

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

**VALUTARE LA COMPOSIZIONE CORPOREA: CONFRONTO TRA  
ANTROPOMETRIA DIGITALE E MANUALE**

Relatore: Dott. Francesco Campa

Laureando: Guerrisi Claudio

N° di matricola: 2009614

Anno Accademico 2022/2023

Sommario	
<b>GLOSSARIO</b> .....	2
<b>CAPITOLO PRIMO</b> .....	4
<b>LA COMPOSIZIONE CORPOREA</b> .....	4
1.1 Basi teoriche .....	5
1.2 Metodi di misurazione .....	10
1.3 La valutazione della composizione corporea nello sport .....	18
<b>CAPITOLO SECONDO</b> .....	21
<b>L'ANTROPOMETRIA</b> .....	21
2.1 Gli strumenti antropometrici .....	21
2.2. Misure e stime di composizione corporea .....	23
2.2.1. Standard internazionali per la rilevazione delle misure antropometriche .....	23
2.2.2. Perimetri e composizione corporea.....	28
2.3. L'antropometria digitale.....	30
<b>CAPITOLO TERZO</b> .....	35
<b>NUOVE FRONTIERE PER VALUTARE LA COMPOSIZIONE CORPOREA</b> .....	35
3.1 Validazione di un sistema di acquisizione immagini per la valutazione della composizione corporea .....	36
3.1 Materiali e metodi .....	36
3.2 Risultati .....	37
3.3 Discussione .....	40
<b>CONCLUSIONI</b> .....	42
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	42

## **GLOSSARIO**

ADP – Air Displacement Plethysmography (Pletismografia a spostamento d'aria)

AT – Adipose Tissue (Tessuto adiposo)

BCM – Body Cell Mass (Massa cellulare)

BD – Body Density (Densità corporea)

BIA – Bioimpedenziometria

BMC – Bone Mineral Content (Contenuto minerale osseo)

BMI – Body Mass Index (Indice di massa corporea)

BV – Body Volume (Volume corporeo)

CT – Computerized Tomography (Tomografia computerizzata)

DA – Digital Anthropometry (Antropometria digitale)

DXA – Dual Energy X-ray Absorptiometry (Assorbimetria a raggi X a doppia energia)

ECF – Extra Cellular Fluid (Fluido extra cellular)

ECSs – Extra Cellular Solids (Solidi extracellulari)

ECW – Extra Cellular Water (Acqua extracellulare)

FFM – Fat Free Mass (Massa magra)

FM – Fat Mass (Massa grassa)

ICW – Intra Cellular Water (Acqua intracellulare)

ISAK – International Society for the Advancement of Kinanthropometry

LST – Lean Soft Tissue (Tessuto magro)

RMN – Risonanza Magnetica Nucleare

SL – Structured Light Scanners

SM – Skeletal Mass (Massa muscolare scheletrica)

TBK – Total Body Potassium (Potassio corporeo totale)

TBW – Total Body Water (Acqua corporea totale)

TOF – Time of Flight Scanners

W:HT – Waist-to-Height Ratio (Rapporto vita/altezza)

WBPC – Whole Body Potassium Counting (Conteggio del potassio corporeo totale)

WHR – Waist-to-Hip Ratio (Rapport vita/fianchi)

## **CAPITOLO PRIMO**

### **LA COMPOSIZIONE CORPOREA**

Per ottenere una prestazione sportiva ottimale è necessario disporre, oltre che di buone abilità tecniche, di una buona macchina che le metta in atto che è appunto il corpo umano. Questo concetto si può espandere anche alla vita di tutti i giorni in cui ogni individuo è chiamato a rispondere a diversi problemi di natura motoria per far fronte alle proprie necessità. Come ogni macchina, il corpo umano è costituito da varie componenti le quali andranno ad influenzare la sua performance; motivo per il quale è importante effettuare una valutazione sia in termini quantitativi che qualitativi. Con componenti ci si riferisce a ciò che va a costituire la massa corporea (es. grassi, proteine, ossa, acqua); la quantità di ognuna di esse e il loro rapporto in relazione al peso vanno a costituire la composizione corporea dell'individuo. Ancor prima di un'applicazione in termini di previsione di performance, la valutazione della composizione corporea è utilizzata come indice dello stato di salute dell'individuo; motivo per il quale essa viene spesso effettuata da medici, nutrizionisti e operatori nel campo del fitness. Per la loro misurazione, al giorno d'oggi, vi sono diversi metodi e strumenti che variano in principio di funzionamento, focus valutativo, cioè quale componente permettono di valutare, precisione e, soprattutto, in costo che, nella gran parte dei casi, è un fattore limitante. Per esempio: le grandi società sportive come i medici e i nutrizionisti più affermati, non avranno problemi ad acquistare gli strumenti più costosi, facili da utilizzare, con basse possibilità di commettere errori; Piccole società e quasi tutti gli operatori del fitness, invece, anche per i limiti legislativi, non potranno disporre di tale strumentazione. In loro aiuto, però, incorre un metodo, la valutazione antropometrica, che necessita di una strumentazione accessibile a tutti. Essa, però, è altamente operatore dipendente. Ciò vuol dire che se chi esegue le misure non è sufficientemente esperto, le stesse possono risultare poco precise o addirittura del tutto errate. Inoltre, per la rilevazione delle misure, è richiesto tempo e contatto fisico. Negli ultimi anni,

per ovviare a questi problemi, si sta cercando, attraverso le nuove tecnologie, di sostituire il lavoro manuale con quello digitale. Questa tesi sperimentale, ha appunto l'obiettivo di verificare se attraverso l'utilizzo di un'applicazione mobile è possibile ottenere delle misure valide da applicare per la valutazione della composizione corporea.

## 1.1 Basi teoriche

La composizione corporea si riferisce a tutti gli elementi che costituiscono la massa corporea. Essa ha implicazioni sia cliniche (stato di nutrizione e rischi per la salute dell'individuo) che sportive (miglioramento e previsione della performance). In ambito di ricerca, nel 1992, Wang, Pierson e Heymsfield definirono la composizione corporea come un ramo della biologia umana che si occupa della quantificazione in vivo dei componenti del corpo, di indagare la relazione che vi è fra di essi e la loro alterazione a causa di diversi fattori (Wang, 1992). Allo scopo di uniformare la comunità scientifica sull'approccio alla composizione corporea, gli stessi autori idearono un modello a 5 livelli in cui il livello successivo deriva dall'interazione delle componenti di quello precedente e ogni livello, preso singolarmente con i suoi diversi componenti, è in grado di giustificare l'intero peso corporeo. Questi livelli sono:

- **Atomico:** gli atomi sono gli elementi fondamentali costituenti l'organismo. Oltre il 98% del peso corporeo è costituito da 6 dei 98 presenti in natura (ossigeno, carbonio, idrogeno, azoto, calcio e fosforo). Il restante 2% è composto da altri elementi tra i quali zolfo, potassio, sodio, cloro e magnesio. L'ossigeno da solo partecipa per oltre il 60% al totale della massa ("Report of the Task Group on Reference Man," 1979). Questo livello, a causa della complessità nella rilevazione dei singoli atomi, non è particolarmente utilizzato nella valutazione della composizione corporea dell'individuo;

- **Molecolare:** le molecole sono il risultato dell'interazione fra due o più atomi. Ha come componenti le molecole più diffuse e di maggior interesse nel nostro organismo: acqua, lipidi, proteine, minerali e glicogeno;

A questo livello le componenti più indagate sono l'acqua corporea totale (Total Body Water – TBW), il minerale osseo (Bone Mineral Content – BMC) e la massa grassa (Fat Mass – FM). Tutte e tre sono soggette a variazioni dovute per esempio ad età, sesso, attività fisica, dieta. In età adulta, l'acqua costituisce circa il 60% del peso corporeo totale negli uomini e circa il 56% nelle donne. Fra i minerali, quello osseo (comprendente la quasi totalità del calcio e del fosforo dell'organismo) costituisce mediamente il 15% del peso corporeo ("Report of the Task Group on Reference Man," 1979). Il glicogeno rappresenta la principale riserva di carboidrati del nostro organismo ed è accumulato principalmente nel muscolo scheletrico e in minor misura nel fegato. Mediamente nell'adulto raggiunge una massa di 400g che può arrivare a circa 900g negli atleti d'élite (Murray & Rosenbloom, 2018);

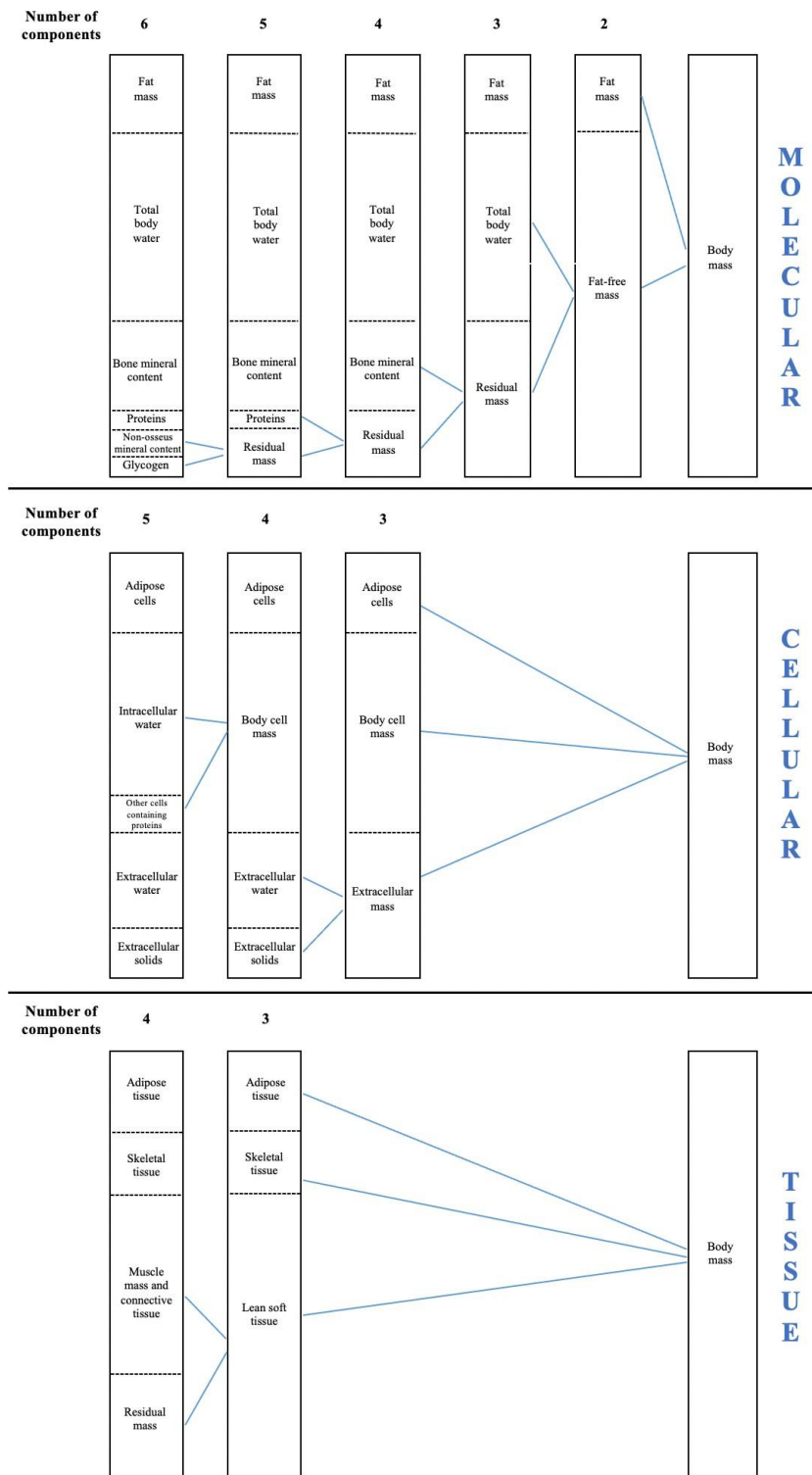
- **Cellulare:** le cellule sono le unità funzionali degli organismi viventi e sono il risultato di molteplici interazioni molecolari. In questo livello viene indagato l'ambiente intra ed extracellulare: massa cellulare (Body Cell Mass – BCM data dai fluidi e solidi che la costituiscono), fluidi extra cellulare (Extra Cellular Fluid – ECF) e solidi extracellulari (Extra Cellular Solids – ECSs); Viene valutata anche la quantità di cellule adipose. Nel nostro organismo l'acqua è mediamente distribuita per il 60% in ambiente intracellulare (Intra Cellular Water – ICW) e per il 40% in ambiente extracellulare (Extra Cellular Water – ECW) partecipando rispettivamente per il 40% e per il 20% al totale del peso corporeo (Bedogni et al., 2003);
- **Tissutale:** i tessuti sono costituiti da più cellule strutturalmente e funzionalmente simili. In questo livello, la composizione corporea viene compartimentalizzata in: tessuto adiposo (Adipose Tissue –

