

# Misure di densità corporea

II° TURNO B3 2011

Emiliano Bruni\*      Isotta Altomare\*      Adriano Barone\*  
Manfredo Bruni\*      Lorenzo Antico\*

29 marzo 2012

## Sommario

L'obiettivo dell'esperimento è quello di estrapolare la densità del corpo umano mediante la misurazione del peso e del volume di soggetti volontari. Mentre il primo parametro è stato ricavato direttamente tramite una bilancia, il secondo è stato ottenuto con due differenti metodologie: modellizzazione del corpo con le relative misure antropometriche e immersione del corpo in una vasca idrostatica. Le misure di volume eseguite con la prima metodologia hanno evidenziato una sovrastima della densità causata da un valore sottostimato del volume; la seconda modalità ha invece permesso di ricavare un valore della densità decisamente più preciso grazie alla migliore misura sul volume. È stata inoltre effettuata un'analisi statistica dei valori ricavati negli anni precedenti evidenziando la natura casuale degli errori sulle misurazioni, e dalla quale è emerso che tutti gli studenti, usando il metodo della modellizzazione, hanno ottenuto un valore del volume inferiore a quello reale, sovrastimando la densità.

*Keywords:* densità, corpo umano, volume, massa, modello

## 1 Introduzione al tirocinio generale

Scopo degli esperimenti descritti nel presente documento è il calcolo sperimentale della densità del corpo umano.

La densità è il rapporto tra la massa di un corpo e il suo volume[1] ossia si ha che

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{dove} \quad \begin{cases} m = \text{massa del corpo in Kg} \\ V = \text{volume del corpo in m}^3 \end{cases} \quad (1.1)$$

che esprime numericamente la concentrazione di massa nell'unità di volume.

Dato che tutte le misure eseguite saranno affette da errore, al valore di densità sopra calcolato, sarà associato un errore relativo che è dato, sulla base della teoria della propagazione degli errori, dalla formula:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta V}{V} \quad (1.2)$$

---

\*Università di Chieti - Facoltà di medicina - I° Anno - A.A. 2011/2012

## 2 MATERIALI E METODI

---

Dalla 1.1 si evince che tale calcolo deriva dalla conoscenza della massa e del volume del soggetto. Mentre la massa è facilmente calcolabile mediante l'uso delle classiche bilance, il calcolo del volume non è direttamente calcolabile.

Per trovare questo valore è necessario adoperare metodi alternativi. Le due metodologie usate nel tirocinio sono state la modellizzazione del corpo umano e l'immersione in vasca.

Come risultato ci si attende un valore prossimo alla densità dell'acqua ( $1000 \text{ Kg/m}^3$ ) poiché l'esperienza comune insegna che, in acqua, il corpo umano galleggia a polmoni pieni mentre affonda a polmoni vuoti.

## 2 Materiali e metodi

Per la realizzazione degli esperimenti ci si è avvalsi della collaborazione di due soggetti, uno di sesso maschile e uno di sesso femminile, identificati, nel rispetto della privacy, da due sigle: FOLA\_B3\_111024F e BEFI\_B3\_111026M . Per tali soggetti sono stati misurati i seguenti parametri generali:

ID soggetto	Altezza (cm)	Peso (Kg)
<b>FOLA_B3_111024F</b>	158,5 ± 0,5	55,2 ± 0,1
<b>BEFI_B3_111026M</b>	182,5 ± 0,5	70,1 ± 0,1

Tabella 2.1: Codifica dei soggetti dell'esperimento

### 2.1 Modellizzazione e misure antropometriche

#### 2.1.1 Strumenti di misura

- Antropometro largo (portata massima: 60 cm, sensibilità: 0,1 cm)
- Antropometro piccolo (portata massima: 15 cm, sensibilità: 0,1 cm)
- Fettuccia metrica (portata massima: 205 cm, sensibilità: 0,1 cm)
- Statimetro (portata massima: 200 cm, sensibilità: 0,5 cm)
- Bilancia (portata massima: 150 Kg, sensibilità: 0,1 Kg)
- Bollini adesivi
- Finger Circumference Gauge (portata massima: 15cm, sensibilità 0,1 cm)
- Pennarello rosso
- Computer con foglio di calcolo Microsoft Excel.

