

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Biomedica

Tesi di Laurea Magistrale

**Valutazione biomeccanica del gesto  
sportivo nella pallanuoto in atlete  
semi-professioniste, pre e post  
allenamento specifico**



**Relatori:**

prof. Laura Gastaldi  
prof. Valentina Agostini

**Candidato:**

Francesca Patumi

A.A. 2017/2018



# *Indice*

1	Abstract .....	16
2	Introduzione.....	20
2.1	La Pallanuoto.....	20
2.1.1	Origini e cenni storici .....	20
2.1.2	Posizioni dei giocatori e tipologie di tiro .....	22
2.1.3	Le caratteristiche del campo .....	29
2.1.4	La partita.....	31
2.1.5	L'approccio biomeccanico.....	31
2.2	Stato dell'arte .....	34
3	Definizione del protocollo .....	40
3.1	Protocollo .....	42
4	Materiali e Metodi .....	54
4.1	Soggetti .....	54
4.2	Strumentazione.....	55
4.3	Descrizione dell'esecuzione dei gesti sportivi .....	63
4.4	Raccolta dei dati sperimentali.....	67
4.4.1	Calibrazione.....	68
4.4.2	Acquisizioni dei gesti sportivi .....	72
5	Elaborazione dati sperimentali.....	74
5.1	Elaborazione delle acquisizioni video .....	74
5.2	Elaborazione preliminare dei dati grezzi .....	84
5.2.1	Pre-elaborazione di velocità e accelerazione .....	85
5.2.2	Pre-elaborazione coseni direttori di velocità.....	94
5.2.3	Pre-elaborazione angolo di gomito e spalla .....	95
5.3	Elaborazione definitiva dei dati .....	96
5.3.1	Elaborazione di velocità e accelerazione .....	96
5.3.2	Elaborazione della potenza .....	98
5.3.3	Elaborazione del punteggio di precisione .....	99
5.3.4	Elaborazione dell'angolo di gomito e spalla.....	102
6	Risultati .....	104

6.1	Velocità ed accelerazione .....	104
6.1.1	Velocità .....	104
6.2	Accelerazione .....	114
6.3	Potenza .....	125
6.4	Punteggio di precisione .....	137
6.5	Velocità massima .....	142
6.6	Angolo di gomito.....	143
6.7	Angolo di spalla.....	144
6.8	Correlazione dell'angolo di gomito con la velocità massima e il punteggio di precisione .....	145
6.8.1	Correlazione dell'angolo di gomito con la velocità massima....	146
6.8.2	Correlazione dell'angolo di gomito con il punteggio di precisione	149
6.9	Correlazione dell'angolo di spalla con la velocità massima e il punteggio di precisione .....	150
6.9.1	Correlazione dell'angolo di spalla con la velocità massima.....	150
6.9.2	Correlazione dell'angolo di spalla con il punteggio di precisione	152
6.10	Correlazione della velocità massima con il punteggio di precisione	152
6.11	Correlazione della velocità di arrivo in porta con il punteggio di precisione	154
7	Discussioni .....	156
7.1	Velocità e accelerazione .....	156
7.1.1	Velocità .....	156
7.1.2	Accelerazione .....	157
7.2	Potenza .....	158
7.3	Punteggio di precisione .....	159
7.4	Velocità massima .....	160
7.5	Angolo di gomito.....	160
7.6	Angolo di spalla.....	161
7.7	Correlazione dell'angolo di gomito con velocità massima e punteggio di precisione .....	161

7.7.1	Correlazione tra angolo di gomito e velocità massima .....	161
7.7.2	Correlazione tra angolo di gomito e punteggio di precisione....	162
7.8	Correlazione dell'angolo di spalla con velocità massima e punteggio di precisione.....	162
7.8.1	Correlazione tra l'angolo di spalla e la velocità massima .....	162
7.8.2	Correlazione tra angolo di spalla e punteggio di precisione.....	163
7.9	Correlazione tra velocità massima e punteggio di precisione .....	163
7.10	Correlazione tra velocità di arrivo in porta e punteggio di precisione	164
8	Conclusioni.....	166
9	Appendice A.....	170
10	Bibliografia.....	192