AT), massa muscolare scheletrica (Skeletal Mass – SM) e tessuti magri molli (Lean Soft Tissue – LST);

- **Whole body:** prende in considerazione l'intero corpo. In questo livello i parametri di interesse sono peso, statura, circonferenze, spessori ossei, pliche sottocutanee, lunghezze dei diversi segmenti e volume. Attraverso queste è possibile ricavare dei parametri utili alla valutazione dello stato di salute dell'individuo e della sua composizione corporea come l'indice di massa corporea (Body Mass Index – BMI) e la densità (data dal rapporto fra peso e volume corporeo) la quale viene utilizzata in specifiche formule per stimare la FM e la massa magra (Fat Free Mass – FFM) durante l'impiego di metodi di valutazione indiretti e doppiamente indiretti (Wang, 1992).

Ai fini pratici, non è utile né semplice andare a misurare le singole componenti dei vari livelli. Per questo motivo vengono utilizzati, in funzione del livello di indagine, dei modelli che comprimono diverse componenti in singoli compartimenti. Tali modelli prendono il nome di modelli multicompartimentali. Di questi ve ne sono diversi e differiscono per il numero di compartimenti all'interno dei quali vengono sintetizzate le singole componenti di ogni livello (figura 1). Nella valutazione della composizione corporea, la scelta del modello si basa sulle necessità individuali, in quanto, questo, visto che varia in funzione della strumentazione utilizzata, oltre al grado di sintesi delle diverse componenti, influenza indirettamente la precisione con la quale le diverse componenti vengono misurate.





**Figura 1.** Modelli multi compartimentali per l'analisi della composizione corporea (Campa et al., 2021).

Come si può vedere dall'immagine, più è elevato il numero dei compartimenti del modello, maggiore è il numero delle componenti

individuabile all'interno di un livello (molecolare, cellulare, tissutale). Inoltre, un modello a più compartimenti permette di avere delle stime più precise in quanto supera la necessità di considerare costanti le quantità relative dei singoli componenti che costituiscono un compartimento le cui variazioni, in realtà, vanno ad influenzare le stime sulla composizione corporea. A scopo esplicativo, facendo riferimento al livello molecolare, i modelli più utilizzati sono: bi, tri e quadri compartimentale. Prima di passare alla loro spiegazione è importante sottolineare che il concetto di massa non appartiene a nessun livello organizzativo, ma anzi può essere applicato in ognuno di essi per sintetizzare in un singolo compartimento una moltitudine di componenti.

Il modello bicompartimentale è quello più semplice e prevede la divisione della massa corporea in 2 compartimenti: FM e FFM. Con FM ci si riferisce al grasso anidro chimicamente estraibile che ha una densità teorica di  $0,9007 \text{ g/cm}^3$  (Wang et al., 1999), con FFM, invece, ci si riferisce alla massa priva di grasso costituita per il 73,3% da acqua e avente una densità teorica di  $1,1 \text{ g/cm}^3$  (Fidanza et al., 1953). La stima della FM si basa sulla misura della densità corporea che è a sua volta dipendente dalle densità teoriche dei due compartimenti le quali sono considerate costanti. La FFM viene stimata per differenza fra massa corporea totale e FM.

Il modello a 3 compartimenti è simile al precedente, ma divide la FFM in TBW e massa residua (costituita da proteine, minerali e altro). Ciò permette di avere una stima della densità corporea più precisa grazie al fatto che la densità della FFM non viene più considerata costante, ma viene calcolata in funzione della TBW e della massa residua avente anch'essa una propria densità teorica. Inoltre, permette di valutare lo stato di idratazione della FFM. Si basa, però, sull'assunto che vi sia un rapporto costante fra il contenuto proteico e minerale di 0,35 (Withers et al., 1998). Sugli individui sani è stato visto che il modello a 3 compartimenti fornisce dei risultati più precisi rispetto a quello bicompartimentale. Sugli individui che presentano alterazioni dello stato proteico o del minerale osseo, invece, perde di validità

a causa dell'assunto su cui detto modello si basa il quale non permette di calcolare in modo preciso la densità corporea (Ellis. & Kenneth, 2000).

Il modello a 4 compartimenti prevede la suddivisione della massa corporea in grasso, minerale, TBW e proteine. La misurazione di tutte queste componenti supera la necessità di fare assunzioni sulle proporzioni relative delle singole. Questo fa sì che il modello a 4 compartimenti sia più preciso rispetto a quello a 3 compartimenti. Inoltre permette di misurare più componenti della FFM evitando gli errori dovuti all'assunzione di una densità e di uno stato di idratazione costante come avviene nel modello bicompartimentale. In ogni caso, il metodo a 4 compartimenti, a causa del tempo impiegato per le singole misurazioni e per l'elevato costo della strumentazione necessaria per le stesse, è limitato all'utilizzo clinico e di ricerca o come riferimento per la validazione di strumentazioni basate su altri modelli e livelli organizzativi superiori (cellulare, tissutale, whole body).

## 1.2 Metodi di misurazione

Come già accennato, per la valutazione della composizione corporea bisogna partire dal motivo, che è individuale, per cui questa deve essere effettuata. Da qui sarà possibile individuare il livello di indagine e il modello che ci permetterà di ottenere le informazioni necessarie. La valutazione della composizione corporea può essere fatta sia per segmenti corporei che in modo generale attraverso metodi che vengono classificati in: **diretti**, **indiretti** e **doppiamente indiretti** (Deurenberg & Deurenberg-Yap, 2003).

I metodi diretti sono quelli che permettono di misurare direttamente il parametro di interesse e sono, ovviamente, i metodi più precisi ma meno pratici (es. dissezione di un cadavere).

I metodi indiretti, a differenza di quelli diretti, si basano su assunzioni o algoritmi derivanti dai metodi diretti per stimare i parametri di interesse.

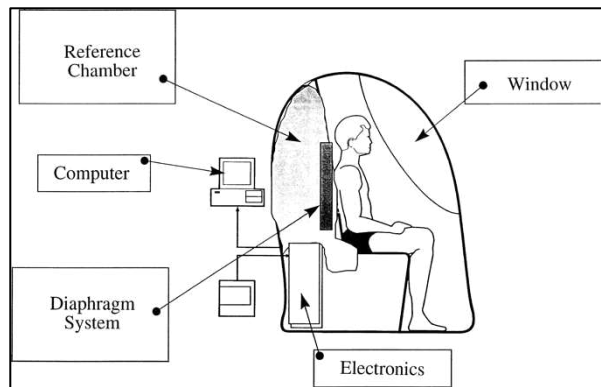
I metodi doppiamente indiretti, infine, per stimare i parametri di interesse, prevedono l'utilizzo di "equazioni di regressione validate" sulle stime derivanti dai metodi indiretti. Di seguito verranno illustrati alcuni fra

quelli indiretti e doppiamente indiretti utilizzati in ambito sportivo e clinico. Fra quelli indiretti ritroviamo:

- **Conteggio del potassio corporeo totale (Whole Body Potassium Counting-WBPC):** il modello cellulare a 4 compartimenti divide il corpo in grasso, BCM, ECF ed ECSs (Wang, Shen, et al., 2003). La BCM si riferisce al tessuto metabolicamente attivo e contiene oltre il 98% del potassio corporeo totale (Total Body Potassium-TBK). Per questo motivo la WBPC è considerata il metodo di riferimento per la stima della BCM. Insieme a quest'ultima, il TBK può essere utilizzato per stimare la quantità di proteine (Wang et al., 2006) e la SM (Wang, Zhu, et al., 2003). La procedura prevede che l'individuo si distenda supino sul lettino mobile della WBPC il quale provvederà a far passare l'individuo fra gli scanner. Questi ultimi andranno a rilevare la quantità di potassio 40 ( $^{40}\text{K}$ ), isotopo radioattivo del potassio, presente in quantità esigue nel corpo umano. Infine, verrà stimata la TBK grazie alla sua proporzione costante con il  $^{40}\text{K}$ ;
- **Pesata idrostatica:** questo metodo prevede che l'individuo si immerga in una vasca piena d'acqua in quanto si basa sul principio di Archimede il quale recita: un corpo immerso in un fluido subisce una spinta dal basso verso l'alto che è pari al peso del volume del liquido spostato dal corpo. È importante ricordare che la densità della FM è minore di quella dell'acqua mentre, quella della FFM è maggiore. Questo vuol dire che un individuo magro perderà meno peso in acqua rispetto ad un individuo con una maggiore massa grassa in quanto questa tenderà a galleggiare e di conseguenza verrà spostato un minor volume d'acqua. Grazie a questo, è possibile rilevare la differenza che vi è fra la densità corporea (Body Density-BD) di un individuo magro e di uno più grasso a parità di volume corporeo. Inoltre, per una valutazione più accurata, tale metodica tiene in considerazione il volume polmonare residuo e quello gastrointestinale i quali andrebbero a falsare la stima del volume

corporeo (Body Volume-BV) e con questa la stima della densità, obiettivo della pesata idrostatica. Ottenuti questi due parametri, basandosi su un modello bicompartimentale e utilizzando apposite formule, si potrà ottenere la stima della FM e della FFM. Risulta essere un buon metodo per la stima del volume corporeo e della densità corporea e rispetto ai valori ottenibili utilizzando un modello a 4 compartimenti, la stima della FM differisce solamente dall' 1,8 al 2,8% (Withers et al., 1998);