## 2 MATERIALI E METODI

---

### 2.1.2 Metodo di misura

La prima metodologia usata è quella di approssimare il corpo umano a solidi geometrici al fine di poterne agevolmente calcolare i volumi.

Per rendere le misure ripetibili sono stati identificati sul corpo dei punti di repere fissati poi con i bollini adesivi. Sulla cute del soggetto sono state inoltre tracciate delle circonferenze come riferimento per le misure nei distretti corporei più difficili da misurare.

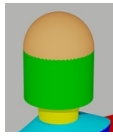

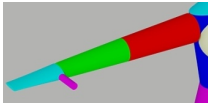

Si è proceduti alla creazione di un modello tridimensionale del soggetto basato su solidi geometrici regolari.

Il soggetto FOLA\_B3\_111024F è stato ricondotto alla somma di 27 solidi geometrici regolari.

Il soggetto BEFI\_B3\_111026M è stato ricondotto alla somma di 25 solidi geometrici regolari

La differenza tra i due modelli deriva dalla scelta di aggiungere, nel modello femminile, due calotte sferiche per rappresentare le due mammelle.

Per i distretti corporei sono stati usati i seguenti solidi geometrici:

	<p><b>Testa/Collo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calotta sferica</li> <li>• Cilindro a base circolare</li> <li>• Tronco di cono a base circolare</li> </ul>
	<p><b>Torace/Spalle/Bacino</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calotta sferica (x2) [Solo soggetto FOLA_B3_111024F ]</li> <li>• Tronco di cono a base ellittica (x3)</li> <li>• Cilindro a base ellittica</li> </ul>
	<p><b>Arti superiori</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tronco di cono a base circolare (x4)</li> <li>• Cilindro a base circolare (x2)</li> <li>• Tronco di cono a base ellittica (x2)</li> </ul>
	<p><b>Arti inferiori</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tronco di cono a base circolare (x8)</li> <li>• Parallelepipedo a base rettangolare (x2)</li> </ul>

Si è partiti dall'individuazione dei punti di repere sui soggetti in esame tramite l'impiego di bollini adesivi. Alcuni di questi punti sono stati utilizzati, insieme con altre linee prese arbitrariamente, per la suddivisione del corpo in solidi geometrici regolari.

In seguito si è proceduto alla misurazione diretta delle dimensioni di tali solidi utili per il calcolo del loro volume (altezze, lunghezze assi, circonferenze, ecc.).

Tali misure hanno comportato l'impiego di strumenti quali l'antropometro largo (torace e arti), l'antropometro piccolo (mani, piedi, ed altri distretti corporei di lunghezza minore), fettuccia metrica (circonferenza cranio, arti superiori ed inferiori).

## 2 MATERIALI E METODI

---

Per il pollice è stato utilizzato un Finger Circunference Gauge, mentre l'altezza totale (utile al fine di un controllo della somma delle altezze dei vari solidi) è stata misurata con uno statimetro.

Le misure così ottenute sono state riportate in un foglio di calcolo elettronico con i relativi errori. Tramite formulari preimpostati si è ricavato il volume di ogni solido. La loro somma restituisce una stima del volume del soggetto analizzato.

Il passo conclusivo è stato il computo della densità corporea, ottenuta mediante la formula 1.1.