## *Elenco Figure*

Figura 2.1 Posizioni in acqua dei giocatori in fase di attacco.....	23
Figura 2.2: Tiro classico [4].....	24
Figura 2.3 Tiro di rigore [4].....	25
Figura 2.4 Tiro a 'colonnello' [4].....	26
Figura 2.5 Tiro a 'beduina' [4].....	27
Figura 2.6 Schema del tiro 'sciarpa' [5].....	28
Figura 2.7 Rappresentazione del campo gara regolamentare [7].....	29
Figura 2.8 Porta regolamentare.....	30
Figura 3.1 Schema del tiro 1 (scala 1:50).....	43
Figura 3.2 Schema del tiro 2 e 3 (scala 1:50).....	43
Figura 3.3 Schema posizioni in schieramento di attacco.....	44
Figura 3.4 Esercizio di precisione in acqua.....	45
Figura 3.5 Posizione di affondo sagittale in cui eseguire l'esercizio.....	46
Figura 3.6 Esercizio di potenza in acqua.....	47
Figura 3.7 Schema delle zone di precisione.....	49
Figura 3.8 Angolo di gomito [8].....	50
Figura 3.9 Angolo di spalla [8].....	50
Figura 3.10 Rappresentazione del telo progettato.....	51
Figura 3.11 Foto del telo realizzato per l'esercizio di precisione.....	51
Figura 4.1 GoPro Hero 4 Silver e fissaggio su cavalletto.....	57
Figura 4.2 Porta regolamentare.....	57
Figura 4.3 Telo e palline per la calibrazione, vista frontale.....	58
Figura 4.4 Rilevazione delle distanze della porta dai bordi.....	59
Figura 4.5 Luce per sincronizzazione.....	60
Figura 4.6 Pallone da pallanuoto wp 4.....	60
Figura 4.7 Fasi del tiro di rigore.....	64
Figura 4.8 Fasi del tiro 'passaggio+tiro al volo'.....	65
Figura 4.9 Fasi del tiro 'passaggio+finta+tiro'.....	66
Figura 4.10 Vista dall'alto della posizione delle telecamere e della porta e dettaglio del sistema di riferimento globale (scala 1:100).....	68
Figura 4.11 Configurazione della porta per la calibrazione con 8 palline più una sul retro.....	70
Figura 4.12 Fissaggi della porta per mantenerla in posizione.....	71
Figura 5.1 Inquadratura video con distorsione fish-eye.....	74
Figura 5.2 Inquadratura del video senza fish-eye.....	75
Figura 5.3 Individuazione di tutti i punti di calibrazione nello spazio.....	76
Figura 5.4 Inserimento coordinate punti di calibrazione su SIMI° Motion.....	77
Figura 5.5 Verifica della calibrazione.....	78
Figura 5.6 Verifica della calibrazione.....	79
Figura 5.7 Rilevamento della misura di un palo per la verifica della calibrazione.....	80

