camera



- based assessment of adiposity: a validation study. *Npj Digital Medicine*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/s41746-022-00628-3>
- Majmudar, M. D., Chandra, S., Yakkala, K., Kennedy, S., Agrawal, A., Sippel, M., Ramu, P., Chaudhri, A., Smith, B., Criminisi, A., Heymsfield, S. B., & Stanford, F. C. (2022b). Smartphone camera based assessment of adiposity: a validation study. *Npj Digital Medicine*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/s41746-022-00628-3>
- McCarthy, C., Tinsley, G. M., Yang, S., Irving, B. A., Wong, M. C., Bennett, J. P., Shepherd, J. A., & Heymsfield, S. B. (2023). Smartphone Prediction of Skeletal Muscle Mass: Model Development and Validation in Adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*. <https://doi.org/10.1016/J.AJCNUT.2023.02.003>
- Minetto, M. A., Pietrobelli, A., Busso, C., Bennett, J. P., Ferraris, A., Shepherd, J. A., & Heymsfield, S. B. (2022). Digital Anthropometry for Body Circumference Measurements: European Phenotypic Variations throughout the Decades. *Journal of Personalized Medicine*, 12(6), 906. <https://doi.org/10.3390/jpm12060906>
- Murillo, A. L., Affuso, O., Peterson, C. M., Li, P., Wiener, H. W., Tekwe, C. D., & Allison, D. B. (2019). Illustration of Measurement Error Models for Reducing Bias in Nutrition and Obesity Research Using 2-D Body Composition Data. *Obesity*, 27(3). <https://doi.org/10.1002/oby.22387>
- Pace, N., & Rathbun, E. (1945). Studies on body composition: III. The body water and chemically combined nitrogen content in relation to fat content. *J. Biol.Chem*, 158.
- Paoli, A., Moro, T., Marcolin, G., Neri, M., Bianco, A., Palma, A., & Grimaldi, K. (2012). High-Intensity Interval Resistance Training (HIRT) influences resting energy expenditure and respiratory ratio in non-dieting individuals. *Journal of Translational Medicine*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/1479-5876-10-237>

- Pradhan, L., Song, G., Zhang, C., Gower, B., Heymsfield, S. B., Allison, D. B., & Affuso, O. (2016). Feature Extraction from 2D Images for Body Composition Analysis. *Proceedings - 2015 IEEE International Symposium on Multimedia, ISM 2015*.  
<https://doi.org/10.1109/ISM.2015.117>
- Quinn, T. J., Vroman, N. B., & Kertzer, R. (1994). Postexercise oxygen consumption in trained females: Effect of exercise duration. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(7).
- Schwarz, G. (1980). R. Pethig: Dielectric and Electronic Properties of Biological Materials. John Wiley and Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto 1979. 376 Seiten, Preis: £15.-. *Berichte Der Bunsengesellschaft Für Physikalische Chemie*, 84(1).  
<https://doi.org/10.1002/bbpc.19800840137>
- Shaw, M. P., Robinson, J., & Peart, D. J. (2017). Comparison of a mobile application to estimate percentage body fat to other non-laboratory based measurements. *Biomedical Human Kinetics*, 9(1).  
<https://doi.org/10.1515/bhk-2017-0014>
- Silva, A. M. (2019). Structural and functional body components in athletic health and performance phenotypes. In *European Journal of Clinical Nutrition* (Vol. 73, Issue 2). <https://doi.org/10.1038/s41430-018-0321-9>
- Stannard, C. R., & Islam, S. (2021). *Body Scanning Technology Preferences among Consumers*. <https://doi.org/10.31274/itaa.11842>
- Urlando, A., Dempster, P., & Aitkens, S. (2003). A new air displacement plethysmograph for the measurement of body composition in infants. *Pediatric Research*, 53(3).  
<https://doi.org/10.1203/01.PDR.0000049669.74793.E3>
- Wang, Z., Deurenberg, P., Wang, W., Pietrobelli, A., Baumgartner, R. N., & Heymsfield, S. B. (1999). Hydration of fat-free body mass: review and critique of a classic body-composition constant. *The American*

*Journal of Clinical Nutrition*, 69(5), 833–841.

<https://doi.org/10.1093/ajcn/69.5.833>

Wang, Z. M., Deurenberg, P., Wang, W., Pietrobelli, A., Baumgartner, R. N., & Heymsfield, S. B. (1999). Hydration of fat-free body mass: Review and critique of a classic body-composition constant. In *American Journal of Clinical Nutrition* (Vol. 69, Issue 5). <https://doi.org/10.1093/ajcn/69.5.833>

Wang, Z. M., Pierson, R. N., & Heymsfield, S. B. (1992). The five-level model: A new approach to organizing body-composition research. *American Journal of Clinical Nutrition*, 56(1). <https://doi.org/10.1093/ajcn/56.1.19>

Wang, Z. M., Xavier Pi-Sunyer, F., Kotler, D. P., Wielopolski, L., Withers, R. T., Pierson, R. N., & Heymsfield, S. B. (2002). Multicomponent methods: Evaluation of new and traditional soft tissue mineral models by in vivo neutron activation analysis. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76(5). <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.5.968>

Xu, Y., & Wu, Q. (2018). Decreasing trend of bone mineral density in US multiethnic population: analysis of continuous NHANES 2005–2014. *Osteoporosis International*, 29(11). <https://doi.org/10.1007/s00198-018-4648-9>

Yan, S., Wirta, J., & Kämäräinen, J. K. (2020). Silhouette body measurement benchmarks. *Proceedings - International Conference on Pattern Recognition*. <https://doi.org/10.1109/ICPR48806.2021.9412708>