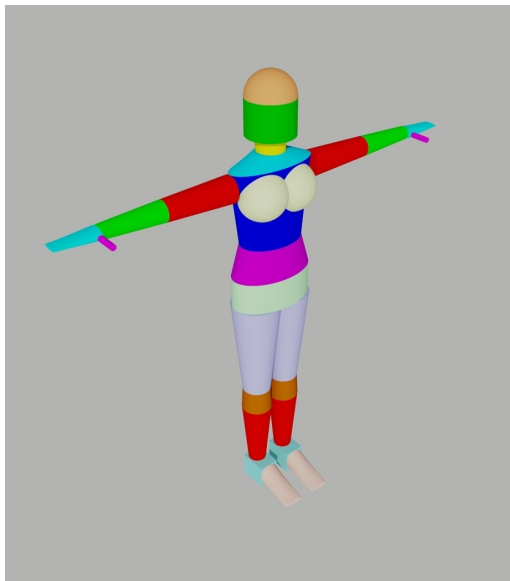


Figura 2.1: Rendering 3D del modello utilizzato

## 2.2 Vasca idrostatica

### 2.2.1 Strumenti di misura

- Calibro digitale (portata massima 15 cm, sensibilità 0,001 cm)
- Fettuccia metrica (portata massima 20 m, sensibilità 0,2 cm)
- Capillare metrico (sensibilità 0,1 cm)
- Bilancia (portata massima 150 Kg, sensibilità 0,1 Kg)
- Vasca per immersioni (capienza 500 l)
- Computer con foglio di calcolo Microsoft Excel.

### 3 RISULTATI

---

#### 2.2.2 Metodo di misura

Il secondo metodo consiste nell'immersione di un corpo in una vasca piena d'acqua per derivarne il volume.

Il primo passo è stato quello di misurare la circonferenza esterna e lo spessore della vasca in modo da poterne calcolare la circonferenza interna, e quindi il volume.

In seguito è stato allineato lo zero di una fettuccia metrica con l'altezza dell'acqua nel capillare metrico, che corrispondeva all'altezza dell'acqua all'interno della vasca (per il principio dei vasi comunicanti).



Figura 2.2: La vasca idrostatica utilizzata

L'immersione del soggetto nella vasca ha determinato una variazione del livello dell'acqua equivalente al volume del corpo in esame.

Una volta calcolato il volume del soggetto con polmoni a riposo, è stata apprezzata la variazione del livello dell'acqua dopo un'inspirazione forzata ed un'espirazione forzata del soggetto, e tramite la variazione del volume si è riusciti a derivarne la capacità polmonare.

Tale capacità è il risultato della differenza tra il volume a polmoni pieni ed il volume a polmoni vuoti.

## 3 Risultati

### 3.1 Modellizzazione e misure antropometriche

Nella tabella 3.1 sono evidenziate le misure antropometriche eseguite sul soggetto FOLA\_B3\_111024F dove, come nelle successive tabelle, si intende con

- c: la circonferenza della base del solido

3 *RISULTATI*

- h: la sua altezza
- c1: la circonferenza del cerchio minore (tronco di cono a base circolare)
- c12: la circonferenza del cerchio maggiore (tronco di cono a base circolare)
- a1, b1: rispettivamente l'asse minore e maggiore dell'ellisse maggiore (tronco di cono a base ellittica)
- a2, b2: rispettivamente l'asse minore e maggiore dell'ellisse minore (tronco di cono a base ellittica)
- a, b: rispettivamente l'asse minore e maggiore dell'ellisse (cilindro a base ellittica)

Regione	Modello Utilizzato	Grandezze Misurate	Valore (cm)	Errore (cm)
<b>TESTA</b>				
	Calotta sferica	c	54,0	0,2
		h	6,6	0,3
	cilindro	c	54	0,2
		h	12,5	0,3
<b>COLLO</b>				
	tronco di cono	c1	31	0,2
		c2	33,6	0,2
		h	5,2	0,3
	tronco di cono a base ellittica	a2	9,7	0,2
		b2	12,5	0,2
		h	4,4	0,3
		a1	13,8	0,2
		b1	32,9	0,2
<b>TORACE</b>				
	tronco di cono a base ellittica	a1	16,4	0,2
		b1	24	0,2
		a2	13,8	0,2
		b2	32,9	0,2
		h	27,6	0,3
	tronco di cono a base ellittica	a1	19,2	0,2
		b1	31,1	0,2
		a2	16,4	0,2
		b2	24	0,2
		h	11,8	0,3
	calotta sferica	d	13,2	0,2
		h	8,8	0,3
<b>BACINO</b>				
	cilindro a base ellittica	a	19,2	0,2
		b	31,1	0,2