Figura 5.8 Tracking della palla .....	82
Figura 5.9 Angolo di flessione del gomito [8] .....	83
Figura 5.10 Angolo di rotazione interna della spalla [8] .....	83
Figura 5.11 Tracking dell'arto superiore per estrapolazione degli angoli anatomici .....	84
Figura 5.12 Andamento velocità e accelerazione tiro IN.....	89
Figura 5.13 Andamento velocità e accelerazione tiro PALO/TRAVERSA....	89
Figura 5.14 Andamento velocità e accelerazione tiro OUT.....	90
Figura 5.15 Andamento velocità e accelerazione lungo y di un tiro IN .....	91
Figura 5.16 Andamento della traiettoria della palla lungo y e nel piano yz ....	91
Figura 5.17 Coseni direttori della velocità di un tiro IN.....	94
Figura 5.18 Zone di precisione.....	100
Figura 5.19 Rappresentazione grafica delle zone di precisione e della posizione della palla per un tiro.....	101
Figura 5.20 Angolo di gomito (a sinistra) e Angolo di spalla (a destra) .....	103
Figura 6.1 Diagramma a barre della velocità di stacco del tiro di rigore.....	107
Figura 6.2 Diagramma a barre per la velocità di stacco del tiro al volo .....	109
Figura 6.3 Diagramma a barre della velocità di stacco del tiro con finta.....	110
Figura 6.4 Diagramma a barre della velocità di arrivo del tiro di rigore .....	111
Figura 6.5 Diagramma a barre della velocità di arrivo del tiro al volo.....	113
Figura 6.6 Diagramma a barre della velocità di arrivo del tiro con finta.....	114
Figura 6.7 Diagramma a barre dell'accelerazione di stacco del tiro di rigore	118
Figura 6.8 Diagramma a barre dell'accelerazione di stacco del tiro al volo ..	119
Figura 6.9 Diagramma a barre dell'accelerazione allo stacco del tiro con finta .....	120
Figura 6.10 Diagramma a barre dell'accelerazione di arrivo del tiro di rigore .....	122
Figura 6.11 Diagramma a barre dell'accelerazione di arrivo del tiro al volo.	123
Figura 6.12 Diagramma a barre dell'accelerazione di arrivo del tiro con finta .....	124
Figura 6.13 Rappresentazione dell'outlier della potenza pre di stacco del tiro con finta.....	128
Figura 6.14 Diagramma a barre della potenza di stacco del tiro di rigore.....	129
Figura 6.15 Rappresentazione grafica dell'outlier della potenza pre di stacco nel tiro al volo .....	130
Figura 6.16 Diagramma a barre della potenza di stacco del tiro al volo .....	131
Figura 6.17 Rappresentazione grafica dell'outlier della potenza pre di stacco del tiro con finta .....	132
Figura 6.18 Diagramma a barre della potenza di stacco del tiro con finta ....	133
Figura 6.19 Diagramma a barre della potenza di arrivo del tiro di rigore .....	134
Figura 6.20 Diagramma a barre della potenza di arrivo del tiro al volo.....	135
Figura 6.21 Diagramma a barre della potenza di arrivo del tiro con finta.....	137

Figura 6.22 Diagramma a barre del punteggio di precisione pre e post del tiro di rigore .....	139
Figura 6.23 Diagramma a barre del punteggio di precisione del tiro al volo .....	141
Figura 6.24 Diagramma a barre del punteggio di precisione del tiro con finta .....	142
Figura 6.25 Scatter plot e correlazione fra angolo di gomito e velocità massima .....	147
Figura 6.26 Scatter plot e correlazione dell'angolo di spalla con velocità massima.....	151
Figura 9.1 Velocità e accelerazione lungo y per un tiro su palo/traversa .....	178
Figura 9.2 Velocità e accelerazione lungo y per un tiro out .....	178
Figura 9.3 Coseni direttori per un tiro su palo/traversa .....	179
Figura 9.4 Coseni direttori per un tiro out .....	180



## *Elenco Tabelle*

Tabella 2.1 Raccolta delle informazioni principali degli articoli citati .....	39
Tabella 4.1 Elenco soggetti e loro caratteristiche principali.....	55
Tabella 4.2 Breve riassunto di alcuni vantaggi e svantaggi delle telecamere..	56
Tabella 4.3 Impostazioni telecamere per acquisizioni.....	73
Tabella 5.1 Valori rilevati dei pali (a, c) e della traversa (b), media e std per un esempio di calibrazione.....	81
Tabella 5.2 Esempio per la velocità di stacco di $media \pm 1$ sulle singole componenti e in modulo.....	86
Tabella 5.3 Confronto valori istantanei e mediati della velocità .....	87
Tabella 5.4 Confronto valore istantaneo e valori mediati per tiri che entrano in porta.....	88
Tabella 5.5 Valori della velocità all'arrivo in porta per $media \pm 1$ .....	92
Tabella 5.6 Valori ricalcolati della velocità all'arrivo in porta .....	93
Tabella 5.7 Valori degli angoli per il tiro di rigore.....	95
Tabella 5.8 Valori di velocità media lungo y per il tiro di rigore, pre e post allenamento .....	97
Tabella 5.9 Valori di velocità massima media per il tiro di rigore, pre e post allenamento .....	98
Tabella 5.10 Valori di potenza media lungo y per il tiro di rigore, pre e post allenamento .....	99
Tabella 5.11 Valori del punteggio totale del tiro di rigore, pre e post allenamento .....	102
Tabella 5.12 Valori medi pre e post dell'angolo di gomito e di spalla per il tiro di rigore .....	103
Tabella 6.1 Statistica descrittiva della velocità pre e post all'istante di stacco dalla mano .....	105
Tabella 6.2 Risultato del t-test della velocità pre e post allo stacco dalla mano .....	105
Tabella 6.3 Statistica descrittiva della velocità pre e post all'istante di arrivo in porta.....	106
Tabella 6.4 Risultato del t-test su velocità pre e post all'arrivo in porta.....	106
Tabella 6.5 Statistica descrittiva della velocità pre e post del tiro di rigore..	107
Tabella 6.6 Risultato del t-test sulla velocità pre e post del tiro di rigore .....	107
Tabella 6.7 Statistica descrittiva della velocità pre e post del tiro al volo.....	108
Tabella 6.8 Risultato del t-test sulla velocità pre e post del tiro di rigore .....	108
Tabella 6.9 Statistica descrittiva della velocità pre e post del tiro con finta..	109
Tabella 6.10 Risultato del t-test sulla velocità pre e post del tiro con finta...	110
Tabella 6.11 Statistica descrittiva della velocità pre e post del tiro di rigore	111
Tabella 6.12 Risultato del t-test della velocità pre e post per il tiro di rigore	111
Tabella 6.13 Statistica descrittiva della velocità pre e post del tiro al volo...	112
Tabella 6.14 Risultato del t-test della velocità pre e post del tiro al volo.....	112