- **Pletismografia a spostamento d'aria (Air Displacement Plethysmography – ADP):**



**Figura 2.** Configurazione generale di un sistema ADP. [Modificato da Dempster e Aitkens (Dempster & Aitkens, 1995)].

come il metodo precedente, l'ADP ha lo scopo di misurare il volume corporeo al fine di stimare la densità corporea utile al calcolo della FM e della FFM dell'individuo. In questo caso, per la misurazione del volume, viene

utilizzata la sua associazione con la pressione. L'individuo dovrà sedersi all'interno di una capsula a due compartimenti separati da un diaframma il quale si deformerà finché le pressioni in entrambi i compartimenti non risulteranno uguali (figura 2). Nel momento in cui l'individuo entrerà nell'apposito compartimento, il suo volume farà sì che la pressione aumenti determinando lo spostamento del diaframma verso l'altro compartimento causandone una variazione di pressione. Attraverso quest'ultima, sarà possibile stimare il volume e tutte le altre stime basate su un modello bicompartimentale (Fields et al., 2001). Comparata a quella rilevabile attraverso l'impiego di un modello a 4 compartimenti, la stima della FM si discosta per un valore simile a quello della pesata idrostatica (Fields et al., 2001). Per la

loro precisione, la pesata idrostatica e la ADP sono considerate *gold standard* per la stima della FM;

- **Idrometria:** questo metodo si basa sul principio di diluizione in cui la TBW, che può essere considerata un solvente, può essere stimata conoscendo la quantità totale e la concentrazione di un soluto all'interno dei fluidi dell'organismo (Edelman et al., 1956). Sapendo che l'acqua costituisce circa il 60% del peso corporeo e basandosi sull'assunto che il 73,3% di questa è presente nella FFM, attraverso la prima è possibile stimare la seconda. I soluti comunemente utilizzati sono l'ossido di deuterio ( $D_2O$ ) per la stima della TBW e il bromuro di sodio (NaBr) per la stima della ECW. La procedura per la stima di queste ultime prevede un prelievo di saliva, urina o sangue per determinare il livello pre-somministrazione del composto utilizzato. Successivamente, il composto viene somministrato e dopo 3-4 ore, tempo necessario affinché questo si distribuisca in tutti i fluidi presenti nel corpo, viene rieseguito il prelievo per la misurazione della sua concentrazione. Infine, attraverso quest'ultima, viene stimata la TBW o l'ECW. Per quanto riguarda la ICW, questa viene stimata per differenza. La concentrazione di questi composti viene misurata attraverso la spettrometria. Comparata con il modello a 4 compartimenti, la stima della FM rilevabile con questo metodo differisce per un valore inferiore all'1% (Withers et al., 1998). Inoltre, viene considerato come metodo di riferimento per la stima della TBW e della ECW (S. Heymsfield et al., 2005);

- **Assorbimetria a raggi X a doppia energia (Dual Energy X-ray Absorptiometry – DXA):**



**Figura 3.** Assorbimetria a raggi X a doppia energia (DXA).

la DXA è un metodo attraverso il quale è possibile valutare: FM, BMC, LST e SM. Oltre a queste stime, fornisce un'immagine che illustra come queste componenti sono disposte nel nostro corpo; Inoltre, permette di

effettuare una valutazione generale o segmentaria. Questa metodica si basa sul principio che l'attenuazione dei raggi X a due livelli di energia è misurabile e dipende dalle proprietà del tessuto che questi attraversano. La variazione di attenuazione dipende dalle caratteristiche chimiche e dalla densità dei diversi tessuti. La DXA è considerata come *gold standard* per la misurazione della densità ossea (Garg & Kharb, 2013). L'utilizzo di questo strumento prevede di far sdraiare l'individuo su un lettino sopra il quale scorre un braccio che emette raggi X a due livelli di intensità (figura 3). Quest'ultimo ha la funzione di scansionare il corpo e dividerlo in una serie di pixel. Per ogni pixel viene rilevata l'attenuazione per entrambi i livelli di energia e attraverso questa viene discriminata la quantità di grasso, osso e tessuto magro. Le radiazioni emesse per ogni utilizzo sono esigue, ciò rende la DXA uno strumento largamente applicabile (Andreoli et al., 2009). Possiede un coefficiente di variazione di circa l'1% per il contenuto minerale osseo e del 2-3% per la FM (De Lorenzo et al., 2009). Per questo motivo è considerato il metodo di riferimento per la stima del BMC ma anche, insieme alla RMN, per LST e la SM (B. Heymsfield et al., 1997);

- **Tomografia computerizzata (Computerized Tomography – CT):**



**Figura 4.** Tomografia computerizzata CT.

come la DXA, anche la CT sfrutta il passaggio di raggi X attraverso i tessuti per fornire un'immagine dettagliata del nostro corpo. A differenza di questa, la CT è in grado di fornire un'immagine 3D

grazie alla possibilità di poter emettere raggi X in diverse angolazioni (figura 4). Ciò permette di ottenere delle informazioni precise relative al volume dei singoli organi oltre alla quantificazione, locazione e natura della FM (viscerale e sottocutanea), della FFM (muscolo scheletrico e organi viscerali) e del tessuto osseo (corticale e trabecolare). Il fatto di dover emettere radiazioni a più angoli per ottenere i dati necessari alla costruzione dell'immagine 3D, rende la CT una soluzione poco ricercata in quanto può diventare pericolosa a causa delle eccessive radiazioni. Infatti, per ovviare a questo problema, viene effettuata un'analisi bidimensionale sulle sezioni di interesse e non sull'intera lunghezza corporea (Yu et al., 2009);

- **Risonanza magnetica nucleare (RMN):** la risonanza magnetica



**Figura 5.** Risonanza magnetica nucleare (RMN).

nucleare (figura 5), fra quelli più informativi e accurati, è il metodo di valutazione della composizione corporea più utilizzato. Come la CT, fornisce un'immagine rappresentativa del corpo, evidenziando i diversi tessuti, e informazioni molto precise sulla quantità e locazione della FM e



della FFM. A differenza della DXA e della CT non sfrutta la diversa capacità dei tessuti di assorbire i raggi X per elaborare l'immagine, motivo per il quale è la più utilizzata, ma la forza di attrazione che il campo magnetico generato dalla macchina esercita verso il nucleo degli atomi di idrogeno presenti nel corpo (Ellis. & Kenneth, 2000). Tale forza fa sì che questi ultimi tendano ad allinearsi lungo il verso della forza stessa e a tornare in posizione disordinata nel momento in cui questa non viene più esercitata. Per discriminare la FM dalla FFM la macchina misura il tempo necessario affinché gli idrogeni ritornino nella loro posizione disordinata che è maggiore nel tessuto adiposo rispetto a quello nell'acqua, componente preponderante della FFM (Ellis. & Kenneth, 2000). L'idrogeno è uno degli elementi più abbondanti nel corpo umano; motivo per il quale viene utilizzato come riferimento per la valutazione della composizione corporea attraverso RMN.

Fra quelli doppiamente indiretti vi sono:

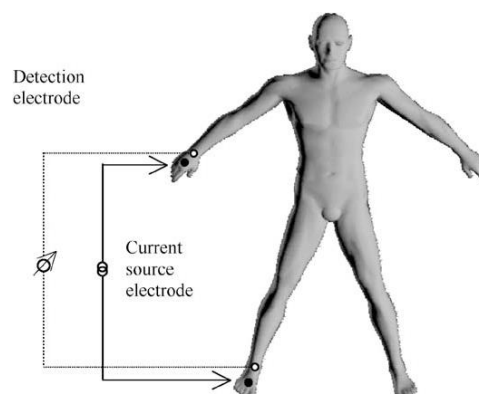
- **Bioimpedenziometria (BIA):** è un metodo che sfrutta la capacità dell'organismo di condurre la corrente elettrica. È in grado di registrare l'impedenza e la reattanza opposti da quest'ultimo attraverso l'applicazione, in appositi punti, di elettrodi; Questi parametri sono maggiormente influenzati dal contenuto corporeo di acqua e dalla sua distribuzione ionica.

L'impedenza è una grandezza fisica che rappresenta la forza di opposizione di un circuito al passaggio di una corrente alternata ed è la somma fra resistenza e reattanza;

La resistenza è una grandezza fisica scalare che misura la forza di opposizione di un circuito (corpo) al passaggio di una corrente elettrica;

La reattanza è anch'essa una forza che si oppone al passaggio di una resistenza elettrica, ma dovuta alla presenza di condensatori.

La BIA si basa sul fatto che l'organismo è costituito per la maggior parte da acqua (ICW e ECW), che è un buon conduttore, e sul fatto che le membrane cellulari fungono da condensatori elettrici (sono in grado di immagazzinare energia elettrica). Tale metodica permette di valutare la FFM e la FM grazie al fatto che nella massa magra è presente una gran quantità di acqua ed elettroliti ed è, quindi, un buon conduttore (scarsa resistenza) e, al contrario, al fatto che la massa grassa e le ossa, avendo uno scarso contenuto d'acqua, non lo sono (elevata resistenza). Attraverso il modulo resistivo, derivato dall'analisi del modulo dell'impedenza corporea, è possibile stimare la TBW. Tramite quest'ultima e apposite formule, in fine, è possibile stimare la FM e la FFM. La BIA, inoltre, è in grado di rilevare quello che viene definito angolo di fase. L'angolo di fase esprime la relazione che vi è fra resistenza e reattanza e, essendo la reattanza proporzionale alla quantità di membrane cellulare presenti nel corpo (capacità), permette di stimare la BCM. Esistono diversi protocolli che prevedono l'applicazione degli elettrodi in punti diversi del corpo. Quello di riferimento è il foot-to-hand (figura 6) che prevede l'applicazione di elettrodi sulla mano e sul piede omolaterali i quali trasmettono un impulso elettrico ad una frequenza di 50 KHz (Kyle et al., 2004).



**Figura 6.** Disposizione elettrodi per esecuzione BIA secondo il protocollo foot-to-hand.

- **Metodo antropometrico:** è un metodo che permette di valutare il corpo al livello whole body. Prevede la rilevazione delle misure corporee quali altezza, peso, diametri ossei, lunghezze dei segmenti, perimetri e pannicoli adiposi. Ogni rilevazione ha il proprio strumento di riferimento. Tali misure vengono utilizzate per stimare la composizione corporea dell'individuo, per avere informazioni relative al suo stato di salute e per predire la sua capacità di performance in specifiche discipline. Essendo un metodo manuale, è fortemente operatore dipendente. Ciò rende la tecnica di rilevazione un fattore essenziale al fine di ottenere misure valide e precise.

### **1.3 La valutazione della composizione corporea nello sport**

Nello sport, la valutazione della composizione corporea assume un ruolo importante per quanto riguarda la previsione della performance ma anche per la valutazione dell'efficacia di un programma di allenamento o dieta. Esistono molti sport in cui il peso è un fattore determinante. Questi possono essere classificati in sport gravitazionali, sport a classi di peso e sport estetici (Ackland et al., 2012).