Continua nella pagina successiva

3 *RISULTATI*

**Tabella 3.1 – continua dalla pagina precedente**

Regione	Modello Utilizzato	Grandezze Misurate	Valore (cm)	Errore (cm)
		h	11,5	0,3
<b>ANCHE</b>				
	tronco di cono	c2	57,3	0,2
		c1	33,1	0,2
		h	37,4	0,3
	tronco di cono	c2	33,1	0,2
		c1	35,8	0,2
		h	8,8	0,3
	tronco di cono	c2	35,8	0,2
		c1	21,3	0,2
		h	25,3	0,3
<b>BRACCIA</b>				
	tronco di cono a base circolare	c1	23	0,2
		c2	30	0,2
		h	25,2	0,3
	tronco di cono	h	21,9	0,3
		c2	23	0,2
		c1	15,6	0,2
<b>MANO</b>				
	tronco di cono	a	7,6	0,2
		b	3,9	0,2
		c	5,8	0,2
		d	1	0,2
		h	14,8	0,3
	cilindro	c	6,3	0,2
		h	7	0,3
<b>PIEDE</b>				
	parallelepipedo a base quadrata	h	8,8	0,3
		l	7,8	0,2
	tronco di cono a base ellittica	a1	8,8	0,2
		b1	7,8	0,2
		a2	1,6	0,2
		b2	7,8	0,2
		h	15	0,2

Tabella 3.1: Modellizzazione e misure antropometriche rilevate sul soggetto FOLA\_B3\_111024F

A fronte di queste misure sono stati calcolati i volumi dei solidi con cui è stato modellizzato il corpo:

3 *RISULTATI*

Regione	Modello Utilizzato	Volume (cm <sup>3</sup> )	Errore assoluto (cm <sup>3</sup> )	Errore Relativo (%)
TESTA	calotta sferica	2090	70	3%
	cilindro	2900	90	3%
COLLO	tronco di cono	430	30	7%
SPALLE	tronco di cono a base ellittica	930	90	10%
TORACE	tronco di cono a base ellittica	9180	290	3%
	tronco di cono a base ellittica	4560	200	4%
	calotta sferica	1920	160	8%
BACINO	cilindro a base ellittica	5390	230	4%
ANCHE	tronco di cono	12460	200	2%
	tronco di cono	1660	80	5%
	tronco di cono	3360	80	2%
BRACCIA	tronco di cono a base circolare	2840	80	3%
	tronco di cono	1252	46	4%
MANO	tronco di cono	376	52	14%
	cilindro	44,2	4,8	11%
PIEDE	parallelepipedo a base quadrata	1080	100	9%
	tronco di piramide	860	80	9%
<b>Volume totale</b>		<b>51332,2</b>	<b>1882,8</b>	<b>4%</b>

Tabella 3.2: Calcolo dei volume della modellazione del soggetto FOLA\_B3\_111024F

E quindi, sulla base del volume totale calcolato nella tabella 3.2, sulla base del peso del soggetto evidenziato nella tabella 2.1 e dalla formula 1.1 si ha che la densità del soggetto è risultata essere:

ID Soggetto	Densità (Kg/m <sup>3</sup> )
FOLA_B3_111024F	1080 ± 40

Tabella 3.3: Densità del soggetto FOLA\_B3\_111024F



3 *RISULTATI*

Per il soggetto BEFI.B3.111026M sono state eseguite invece le seguenti misure:

Regione	Modello Utilizzato	Grandezze Misurate	Valore (cm)	Errore (cm)
<b>TESTA</b>				
	Calotta sferica	c	56,7	0,2
		h	9,8	0,3
	cilindro	c	56,7	0,2
		h	10,8	0,3
<b>COLLO</b>				
	tronco di cono	c1	40,0	0,2
		c2	36,5	0,2
		h	7,3	0,3
	tronco di cono a base ellittica	a2	10,2	0,2
		b2	14,2	0,2
		h	8,6	0,3
		a1	14,6	0,2
		b1	35,0	0,2
<b>TORACE</b>				
	tronco di cono a base ellittica	a1	18,4	0,2
		b1	25,9	0,2
		a2	14,6	0,2
		b2	35,0	0,2
		h	31,1	0,3
	tronco di cono a base ellittica	a1	18,9	0,2
		b1	25,9	0,2
		a2	14,6	0,2
		b2	35,0	0,2
		h	31,1	0,3
<b>BACINO</b>				
	cilindro a base ellittica	a	18,9	0,2
		b	31,6	0,2
		h	11,1	0,3
<b>ANCHE</b>				
	tronco di cono	c2	57,0	0,2
		c1	33,0	0,2
		h	34,3	0,3
	tronco di cono	c2	33,0	0,2
		c1	38,0	0,2
		h	8,1	0,3
	tronco di cono	c2	38,0	0,2
		c1	24,0	0,2
		h	39,2	0,3
<b>BRACCIA</b>				

Continua nella pagina successiva

3 *RISULTATI***Tabella 3.4 – continua dalla pagina precedente**

Regione	Modello Utilizzato	Grandezze Misurate	Valore (cm)	Errore (cm)
	tronco di cono a base circolare			
		c1	25,9	0,2
		c2	43,4	0,2
		h	35,1	0,3
	tronco di cono			
		h	28,6	0,3
		c2	25,9	0,2
		c1	17,2	0,2
<b>MANO</b>				
	tronco di cono a base ellittica			
		a1	1,8	0,2
		b1	7,5	0,2
		a2	4,4	0,2
		b2	8,6	0,2
		h	20,6	0,3
	cilindro			
		c	7,4	0,2
		h	7,3	0,3
<b>PIEDE</b>				
	parallelepipedo a base quadrata			
		h	7,2	0,3
		a	6,5	0,2
		a	9,9	0,2
	tronco di cono			
		c1	21,0	0,2
		c2	26,2	0,2
		h	17,8	0,2

Tabella 3.4: Modellizzazione e misure antropometriche rilevate sul soggetto BEFI.B3\_111026M

A fronte di queste misure sono stati calcolati i volumi dei solidi con cui è stato modellizzato il corpo:

Regione	Modello Utilizzato	Volume (cm <sup>3</sup> )	Errore assoluto (cm <sup>3</sup> )	Errore Relativo (%)
TESTA	calotta sferica	1750	90	5%
	cilindro	2760	100	4%
COLLO	tronco di cono	850	40	5%
SPALLE	tronco di cono a base ellittica	2090	120	6%
TORACE	tronco di cono a base ellittica	12100	300	2%

Continua nella pagina successiva

3 *RISULTATI*

**Tabella 3.5 – continua dalla pagina precedente**

Regione	Modello Utilizzato	Volume (cm <sup>3</sup> )	Errore assoluto (cm <sup>3</sup> )	Errore Relativo (%)
BACINO	tronco di cono a base ellittica	7180	250	3%
	cilindro a base ellittica	5210	230	4%
ANCHE	tronco di cono	11400	200	2%
	tronco di cono	1620	80	5%
	tronco di cono	6100	120	2%
BRACCIA	tronco di cono a base circolare	6840	140	2%
	tronco di cono	2140	60	3%
MANO	tronco di cono a base ellittica	800	80	10%
	cilindro	64	6	9%
PIEDE	parallelepipedo	920	80	9%
	tronco di piramide	1584	44	3%
<b>Volume totale</b>		<b>1110</b>	<b>30</b>	<b>3%</b>

Tabella 3.5: Calcolo dei volume della modellazione del soggetto BEFI.B3\_111026M

E quindi, sulla base del volume totale calcolato nella tabella 3.5, sulla base del peso del soggetto evidenziato nella tabella 2.1 e dalla formula 1.1 si ha che la densità del soggetto è risultata essere:

ID Soggetto	Densità (Kg/m <sup>3</sup> )
BEFI.B3_111026M	1110 ± 30

Tabella 3.6: Densità del soggetto BEFI.B3\_111026M

## 3 RISULTATI

## 3.2 Vasca Idrostatica

Riguardo alle misure in vasca idrostatica dei volumi di acqua spostata dai due soggetti sono stati misurati i seguenti parametri:

	Grandezza	Errore	Densità (Kg/m <sup>3</sup> )	Errore (Kg/m <sup>3</sup> )
<b>ID: FOLA_B3_111024F</b>				
Peso (Kg)	55,2	0,1		
Volume a riposo (cm <sup>3</sup> )	54900	1600	1100	30
Volume a Polmoni Pieni (cm <sup>3</sup> )	56600	1600	1070	30
Volume a Polmoni Vuoti (cm <sup>3</sup> )	54100	1600	1110	30
Capacità Polmonare (cm <sup>3</sup> )	2500	3200		
<b>ID: BEFI_B3_111026M</b>				
Peso (Kg)	70,1	0,1		
Volume a riposo (cm <sup>3</sup> )	72600	1600	966	23
Volume a Polmoni Pieni (cm <sup>3</sup> )	73500	1700	954	23
Volume a Polmoni Vuoti (cm <sup>3</sup> )	68100	1600	1029	26
Capacità Polmonare (cm <sup>3</sup> )	5400	3300		

Tabella 3.7: Densità calcolata dei soggetti BEFI\_B3.111026M e FOLA\_B3.111024F in vasca idrostatica

### 3 RISULTATI

#### 3.3 Analisi del campione e della popolazione dei dati storici

Fatto questo si è andati ad analizzare il risultato ottenuto dal nostro gruppo con quello degli altri gruppi dello stesso turno. Il risultato relativo alle misure antropometriche è stato campionato e riportato in figura:

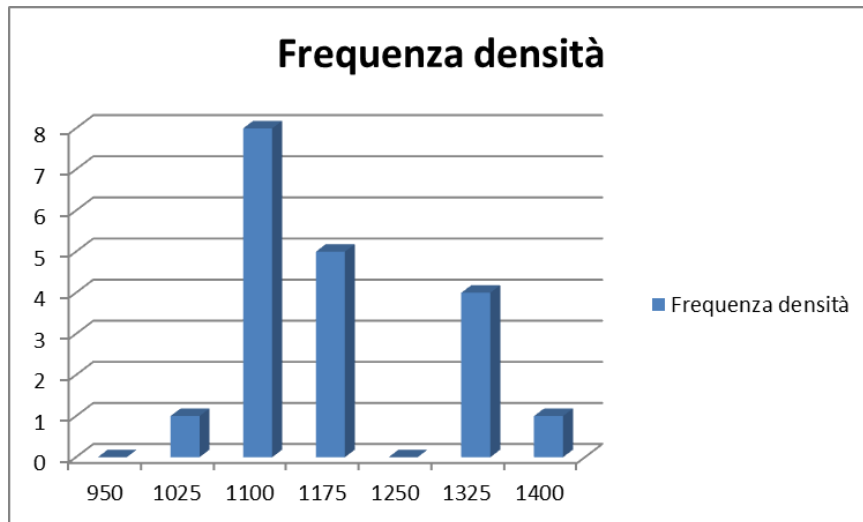


Figura 3.1: Analisi dei dati relativi al II° turno del tirocinio generale di fisica medica, A.A. 2011/2012

Su questo campione è stata effettuata un'analisi statistica per valutarne media, deviazione standard e percentili:

Media	Deviazione standard	68% <sub>ile</sub>	95% <sub>ile</sub>	99% <sub>ile</sub>
1135,992	99,09524	11 (57%)	18 (94%)	19 (100%)

Tabella 3.8: Analisi statistica del campione

#### 4 CONCLUSIONI

La stessa analisi è stata invece effettuata sulle rilevazioni storiche di identici esperimenti effettuati nell'arco temporale 2009/2011.