Tabella 6.15	Statistica descrittiva della velocità pre e post del tiro con finta	113
Tabella 6.16	Risultato del test di Wilcoxon della velocità pre e post del tiro con finta.....	114
Tabella 6.17	Statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post all'istante di stacco dalla mano .....	115
Tabella 6.18	Risultato del test di Wilcoxon dell'accelerazione pre e post allo stacco dalla mano .....	115
Tabella 6.19	Statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post all'arrivo .....	116
Tabella 6.20	Risultato del t-test sull'accelerazione pre e post all'arrivo .....	116
Tabella 6.21	Statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post del tiro di rigore .....	117
Tabella 6.22	Risultati del test di Wilcoxon dell'accelerazione pre e post del tiro di rigore .....	117
Tabella 6.23	Statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post del tiro al volo .....	118
Tabella 6.24	Risultato del test di Wilcoxon sull'accelerazione pre e post del tiro al volo .....	119
Tabella 6.25	Statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post del tiro con finta .....	120
Tabella 6.26	Risultato del t-test dell'accelerazione pre e post del tiro con finta .....	120
Tabella 6.27	Statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post del tiro di rigore .....	121
Tabella 6.28	Risultato del t-test sull'accelerazione pre e post del tiro di rigore .....	121
Tabella 6.29	Statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post del tiro al volo .....	122
Tabella 6.30	Risultato del t-test sull'accelerazione pre e post del tiro al volo .....	123
Tabella 6.31	Statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post del tiro con finta .....	124
Tabella 6.32	Risultato del t-test dell'accelerazione pre e post del tiro con finta .....	124
Tabella 6.33	Statistica descrittiva della potenza pre e post di stacco .....	125
Tabella 6.34	Risultato del test di Wilcoxon della potenza pre e post di stacco .....	126
Tabella 6.35	Statistica descrittiva della potenza pre e post di arrivo in porta	126
Tabella 6.36	Risultato del t-test sulla potenza pre e post di arrivo .....	126
Tabella 6.37	Statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro di rigore	127
Tabella 6.38	Risultato del test di Wilcoxon della potenza del tiro di rigore .	127
Tabella 6.39	Statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro al volo ...	129
Tabella 6.40	Risultati del test di Wilcoxon della potenza pre e post del tiro al volo.....	129