In quelli gravitazionali vi sono quegli sport in cui la massa è un fattore limitante come per esempio nelle maratone o nei salti in alto in cui un maggior peso si traduce in un maggior dispendio energetico o nella necessità di esprimere forza e potenza maggiori a parità di obiettivo da raggiungere;

In quelli a classi di peso rientrano quegli sport in cui gli atleti vengono divisi per categorie di peso e non per abilità/esperienza. È molto comune, negli atleti, riscontrare importanti variazioni di peso nel breve periodo allo scopo di rientrare nella precedente categoria di peso per trarne un vantaggio. Una strategia molto utilizzata in queste tipologie di sport, poco

etica, è far sì che l'atleta sia disidratato durante il momento della pesata. Esempi sono gli sport di combattimento e il sollevamento pesi;

Fra quelli estetici rientrano quegli sport in cui gli atleti o gli allenatori si aspettano un punteggio maggiore quando la massa corporea e la forma dell'atleta rientrano in un ideale di corpo culturalmente determinato. Esempi sono la ginnastica e il pattinaggio artistico.

Alla luce di questo, risulta evidente che nella gran parte dei casi, i principali parametri a cui si fa riferimento sono la FM e la TBW; Componenti che, oltre a poter rappresentare un limite per la prestazione, devono essere mantenute entro un certo limite per le funzioni vitali di un individuo. Il grasso oltre alla funzione energetica ne esplica altre di vitale importanza; per esempio è un costituente delle membrane cellulari ed è fondamentale per l'equilibrio ormonale. Per entrambi i sessi sono note le quantità essenziali di grasso e cioè quel grasso situato in organi e apparati la cui quantità non deve andare al di sotto di un certo valore per evitare di andare incontro a problemi di salute: 3% nell'uomo e 12% nella donna (B. Heymsfield et al., 1997). Per quanto riguarda l'acqua, le maggiori variazioni fisiologiche si hanno nel compartimento extracellulare, nel compartimento intracellulare, invece, variazioni che vanno oltre il 5% del quantitativo intracellulare totale risultano mortali per la cellula (Jéquier & Constant, 2010).

Spesso, quindi, le necessità biomeccaniche e quelle relative alla salute dell'atleta vanno in contrasto. Per questo motivo, soprattutto nelle competizioni ad alto livello, è fondamentale monitorare i parametri degli atleti al fine di scongiurare qualsiasi rischio per la loro salute. Inoltre, negli sport in cui è richiesta l'espressione di elevati livelli di forza e potenza, risultano determinanti i volumi muscolari, i quali dovranno essere valutati soprattutto in ottica di allenamento, e la densità ossea, per la prevenzione e recupero degli infortuni.

È importante sottolineare come negli anni gli allenamenti siano diventati sempre più sofisticati e gli atleti più specializzati nella propria disciplina. Questo ha fatto sì che le caratteristiche fisiche di questi ultimi iniziassero a discostarsi da quelle considerate normali, sulle quali si basano le assunzioni

utilizzate nelle principali metodiche per la valutazione della composizione corporea, rendendo poco valido l'impiego di molte strumentazioni per questa categoria di persone. Per ovviare a questo problema, negli anni sono state sviluppate, per le stesse strumentazioni, specifiche equazioni per la stima della composizione corporea degli atleti. Per il costo relativamente contenuto e per i tempi di rilevazione contenuti, un metodo molto utilizzato è la BIA (Matias et al., 2016; Sardinha et al., 2020). È interessante notare come anche l'antropometria rientra nei metodi utili per la valutazione della composizione corporea degli atleti. Di per sé non permette di avere delle stime precise come quelle ottenute dalla BIA ma è il metodo che spicca in economicità e portabilità. Principalmente nei centri fitness, a causa dei possibili errori dovuti alle diverse assunzioni e al fatto che il metodo in sé è fortemente operatore dipendente, i trainer, più che per ottenere delle stime sulla composizione corporea, utilizzano questo metodo per monitorare i cambiamenti delle dimensioni corporee del soggetto grazie a delle misurazioni effettuate prima, durante e dopo un programma di allenamento.

## CAPITOLO SECONDO

### L'ANTROPOMETRIA

L'antropometria è la scienza che si occupa di misurare il corpo umano nel suo insieme e nei suoi segmenti. Necessita di strumenti accessibili a tutti, relativamente poco costosi e facili da reperire. Le misure antropometriche permettono di valutare lo stato nutrizionale di un individuo, l'efficacia di un intervento nutrizionale, di un programma di allenamento, la predisposizione a praticare specifiche attività sportive e il livello di rischio cardiovascolare legato alla composizione corporea.

#### 2.1 Gli strumenti antropometrici

Le rilevazioni che vengono fatte in ambito antropometrico sono relative a: massa corporea, altezza, perimetri corporei, diametri ossei, spessori e larghezze corporee, lunghezza dei segmenti e pannicoli adiposi. Ognuna di queste ha il proprio strumento di riferimento i quali verranno di seguito brevemente illustrati.



**Figura 7.** Bilancia pesapersona a colonna meccanica.

Per la massa lo strumento di riferimento è la bilancia pesapersona a colonna meccanica (Figura 7). È un tipo di bilancia basato sul principio della leva, tarata in chilogrammi, attraverso la quale è possibile misurare la massa dell'individuo facendolo disporre sull'apposito piano e controbilanciando il suo peso per mezzo di un corpo metallico, definito romano, che scorrerà lungo il proprio piano di scorrimento graduato.



Per l'altezza lo strumento di riferimento è lo stadiometro (figura 8). Lo stadiometro è costituito da un'asta metallica verticale graduata in millimetri lungo la quale scorre perpendicolarmente un braccio. Misura l'altezza dall'apice del cranio alla base dei piedi.

**Figura 8.** Stadiometro.



**Figura 9.** Esempi di antropometro.

Per i diametri ossei, le larghezze corporee e la lunghezza dei segmenti lo strumento di riferimento è l'antropometro (figura 9),

costituito da un'asta graduata su cui scorrono due bracci fra i quali dovrà essere interposto ciò che si vuole misurare. Di questi ve ne sono di varie forme e dimensioni per far fronte alla necessità di misurare distretti di dimensioni molto diverse fra loro.



**Figura 10.** Plicometro.

Per i pannicoli adiposi lo strumento di riferimento è il plicometro (figura 10). È uno strumento simile ad una pinza comprensivo di scala graduata in grado di misurare la distanza fra le punte.



Infine, per i perimetri corporei viene utilizzata una cordella metrica anelastica (figura 11).

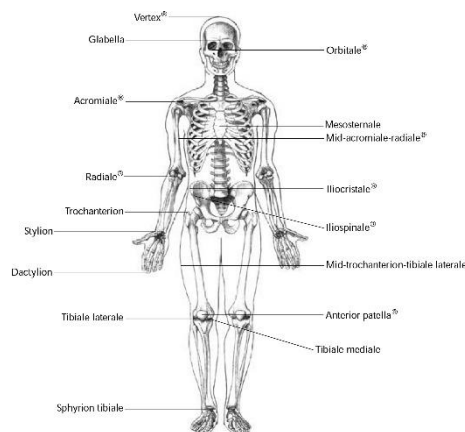
**Figura 11.** Cordella metrica anelastica.

## **2.2. Misure e stime di composizione corporea**

### **2.2.1. Standard internazionali per la rilevazione delle misure antropometriche**

Per non rendere le misure antropometriche fini a loro stesse è necessario far sì che queste vengano rilevate seguendo un protocollo standard specifico per ogni misura. Le modalità di attuazione e misurazione devono essere uniformi e costanti per tutti al fine di rendere le misure comparabili con misure prese sullo stesso individuo o individui diversi e ripetibili dallo stesso operatore o da operatori diversi. Tali protocolli sono riportati nei manuali emessi dall'ISAK (International Society for the Advancement of Kinanthropometry) riportanti gli standard internazionali sulla valutazione antropometrica. Ogni rilevazione va eseguita a livello del proprio punto di riferimento anatomico (figura 12). Di seguito verranno brevemente illustrate le procedure standard da seguire per le diverse misurazioni con particolare attenzione ai perimetri.





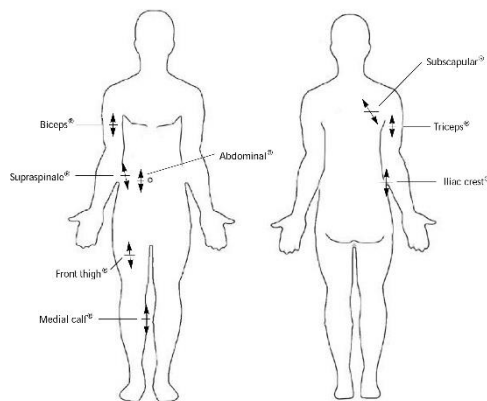
**Figura 12.** Punti di riferimento anatomici.

Per quel che riguarda la massa, la misurazione andrebbe eseguita al mattino a digiuno, con slip e reggiseno (se di sesso femminile) e senza scarpe. Visto che durante la giornata si possono registrare delle variazioni di peso di oltre 1 kg, è opportuno effettuare la rilevazione di mattina a digiuno.

Relativamente all'altezza, la rilevazione prevede che l'individuo sia posizionato in stazione eretta, piedi uniti, tallone spalle e glutei poggiati alla parete e piano di Francoforte (retta passante fra meato uditivo e margine inferiore dell'orbita) orizzontale. È preferibile eseguirla al mattino in quanto alla sera si può registrare un calo della statura fino a 2-3 cm (Krishan & Vij, 2007).

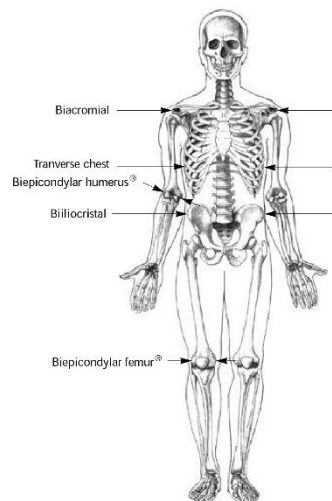
I pannicoli adiposi sono quelli che più di tutti necessitano di attenzione da parte dell'operatore per garantire la validità delle misure. La loro rilevazione ha senso solo nel caso in cui l'individuo non sia particolarmente sovrappeso. I punti di reperi più utilizzati si trovano a livello del tricipite, bicipite, petto, scapola, cresta iliaca, addome, coscia e polpaccio (figura 13). È consigliabile marcarli con una matita dermografica in quanto ogni rilevazione deve essere eseguita 3 volte negli stessi punti per ottenere una media dello spessore del pannicolo al fine di ridurre l'errore. Queste devono essere eseguite tutte nel lato destro del corpo. Le pliche vanno sollevate

secondo il giusto orientamento con pollice e indice della mano sinistra mentre il plicometro dovrà essere orientato perpendicolarmente alla plica con la mano destra. Il becco del plicometro, nel momento della misurazione, si dovrà trovare a 1 cm di distanza dal pollice e dall'indice e a 0,5 cm di profondità. La rilevazione va registrata 2 secondi dopo aver applicato la massima pressione sulla plica.