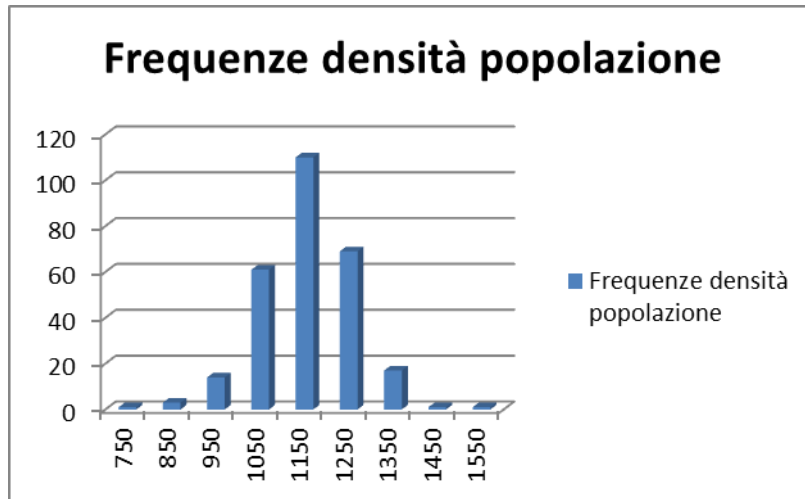


Figura 3.2: Analisi dei dati relativi all'arco temporale 2009/20112

Dall'analisi delle due figure si evince, come prevedibile, che il grafico di Figura 3.2 rispecchia maggiormente una curva gaussiana; ciò è dovuto al maggior numero di soggetti presi in esame.

Anche su questo campione è stata effettuata un'analisi statistica per valutarne media, deviazione standard e percentili

Media	Deviazione standard	68% <sub>ile</sub>	95% <sub>ile</sub>	99% <sub>ile</sub>
1101,414	102,5461	199 (72%)	265 (96%)	273 (99%)

Tabella 3.9: Analisi statistica della popolazione

Infine un confronto tra i due metodi impiegati per stimare la densità:

Metodologia	Densità (Kg/m³)	Deviazione standard
Misure antropometriche	1130	90
Immersione in vasca	997	26

Tabella 3.10: Confronto tra le due metodologie

## 4 Conclusioni

L'esperienza ha messo in luce le discrepanze tra le densità misurate tramite modellizzazione e la misura di-retta del volume con vasca idrostatica ove, ovviamente, la prima ha dato un valore molto più preciso rispetto alla seconda.

### *RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI*

---

Questa differenza è legata soprattutto alle procedure di individuazione dei solidi (spessore linea pennarello, difficoltà nel riconoscimento dei punti di repere, cambiamento della postura del soggetto), ma l'errore maggiore è dovuto proprio alla scomposizione del corpo in solidi geometrici, che nonostante l'elevato numero degli stessi, approssima soltanto la forma del corpo. Tale errore si ripercuote sul calcolo della densità (cfr. Tabella 3.10).

É possibile constatare che la densità ottenuta dalle misure antropometriche, anche considerando la deviazione standard, si discosta notevolmente dal valore in letteratura ( $\approx 985 \text{ Kg/m}^3$ )

L'analisi della capacità polmonare in vasca idrostatica non ha fornito valori attendibili in quanto l'errore sulla misura è paragonabile alla misura stessa. Si noti, nella tabella 3.7 che l'errore legato alla capacità polmonare è relativamente grande a causa della teoria della propagazione degli errori che afferma che in caso di differenza gli errori assoluti si sommano. Perciò, tale metodo non è il migliore per stimare la capacità polmonare di un individuo.

Dall'analisi dei dati del campione si evince altresì una non perfetta corrispondenza tra le frequenze e la curva gaussiana attesa dovuta al numero esiguo di elementi analizzati, corrispondenza che salta invece all'occhio nell'analisi della popolazione storica.

## **Riferimenti bibliografici**

- [1] Paolo Corazzon; Stefano Bertocchi, Fisica, Alpha Test, 1999. ISBN 88-483-0041-3