Tabella 6.41	Statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro con finta	131
Tabella 6.42	Risultato del t-test della potenza pre e post del tiro con finta...	132
Tabella 6.43	Statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro di rigore	133
Tabella 6.44	Risultato del t-test della potenza pre e post del tiro di rigore ...	134
Tabella 6.45	Statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro al volo ....	135
Tabella 6.46	Risultato del t-test della potenza pre e post del tiro al volo .....	135
Tabella 6.47	Statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro con finta	136
Tabella 6.48	Risultati del t-test sulla potenza pre e post del tiro con finta ....	136
Tabella 6.49	Statistica descrittiva del punteggio di precisione pre e post .....	138
Tabella 6.50	Risultato del t-test del punteggio di precisione pre e post .....	138
Tabella 6.51	Statistica descrittiva del punteggio di precisione pre e post del tiro di rigore .....	139
Tabella 6.52	Risultato dle t-test sul punteggio di precisione pre e post del tiro di rigore .....	139
Tabella 6.53	Statistica descrittiva del punteggio di precisione del tiro al volo .....	140
Tabella 6.54	Risultati del t-test del punteggio di precisione del tiro al volo .	140
Tabella 6.55	Statistica descrittiva del punteggio di precisione del tiro con finta .....	141
Tabella 6.56	Risultato del t-test sul punteggio di precisione del tiro con finta .....	142
Tabella 6.57	Statistica descrittiva della velocità massima pre e post .....	143
Tabella 6.58	Risultato del t-test sulla velocità massima pre e post .....	143
Tabella 6.59	Statistica descrittiva dell'angolo di gomito pre e post.....	144
Tabella 6.60	Risultato del t-test sull'angolo di gomito pre e post.....	144
Tabella 6.61	Statistica descrittiva dell'angolo di spalla pre e post.....	145
Tabella 6.62	Risultato del t-test sull'angolo di spalla pre e post.....	145
Tabella 6.63	Normalità di angolo di gomito, velocità massima e punteggio di precisione .....	146
Tabella 6.64	Risultato del test di correlazione di Spearman tra angolo di spalla e velocità massima .....	146
Tabella 6.65	Test di normalità dell'angolo di gomito e della velocità pre allenamento .....	148
Tabella 6.66	Risultato del test di correlazione di Spearman tra angolo di gomito e velocità massima nella fase pre .....	148
Tabella 6.67	Normalità di angolo di gomito e velocità massima post.....	148
Tabella 6.68	Risultato del test di correlazione di Pearson su angolo di gomito e velocità massima post .....	149
Tabella 6.69	Risultato del test di correlazione di Spearman di angolo di gomito e punteggio precisione.....	149
Tabella 6.70	Normalità di angolo di spalla, velocità massima e punteggio di precisione .....	150

Tabella 6.71 Risultato del test di correlazione di Spearman di angolo di spalla e velocità massima .....	151
Tabella 6.72 Risultato del test di correlazione di Spearman dell'angolo di spalla e punteggio di precisione .....	152
Tabella 6.73 Normalità del punteggio di precisione e della velocità massima .....	152
Tabella 6.74 Risultato del test di correlazione di Spearman di velocità massima e punteggio precisione.....	153
Tabella 6.75 Risultato del test di correlazione di Spearman di velocità massima e punteggio di precisione pre .....	153
Tabella 6.76 Risultato del test di correlazione di Spearman della velocità massima e del punteggio di precisione post.....	154
Tabella 6.77 Normalità della velocità di arrivo in porta e del punteggio di precisione .....	154
Tabella 6.78 Risultato del test di correlazione di Spearman di velocità di arrivo in porta e punteggio di precisione .....	155
Tabella 9.1 Valori dell'accelerazione di stacco dalla mano lungo le componenti e in valore assoluto per media $\pm$ 1 .....	170
Tabella 9.2 Valori della velocità di arrivo in porta lungo le componenti e in valore assoluto per media $\pm$ 1 .....	170
Tabella 9.3 Valori dell'accelerazione di arrivo in porta lungo le componenti e in valore assoluto per media $\pm$ 1 .....	171
Tabella 9.4 Valori della velocità di stacco dalla mano lungo tutte le componenti e in valore assoluto per media $\pm$ 3.....	171
Tabella 9.5 Valori dell'accelerazione di stacco dalla mano lungo le componenti e in valore assoluto per media $\pm$ 3.....	172
Tabella 9.6 Valori della velocità di arrivo in porta lungo le componenti e in valore assoluto per media $\pm$ 3.....	172
Tabella 9.7 Valori dell'accelerazione di arrivo in porta lungo le componenti e in valore assoluto per media $\pm$ 3 .....	173
Tabella 9.8 Valori della velocità di stacco dalla mano lungo le componenti e in valore assoluto per media $\pm$ 5.....	173
Tabella 9.9 Valori dell'accelerazione di stacco dalla mano lungo le componenti e in valore assoluto per media $\pm$ 5.....	174
Tabella 9.10 Valori della velocità di arrivo in porta lungo le componenti e in valore assoluto per media $\pm$ 5.....	174
Tabella 9.11 Valori dell'accelerazione di arrivo in porta lungo le componenti e in valore assoluto per media $\pm$ 5 .....	175
Tabella 9.12 Confronto tra il valore vero e i valori mediati dell'accelerazione di stacco dalla mano .....	175
Tabella 9.13 Confronto tra il valore vero e i valori mediati della velocità di arrivo in porta.....	176