**Figura 13.** Punti di reperi per le pliche cutanee. Visione anteriore (sinistra) e posteriore (destra).

Per le lunghezze dei segmenti viene misurata la distanza che vi è fra i punti di riferimento delimitante gli stessi (figura 12). La misura andrà rilevata tenendo gli occhi alla stessa altezza della scala graduata dell'antropometro. Lo stesso avviene per quanto riguarda i diametri ossei, gli spessori e le larghezze corporee (figura 14).



**Figura 14.** Punti di riferimento per gli spessori.

Per quanto riguarda i perimetri, le rilevazioni devono avvenire mantenendo la cordella ad angolo retto rispetto all'arto o la regione corporea da misurare, la sua tensione deve essere mantenuta costante e tale da non causare ripiegamenti della pelle; È inoltre importante far sì che non vi sia spazio, ove possibile, fra la cordella e la pelle dell'individuo. Di seguito verranno elencati alcuni di questi:



**Figura 15.** Misura del perimetro del collo secondo il protocollo ISAK.

**Collo (figura 15):** individuo in piedi con testa orientata sul piano di Francoforte. La misura viene rilevata a livello della cartilagine tiroidea (Pomo d'Adamo).



**Braccio rilassato (figura 16):** individuo in piedi con le braccia lungo i fianchi. La misura viene eseguita sul braccio destro leggermente abdotto per permettere il passaggio della cordella, a metà della sua lunghezza (Mid-acromiale-radiale, figura 12).

**Figura 16.** Misura del perimetro del braccio rilassato secondo il protocollo ISAK.



**Polso (figura 17):** individuo in piedi con le braccia lungo i fianchi. Avambraccio destro in supinazione e gomito leggermente flesso. La misura viene rilevata nel punto più stretto dell'avambraccio, distalmente ai processi stiloidei.

**Figura 17.** Misura del perimetro del polso secondo il protocollo ISAK.



**Petto (figura 18):** individuo in piedi con le braccia lungo i fianchi. L'operatore dovrà disporsi lateralmente all'individuo il quale dovrà abdure le braccia per permettere il passaggio della cordella, per poi addurle nuovamente per tornare nella posizione iniziale. Il braccio destro rimane leggermente abdotto per permettere all'operatore di visualizzare la misura. La

**Figura 18.** Misura del perimetro del petto secondo il protocollo ISAK.

misura viene rilevata ad altezza del mesosternale (figura 12) alla fine di una normale espirazione.



**Vita (figura 19):** individuo in piedi con le braccia leggermente abdotte. La misura viene rilevata nel punto più stretto del tronco (fra la 10° costa e la cresta iliaca) alla fine di una normale espirazione.

**Figura 19.** Misura del perimetro della vita secondo il protocollo ISAK.



**Fianchi (figura 20):** individuo in piedi con le braccia leggermente abdotte e i piedi uniti. La misura viene rilevata, con l'operatore disposto lateralmente all'individuo, nel punto più sporgente della regione glutea.

**Figura 20.** Misura del perimetro dei fianchi secondo il protocollo ISAK.



**Coscia (figura 21):** individuo in piedi con le braccia lungo i fianchi e i piedi circa larghezza spalle. Il peso corporeo dovrà essere equidistribuito ai due arti inferiori. L'operatore dovrà disporsi lateralmente all'individuo e la misura deve essere rilevata a livello del Mid-trochanterion-tibiale-laterale (figura 12).

**Figura 21.** Misura del perimetro della coscia secondo il protocollo ISAK.

### 2.2.2. Perimetri e composizione corporea

Relativamente alle stime di composizione corporea, attraverso i perimetri è possibile valutare la distribuzione del grasso corporeo, i rischi

cardiovascolari e metabolici associati ad esso e l'effetto di un programma di allenamento o di un periodo di sedentarietà sulla massa muscolare. Inoltre, attraverso apposite equazioni, è possibile ottenere delle stime di FM, SM e FFM (Minetto et al., 2022).

Per la sua correlazione con le malattie cardiovascolari e i disordini metabolici, particolarmente rilevante è la valutazione del grasso viscerale (Matsuzawa et al., 1995) il quale è, a sua volta, correlato con il perimetro della vita. Secondo l'organizzazione mondiale della sanità (OMS), in funzione di quest'ultimo, è possibile distinguere tre categorie di rischio per le malattie cardio-metaboliche: normale, medio e elevato (World Health Organization., 2011). Nella categoria a rischio normale rientrano coloro che hanno un perimetro della vita inferiore a 94 cm per gli uomini e 80 cm per le donne, nella categoria a medio rischio rientrano coloro che hanno un perimetro della vita maggiore di 94 cm per gli uomini e 80 cm per le donne, nella categoria ad elevato rischio rientrano coloro che hanno un perimetro della vita maggiore di 102 cm per gli uomini e 88 per le donne.

Nonostante sia un parametro molto utilizzato per la valutazione del grasso viscerale e quindi dei rischi cardio-metabolici ad esso associati, bisogna tenere in considerazione l'assunto che diversi individui, con caratteristiche diverse (es. altezza e distribuzione del grasso corporeo), a parità di perimetro della vita vengono considerati allo stesso livello di rischio quando, in realtà, sappiamo che ad influire sul livello di rischio non è tanto il valore assoluto del grasso corporeo o del perimetro della vita quanto la sua distribuzione nei diversi distretti corporei ad influire sulla possibilità di andare in contro a tali problematiche (Minetto et al., 2022). Una strategia che supera questo limite è quella di normalizzare il perimetro della vita ad altri parametri corporei come il perimetro dei fianchi (Waist-to-Hip Ratio – WHR) e l'altezza (Waist-to-Height Ratio – W:HT).

Il WHR è il rapporto fra il perimetro della vita e quello dei fianchi (punto più sporgente della regione glutea) che mette a confronto la distribuzione androide (regione addominale) con quella ginoide (regione glutea) del tessuto adiposo. Secondo l'OMS, in un individuo sano, tale

rapporto non deve superare il valore di 0,90 negli uomini e 0,85 nelle donne (World Health Organization., 2011);

Il W:HT ratio è il rapporto fra il perimetro della vita e l'altezza dell'individuo ed è un indice di adiposità centrale. Un rapporto di 0,5 è stato proposto come valore soglia oltre il quale l'individuo presenta un aumentato rischio di incorrere in malattie cardio-metaboliche (Ashwell & Gibson, 2016). Anche qui, come per il perimetro della vita, sono stati identificati 3 livelli di rischio: normale, medio, elevato.

Nel livello normale rientrano coloro che presentano un rapporto vita-altezza inferiore a 0,5, nel livello medio rientrano coloro che presentano un rapporto vita-altezza compreso fra 0,5 e 0,6, nel livello elevato rientrano coloro che hanno un rapporto vita-altezza maggiore di 0,6 (Ashwell & Gibson, 2016).

Per la valutazione della massa muscolare, di particolare utilità risultano essere i perimetri degli arti. La rilevazione di queste misure prima e dopo aver somministrato un protocollo di allenamento permette di valutare macroscopicamente la sua efficacia. Allo stesso modo è possibile valutare l'atrofia dovuta al disuso. Per la sua correlazione con la SM, un perimetro spesso utilizzato è quello del polpaccio per il quale sono stati individuati dei valori minimi limite che stanno ad indicare degli stati atrofici moderati e gravi, di 34 cm e 32 cm per gli uomini e di 33 e 31 cm per le donne (Gonzalez et al., 2021).

### **2.3. L'antropometria digitale**

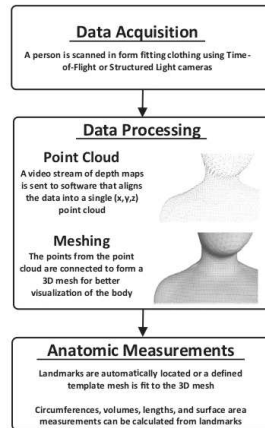
L'antropometria ha dimostrato di essere un valido metodo per la valutazione della composizione corporea degli individui, soprattutto per chi non è dotato di elevate risorse in termini economici e di spazio. Nonostante ciò presenta degli aspetti negativi, molte volte limitanti a tal punto da impossibilitare le misure o renderle del tutto inesatte. Prevede che vi sia il contatto fisico fra chi rileva le misure e chi viene misurato; pratica, questa, che spesso può

causare disagio da ambo le parti. Essendo un metodo fortemente operatore dipendente, chi si affida all'antropometria deve essere a conoscenza degli standard da seguire e, soprattutto, deve avere le abilità pratiche per far sì che le rilevazioni siano accurate; requisito, quest'ultimo, non semplice da ottenere. Inoltre, è stato dimostrato che, per coloro che sono sovrappeso o obesi, l'antropometria perde di affidabilità (Nordhamn et al., 2000). Una soluzione a questi problemi è pervenuta con lo sviluppo dell'antropometria digitale (Digital Anthropometry – DA).

L'antropometria digitale, negli anni 80, fu inizialmente introdotta in ambito tessile per la necessità di raccogliere dati relativi alle dimensioni corporee di un grande campione di individui al fine di ottenere dei modelli tridimensionali da utilizzare per dimensionare i capi d'abbigliamento. La tecnologia inizialmente utilizzata è stata il Loughborough Anthropometric Shadow Scanner (LASS); Un sistema costituito da una TV camera, un proiettore ed un tavolo in grado di ruotare a 360° sul quale l'individuo giace durante lo screening (Jones et al., 1989). Da qui, negli ultimi trent'anni, l'antropometria digitale si è diffusa sempre di più anche in ambito clinico e sportivo, soprattutto per la possibilità di utilizzare le misure antropometriche da essa ricavate per valutare la composizione corporea degli individui. L'attuale tecnologia si basa su sistemi di acquisizione immagini 3D e 2D di seguito brevemente illustrati.

- **Sistemi di acquisizione immagini 3D:** questi sono capaci di catturare la luce visibile o quella infrarossa al fine di ricavare informazioni sulla superficie del corpo; motivo per il quale, durante la scansione, è necessario indossare un abbigliamento aderente. L'acquisizione dell'immagine 3D mediante questi sistemi avviene in 3 fasi e richiede meno di un minuto: acquisizione dei dati, elaborazione dei dati, misurazioni anatomiche (figura 22) (S. B. Heymsfield et al., 2018).

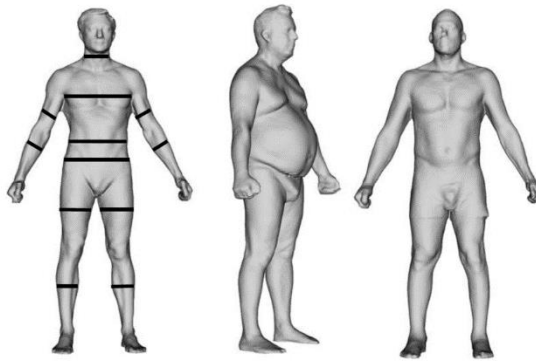




**Figura 22.** Fasi per l’acquisizione dell’immagine 3D e dei dati antropometrici mediante sistemi ottici Time-of-Flight (ToF) e Structured Light (SL) (S. B. Heymsfield et al., 2018).

L’acquisizione dei dati può avvenire mediante l’utilizzo di due diverse tecnologie in grado di fornire delle immagini di profondità (distanza fra l’oggetto e la/e telecamera/e): structured light scanners (SL) e time of flight (ToF) scanners. La prima, attraverso la capacità di rilevare la deformazione del percorso della luce nel momento in cui questa colpisce un oggetto (es. corpo umano), misura la distanza fra ogni punto infinitesimo dell’oggetto e la telecamera (profondità). La seconda, per la misura della profondità, misura il tempo che la luce impiega a raggiungere l’oggetto e a tornare indietro una volta riflessa. Le immagini di profondità grezze vengono acquisite, in entrambi i casi, a diverse angolazioni grazie a sistemi multi-camera, in cui sia le telecamere che l’individuo rimangono fermi, o a sistemi a configurazione dinamica, in cui o l’individuo o la telecamera si muovono durante la scansione. L’elaborazione dei dati avviene tramite software al quale il sistema di telecamere è collegato. Questo, per produrre l’immagine 3D dell’individuo (figura 23), elabora le diverse immagini di profondità grezze e ne estrapola, da ognuna di esse, un insieme di punti rilevati nello spazio tridimensionale (x, y, z) i quali formano una nuvola di punti. Successivamente, le nuvole di punti ottenute vengono elaborate

insieme così da poter ottenere un'immagine tridimensionale dell'individuo preso in esame.



**Figura 23.** Immagine 3D esempio ottenibile tramite sistemi ottici basati su tecnologia SL (Minetto et al., 2022).

Le misure anatomiche (perimetri, altezza, lunghezza dei segmenti ecc.) vengono estrapolate dall'immagine 3D grazie alla capacità del software di individuare automaticamente dei punti di riferimento. Questi possono essere, per esempio, articolazioni, punti più stretti o più larghi di una regione corporea, apice del capo, pavimento. Misure come altezza, lunghezze dei segmenti e larghezze vengono rilevate attraverso la misurazione della distanza fra due specifici punti. Per quel che riguarda i perimetri, la misurazione avviene grazie alla capacità del software di tracciare, lungo l'immagine 3D, dei piani paralleli al terreno o ortogonali agli arti all'altezza del punto di riferimento d'interesse. Per esempio, dalla sagoma ricavata dal piano situato all'altezza della vita (punto più stretto del tronco), è possibile ottenere una misura del perimetro di quella regione.

- **Sistemi di acquisizione immagini 2D:** tecnologia il cui sviluppo ha preso maggiormente piede durante le restrizioni da COVID-19 a causa della necessità di ricercare metodi capaci di effettuare la

valutazione antropometrica, della composizione corporea e, quindi, dello stato di salute degli individui da remoto o in modo autonomo. Quando si parla di sistemi di acquisizione immagini 2D ci si riferisce anche agli smartphone dotati, grazie agli sviluppi tecnologici, di fotocamere di buona qualità. La possibilità di poter ottenere tali informazioni attraverso l'utilizzo di dispositivi di così facile accesso, oltre ai vantaggi già citati dell'antropometria digitale, ha permesso a coloro che si trovano in condizioni socio-economiche disagiate di tenere sotto controllo il proprio stato di salute in completa autonomia, senza il bisogno di personale specializzato e senza la necessità di recarsi in sito, quindi, con costi contenuti. In questo caso, le misure antropometriche vengono estrapolate grazie all'utilizzo di applicazioni basate sulla tecnologia passive stereo (PS). Quest'ultima, attraverso l'acquisizione di più immagini scattate in diverse angolazioni, è in grado di ricostruire modelli 3D da immagini 2D grazie all'estrapolazione della sagoma dell'individuo e di punti chiave i quali vengono successivamente confrontati con quelli di modelli 3D presenti nel database dell'applicazione. Una volta trovato il modello che più si avvicina alle caratteristiche dell'individuo, questo viene automaticamente adattato al fine di far sì che l'immagine 3D rappresenti il soggetto, oltre che nella forma, nella dimensione.

La gran parte delle applicazioni si basano sull'acquisizione di 2 immagini: una sul piano frontale e una sul piano sagittale. Una volta ottenuto il modello 3D, l'estrapolazione delle misure antropometriche segue una procedura simile a quella precedentemente descritta per i sistemi di acquisizione 3D.

## **CAPITOLO TERZO**

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

Come già accennato nelle sezioni precedenti, attraverso le misure antropometriche, e apposite equazioni, è possibile risalire alla composizione corporea dell'individuo. Tuttavia, la necessità di buone abilità nel rilevare le misure e l'esigenza di contatto fisico fra chi misura e chi viene misurato, rende l'antropometria classica poco appetibile per chi è alle prime armi o per chi non è particolarmente incline alla vicinanza fisica. La possibilità di acquisire tali misure attraverso l'antropometria digitale ha permesso di ovviare a questi problemi. Diversi studi hanno dimostrato la validità e affidabilità dei sistemi di acquisizione di immagini 3D nel rilevare le misure antropometriche e nel valutare la composizione corporea dell'individuo grazie ad appositi algoritmi (Mocini et al., 2023). In particolare, attraverso l'estrapolazione del modello 3D digitale dell'individuo, è possibile risalire al suo volume corporeo e, conoscendo la sua massa corporea, ottenerne la densità, utile, a sua volta, a stimare la FM e la FFM (Mocini et al., 2023). Nonostante i sistemi di acquisizione immagini 3D siano meno ingombranti, costosi e difficili da utilizzare rispetto alla comune strumentazione utilizzata per valutare la composizione corporea, rimangono comunque poco accessibili e pratici per coloro che operano nel campo del fitness, della nutrizione ed in ambito clinico. Per questo motivo, nell'ultimo decennio, grazie ai progressi tecnologici che hanno interessato gli smartphone, ci si è concentrati molto nello sviluppo di applicazioni in grado di fornire, insieme alle misure antropometriche, la valutazione della composizione corporea dell'individuo. Diversi studi hanno dimostrato la capacità di alcune applicazioni di stimare in modo accurato alcuni perimetri corporei (Graybeal et al., 2023; Smith et al., 2022), la FM e la FFM (Graybeal, Brandner, & Tinsley, 2022), la SM (McCarthy et al., 2023) e la maggior capacità di predire l'adiposità viscerale rispetto all'antropometria manuale (Graybeal, Brandner, Tinsley, et al., 2022). Graybeal et al. d'altra

parte, hanno constatato che le applicazioni prese in esame nel loro studio tendevano, anche se entro un range accettabile, a sottostimate e sovrastimate rispettivamente la circonferenza della vita e dei fianchi (Graybeal et al., 2023). Questi due errori di stima messi insieme portano ad ottenere una stima del rapporto vita/fianchi troppo discostante rispetto a quella rilevata mediante metodo classico ritenuto *gold standard* (Graybeal et al., 2023).

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

La letteratura scientifica ha confermato che i sistemi digitali di acquisizione immagini sono un valido metodo per la valutazione antropometrica e della composizione corporea degli individui. Vi sono diversi vantaggi rispetto all'antropometria manuale fra i quali: semplicità, rapidità nell'acquisizione delle misure, non invasivo, riduzione dell'errore operatore dipendente. Per queste caratteristiche, l'antropometria digitale, sta assumendo un ruolo sempre più importante sia in ambito clinico che sportivo ma anche privato grazie alla possibilità di ottenere misure antropometriche abbastanza precise attraverso applicazioni per smartphone. Lo scopo di questo studio era quello di confrontare i perimetri di collo, petto, bicipite, polso, vita, fianchi e coscia acquisiti da un'applicazione mobile con quelli di riferimento misurati con un nastro metrico.

#### **3.1 Materiali e metodi**

Diciannove soggetti di entrambi i sessi (età  $25.3 \pm 5.2$  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 2 (F.C.) secondo il protocollo ISAK, come illustrato nel paragrafo 2.2.1 figure 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21. Il software mobile è stato utilizzato per generare

stime relative ai perimetri di collo, petto, bicipite, polso, vita, fianchi e coscia.

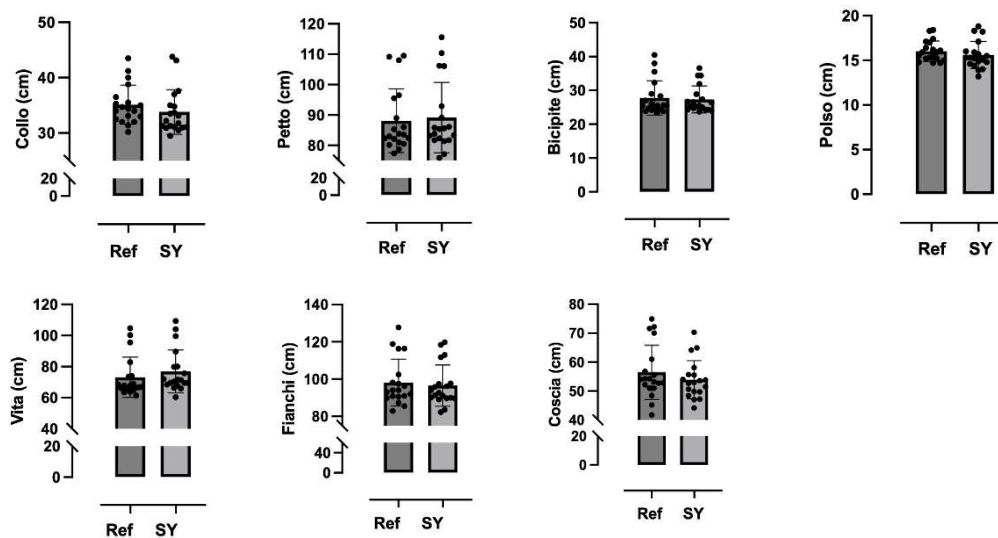
Il software IBM SPSS Statistics, v. 24.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) è stato utilizzato per le analisi statistiche. La normale distribuzione dei dati è stata valutata attraverso il test di Shapiro-wilks. I dati sono stati riportati come media  $\pm$  deviazione standard. Per valutare l'accuratezza dell'applicazione 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). L'accordo tra le misure derivate dall'app digitale e la procedura di riferimento è stato valutato utilizzando il metodo Bland-Altman (Warner et al., 2012). La significatività statistica è stata impostata considerando un p-value  $<0.007$  ( $0.05/7$ ).

### 3.2 Risultati

Le caratteristiche generali dei partecipanti (N = 5 maschi e N = 14 femmine) sono riportati in tabella 1.

Età (anni)	25.3 $\pm$ 5.6
Statura (cm)	169 $\pm$ 7.4
Massa corporea (kg)	62.3 $\pm$ 18.2

Nessuna differenza statistica ( $p>0.007$ ) è stata rilevata tra i due metodi ad eccezione del perimetro della vita e collo ( $p<0.007$ ), come mostrato in figura 24 e in tabella 2.

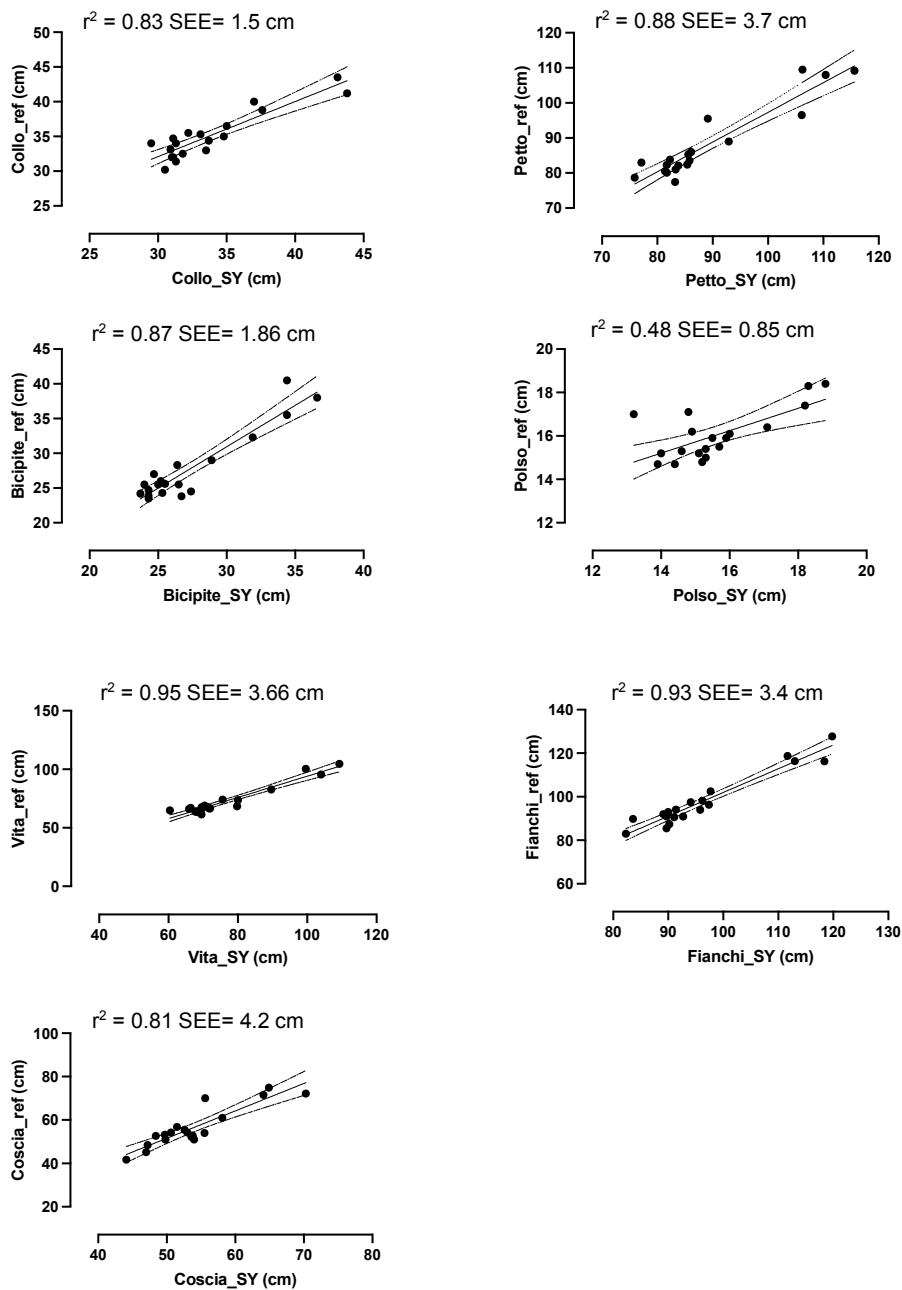


**Figura 24.** Grafici a barre e valori relativi ai perimetri di collo, petto, bicipite, polso, vita, fianchi e coscia misurati tramite antropometria classica e digitale. Ref = antropometria manuale; SY = antropometria digitale.

**Tabella 2.** Confronto tra antropometria manuale e digitale.

Variabile	Antropometria manuale	App digitale	Differenza	P-value
Collo (cm)	35.1 ± 3.5	33.8 ± 4.0	-1.3	0.003
Petto (cm)	88.1 ± 10.5	89.1 ± 11.6	1.0	0.273
Bicipite (cm)	27.8 ± 5.1	27.3 ± 4.0	-0.4	0.356
Polso (cm)	16.0 ± 1.15	15.6 ± 1.5	-0.4	0.104
Vita (cm)	73.1 ± 13.0	76.9 ± 13.8	3.8	0.000
Fianchi (cm)	98.2 ± 12.5	96.5 ± 11.1	-1.6	0.054
Coscia (cm)	56.5 ± 9.3	53.9 ± 6.6	-2.6	0.022

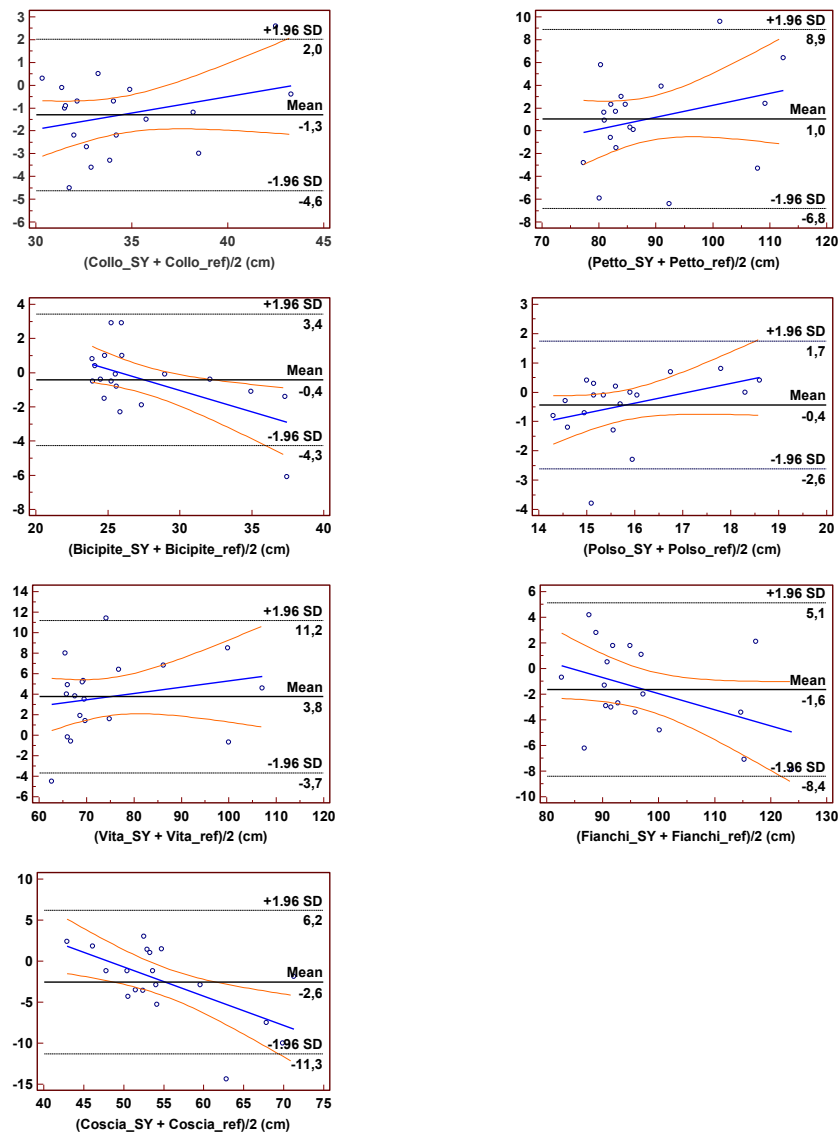
I risultati dell'analisi di regressione lineare sono presentati in figura 25.



**Figura 25.** Scatterplots con le associazioni fra le circonferenze di collo, petto, bicipite, polso, vita, fianchi e coscia ottenute mediante antropometria manuale e digitale con i relativi coefficienti di correlazione ( $r^2$ ) ed errori standard (SEE).



I risultati del test Bland-Altman sono presentati, per gli stessi perimetri, in figura 26.



**Figura 26.** Grafici Bland-Altman illustrante l'accordo (agreement) tra le due metodiche.

### 3.3 Discussione

L'obiettivo del presente elaborato di tesi era quello di condurre un'analisi preliminare di validazione di una tecnica di antropometria digitale. I parametri presi in considerazione sono stati i perimetri di collo, petto,

bicipite, polso, vita, fianchi e coscia i quali sono stati misurati attraverso tecnica antropometrica manuale e stimati utilizzando un'applicazione digitale (Size you app.) reperibile in commercio.

L'alta correlazione statistica tra l'antropometria digitale via smartphone e quella manuale è stata già discussa e confermata in letteratura scientifica (Smith et al., 2022; Graybeal et al., 2023). Smith, con il suo gruppo di lavoro, ha valutato la capacità di un'applicazione di rilevare i perimetri di vita, fianchi, bicipite e coscia confrontandoli con quelli ottenuti mediante antropometria manuale, ottenendo come risultati l'equivalenza tra i due metodi. Graybeal e il suo gruppo, invece, con il medesimo confronto, hanno valutato il WHR. Anche nel loro caso i dati statistici hanno confermano l'equivalenza dei due metodi nel misurare i perimetri di vita e fianchi, ma pongono un punto di domanda sulla veridicità del WHR a causa della tendenza, seppur in misura esigua, a sovra e sottostimare le suddette misure.

I risultati ottenuti dal presente studio hanno permesso di confermare che a livello di gruppo vi è equivalenza statistica fra tutte le circonferenze ad eccezione di collo e vita. A livello individuale, invece, è stata riscontrata imprecisione in tutte le misure che rimangono comunque altamente correlate ad eccezione del polso. È quindi possibile rilevare i cambiamenti dell'individuo relativi alla gran parte dei perimetri, ma non sarà possibile avere una misura accurata degli stessi.

Bisogna tenere in considerazione che in entrambi gli studi citati le applicazioni utilizzate erano differenti da quella presa in esame in questa tesi (MeThreeSixty; Size Stream, Cary, North Carolina) e che l'applicazione SizeYou è ancora in fase di sviluppo. Inoltre, bisogna anche considerare che le dimensioni dei campioni negli studi di Graybeal e Smith erano molto maggiori (115 gruppo di Graybeal, 59 gruppo di Smith) rispetto a quello preso in considerazione in questo caso (19 soggetti) e che l'affidabilità delle rilevazioni dipende dalla qualità della foto, dalla luce, dallo smartphone utilizzato, dai vestiti (tipologia e colore), dalla distanza e dal tilt con cui viene catturata l'immagine; variabili che non sempre è stato possibile mantenere

costanti. Pertanto, validità, precisione e accuratezza di tale app nel misurare i perimetri corporei è ancora da approfondire.

Diverse applicazioni in commercio sono in grado di valutare la composizione corporea attraverso tecniche statistiche che legano i perimetri corporei, e altre stime sulla dimensione corporea (es. peso e altezza), con quelli di riferimento associati ad una determinata composizione corporea. La disponibilità di dati all'interno del database delle applicazioni è, quindi, di fondamentale importanza; attraverso la validazione di sistemi come questo, vista la diffusione degli smartphone e la semplicità di utilizzo delle applicazioni, si potrebbe ottenere un vasto quantitativo di dati che, oltre ad essere utilizzati a migliorare la qualità degli output forniti dalle applicazioni stesse, potrebbero essere impiegati per studi su larga scala relativi allo stato di salute e alle caratteristiche fenotipiche delle diverse popolazioni.

## **CONCLUSIONI**

A livello di gruppo, l'applicazione SizeYou permette di ottenere delle misure valide relative ai perimetri di bicipite, polso, petto, fianchi e coscia ma non di collo e vita. A livello individuale, invece, l'applicazione potrebbe essere in grado di rilevare i cambiamenti, ad eccezione del polso, dovuti, per esempio, ad un programma di allenamento o una dieta ma, non in modo accurato. Se ne conclude che se l'obiettivo è quello di individuare le differenze fra due gruppi o le variazioni nello stesso gruppo in due momenti diversi, l'applicazione può essere utilizzata per la gran parte dei perimetri presi in esame. Se l'intenzione è, invece, quella di misurare con accuratezza i perimetri nei singoli individui o di utilizzare gli stessi per stimare la composizione corporea del soggetto, l'applicazione potrebbe non essere una valida alternativa all'antropometria manuale. Tuttavia, tali risultati dovranno essere confermati in seguito ad un ampliamento della numerosità campionaria.

## BIBLIOGRAFIA

- Ackland, T. R., Lohman, T. G., Sundgot-Borgen, J., Maughan, R. J., Meyer, N. L., Stewart, A. D., & Mü Ller, W. (2012). Current Status of Body Composition Assessment in Sport. *Sports Med*, 3(42), 227–249.
- Andreoli, A., Scalzo, G., Masala, S., Tarantino, U., & Guglielmi, G. (2009). Valutazione della composizione corporea mediante la densitometria a raggi X (DXA). *Radiologia Medica*, 114(2), 286–300.  
<https://doi.org/10.1007/s11547-009-0369-7>
- Ashwell, M., & Gibson, S. (2016). Waist-to-height ratio as an indicator of “early health risk”: simpler and more predictive than using a “matrix” based on BMI and waist circumference Setting, participants and outcome measures: Recent data from 4 years. *Open*, 6, 10159.  
<https://doi.org/10.1136/bmjopen-2015>
- B. Heymsfield, S., Wang, Z., Baumgartner, R. N., & Ross, R. (1997). Human Body Composition: Advances in Models and Methods. *Annual Review of Nutrition*, 17(1), 527–558.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.17.1.527>
- Bedogni, G., Borghi, A., & Battistini, N. (2003). Body water distribution and disease. *Acta Diabetologica*, 40(SUPPL. 1).  
<https://doi.org/10.1007/s00592-003-0065-3>
- De Lorenzo, A., Bertini, I., Candeloro, N., Iacopino, L., Andreoli, A., & Van Loan, M. D. (2009). *Comparison of diVerent techniques to measure body composition in moderately active adolescents*.
- Deurenberg, P., & Deurenberg-Yap, M. (2003). Validity of body composition methods across ethnic population groups. *Acta Diabetologica*, 40(SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1007/s00592-003-0077-z>
- Edelman, IS., Olney, JM., James, AH., Brooks, L., & Moore, FD. (1956). Body composition: Studies in the human being by the dilution principle. *Science*, 115(447–54).
- Ellis., & Kenneth, J. (2000). *Human Body Composition: In Vivo Methods*.
- Fidanza, F., Keys, A., & Anderson, J. T. (1953). Density of body fat in man and other mammals. *Journal of Applied Physiology*, 6(4).
- Fields, D. A., Wilson, G. D., Gladden, L. B., Hunter, G. R., Pascoe, D. D., & Goran, M. I. (2001). Comparison of the BOD POD with the four-compartment model in adult females. In *Med. Sci. Sports Exerc* (Vol. 33, Issue 9). <http://journals.lww.com/acsm-msse>

- Garg, M., & Kharb, S. (2013). Dual energy X-ray absorptiometry: Pitfalls in measurement and interpretation of bone mineral density. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, 17(2), 203. <https://doi.org/10.4103/2230-8210.109659>
- Gonzalez, M. C., Mehrnezhad, A., Razaviarab, N., Barbosa-Silva, T. G., & Heymsfield, S. B. (2021). Calf circumference: Cutoff values from the NHANES 1999-2006. *American Journal of Clinical Nutrition*, 113(6), 1679–1687. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqab029>
- Graybeal, A. J., Brandner, C. F., & Tinsley, G. M. (2022). Validity and reliability of a mobile digital imaging analysis trained by a four-compartment model. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*. <https://doi.org/10.1111/jhn.13113>
- 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*. <https://doi.org/10.1017/S0007114523000090>
- Graybeal, A. J., Brandner, C. F., Tinsley, G. M., Haynes, H., & Stavres, J. (2022). Associations between visceral adipose tissue estimates produced by near-infrared spectroscopy, mobile anthropometrics, and traditional body composition assessments and estimates derived from dual-energy x-ray absorptiometry. *British Journal of Nutrition*. <https://doi.org/10.1017/S0007114522003488>
- Heymsfield, S. B., Bourgeois, B., Ng, B. K., Sommer, M. J., Li, X., & Shepherd, J. A. (2018). Digital anthropometry: A critical review. *European Journal of Clinical Nutrition*, 72(5), 680–687. <https://doi.org/10.1038/s41430-018-0145-7>
- Heymsfield, S., Lohman, T., Wang, Z., & Going, S. (2005). *Human Body Composition* (2nd ed.).
- Jéquier, E., & Constant, F. (2010). Water as an essential nutrient: The physiological basis of hydration. In *European Journal of Clinical Nutrition* (Vol. 64, Issue 2, pp. 115–123). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2009.111>
- Jones, P. R. M., West, G. M., Harris, D. H., & Read, J. B. (1989). The loughborough anthropometric shadow scanner (LASS). *Endeavour*, 13(4), 162–168. [https://doi.org/10.1016/S0160-9327\(89\)80004-3](https://doi.org/10.1016/S0160-9327(89)80004-3)
- Krishan, K., & Vij, K. (2007). Diurnal Variation of Stature in Three Adults and One Child. *The Anthropologist*, 9(2), 113–117. <https://doi.org/10.1080/09720073.2007.11890987>

- Kyle, U. G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A. D., Deurenberg, P., Elia, M., Gómez, J. M., Heitmann, B. L., Kent-Smith, L., Melchior, J.-C., Pirllich, M., Scharfetter, H., Schols, A. M. W. J., & Pichard, C. (2004). Bioelectrical impedance analysis; part I: review of principles and methods. *Clinical Nutrition*, 23(5), 1226–1243. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.06.004>
- Matias, C. N., Santos, D. A., Júdice, P. B., Magalhães, J. P., Minderico, C. S., Fields, D. A., Lukaski, H. C., Sardinha, L. B., & Silva, A. M. (2016). Estimation of total body water and extracellular water with bioimpedance in athletes: A need for athlete-specific prediction models. *Clinical Nutrition*, 35(2), 468–474. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2015.03.013>
- Matsuzawa, Y., Nakamura, T., Shimomura, I., & Kotani, K. (1995). Visceral Fat Accumulation and Cardiovascular Disease. *Obesity Research*, 3(5 S), 645S-647S. <https://doi.org/10.1002/j.1550-8528.1995.tb00481.x>
- 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*, 117(4), 794–801. <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. In *Journal of Personalized Medicine* (Vol. 12, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/jpm12060906>
- Mocini, E., Cammarota, C., Frigerio, F., Muzzioli, L., Piciocchi, C., Lacalaprice, D., Buccolini, F., Donini, L. M., & Pinto, A. (2023). Digital Anthropometry: A Systematic Review on Precision, Reliability and Accuracy of Most Popular Existing Technologies. In *Nutrients* (Vol. 15, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nu15020302>
- Murray, B., & Rosenbloom, C. (2018). Fundamentals of glycogen metabolism for coaches and athletes. *Nutrition Reviews*, 76(4), 243–259. <https://doi.org/10.1093/NUTRIT/NUY001>
- Nordhamn, K., Södergren, E., Olsson, E., Karlström, B., Vessby, B., & Berglund, L. (2000). Reliability of anthropometric measurements in overweight and lean subjects: consequences for correlations between anthropometric and other variables. *International Journal of Obesity*, 24(5), 652–657. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801216>
- Report of the task group on reference man. (1979). *Annals of the ICRP*, 3(1–4), iii–iii. [https://doi.org/10.1016/0146-6453\(79\)90123-4](https://doi.org/10.1016/0146-6453(79)90123-4)

- Sardinha, L. B., Correia, I. R., Magalhães, J. P., Júdice, P. B., Silva, A. M., & Hetherington-Rauth, M. (2020). Development and validation of BIA prediction equations of upper and lower limb lean soft tissue in athletes. *European Journal of Clinical Nutrition*, 74(12), 1646–1652. <https://doi.org/10.1038/s41430-020-0666-8>
- Smith, B., McCarthy, C., Dechenaud, M. E., Wong, M. C., Shepherd, J., & Heymsfield, S. B. (2022). Anthropometric evaluation of a 3D scanning mobile application. *Obesity*, 30(6), 1181–1188. <https://doi.org/10.1002/oby.23434>
- Wang, Z. (1992). *HUMAN BODY COMPOSITION MODELS AND METHODOLOGY: THEORY AND EXPERIMENT*.
- 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<sup>2</sup>. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 69(5), 833–841. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ajcn/69.5.833>
- Wang, Z., Heshka, S., Wang, J., & Heymsfield, S. B. (2006). *Methodology and Mathematical Modeling Total Body Protein Mass: Validation of Total Body Potassium Prediction Model in Children and Adolescents*.
- Wang, Z., Shen, W., Kotler, D. P., Heshka, S., Wielopolski, L., Aloia, J. F., Nelson, M. E., Pierson, R. N., & Heymsfield, S. B. (2003). *Total body protein: a new cellular level mass and distribution prediction model 1-3*.
- Wang, Z., Zhu, S., Wang, J., Pierson, R. N., & Heymsfield, S. B. (2003). Whole-body skeletal muscle mass: development and validation of total-body potassium prediction models 1-3. In *Am J Clin Nutr* (Vol. 77).
- Warner, D. S., Bland, J. M., & Altman, D. G. (2012). CLASSIC PAPERS REVISITED Agreed Statistics Measurement Method Comparison Identifying a Problem. In *Anesthesiology* (Vol. 116, Issue 1). <http://pubs.asahq.org/anesthesiology/article-pdf/116/1/182/256631/0000542-201201000-00030.pdf>
- Withers, R. T., Laforgia, J., Pillans, R. K., Shipp, N. J., Chatterton, B. E., Schultz, C. G., & Leaney, F. (1998). Comparisons of two-, three-, and four-compartment models of body composition analysis in men and women. *Journal of Applied Physiology*, 85(1), 238–245. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.1.238>
- World Health Organization. (2011). *Waist circumference and waist-hip ratio : report of a WHO expert consultation, Geneva, 8-11 December 2008*. World Health Organization.

Yu, L., Liu, X., Leng, S., Kofler, J. M., Ramirez-Giraldo, J. C., Qu, M., Christner, J., Fletcher, J. G., & McCollough, C. H. (2009). Radiation dose reduction in computed tomography: techniques and future perspective. *Imaging in Medicine*, 1(1), 65–84.  
<https://doi.org/10.2217/iim.09.5>