Tabella 9.14 Confronto tra il valore vero e i valori mediati dell'accelerazione di arrivo in porta.....	176
Tabella 9.15 Confronto tra il valore vero e i valori mediati per tiri che non entrano in porta .....	177
Tabella 9.16 Confronto tra il valore vero e i valori mediati per tiri che colpiscono palo/traversa .....	177
Tabella 9.17 Velocità istante stacco mano pre e post per tiro al volo .....	181
Tabella 9.18 Velocità istante stacco mano pre e post per tiro con finta .....	181
Tabella 9.19 Velocità istante arrivo in porta pre e post per il tiro di rigore...	182
Tabella 9.20 Velocità di arrivo in porta pre e post per il tiro al volo.....	182
Tabella 9.21 Velocità di arrivo pre e post per il tiro con finta.....	183
Tabella 9.22 Accelerazione di stacco pre e post del tiro di rigore .....	183
Tabella 9.23 Accelerazione di stacco pre e post per il tiro al volo .....	184
Tabella 9.24 Accelerazione di stacco pre e post per il tiro con finta.....	184
Tabella 9.25 Accelerazione di arrivo pre e post per il tiro di rigore.....	185
Tabella 9.26 Accelerazione di arrivo pre e post per il tiro al volo.....	185
Tabella 9.27 Accelerazione di arrivo pre e post per il tiro con finta .....	186
Tabella 9.28 Velocità massima pre e post tiro al volo.....	186
Tabella 9.29 Velocità massima pre e post tiro con finta.....	187
Tabella 9.30 Potenza di stacco pre e post tiro al volo.....	187
Tabella 9.31 Potenza di stacco pre e post tiro con finta.....	188
Tabella 9.32 Potenza di arrivo pre e post tiro di rigore.....	188
Tabella 9.33 Potenza di arrivo pre e post tiro al volo .....	189
Tabella 9.34 Potenza di arrivo pre e post tiro con finta .....	189
Tabella 9.35 Punteggio precisione pre e post per il tiro al volo .....	190
Tabella 9.36 Punteggio di precisione pre e post per il tiro con finta .....	190
Tabella 9.37 Angolo di gomito e di spalla pre e post per il tiro al volo .....	191
Tabella 9.38 Angolo di gomito e di spalla pre e post per il tiro con finta .....	191



# *1 Abstract*

Per quanto riguarda lo studio del corpo umano e del movimento, la biomeccanica trova numerose applicazioni e differenti finalità di studio.

In questo lavoro si esegue uno studio biomeccanico sul gesto sportivo nella pallanuoto. Quest'ultima, nata come sport prettamente maschile ed incentrato sullo sviluppo di potenza, nel corso degli anni ha suscitato particolare interesse anche nel settore femminile. La tecnica maggiormente applicata in ambito pallanuotistico e che quindi principalmente caratterizza tale sport è quella del tiro in porta. Anche in letteratura è possibile constatare che negli ultimi anni il tiro in porta è risultato essere un aspetto di particolare interesse e di analisi. Gli studi affrontati, però, si concentrano unicamente sull'analisi delle prestazioni di squadre professioniste maschili. Sono state infatti identificate poche valutazioni del gesto sportivo su squadre femminili.

Lo scopo principale del presente lavoro consiste nel valutare e misurare un eventuale miglioramento delle prestazioni atletiche sulla base di parametri di potenza e precisione di tiro in soggetti appartenenti ad una squadra semi-professionista di pallanuoto femminile. In particolare, sono stati valutati tali parametri in una fase iniziale ed a seguito dell'integrazione dei programmi di allenamento con esercizi specifici, accordati ed implementati con l'allenatore.

Gli esercizi proposti sono due esercizi per il miglioramento della potenza e due per la precisione, in entrambi i casi uno viene svolto in acqua e uno a secco. L'allenamento specifico è durato un mese e mezzo.

Prima e dopo il mese e mezzo di allenamento sono state effettuate delle acquisizioni video di tre tipologie di tiro: tiro di rigore, passaggio e tiro al volo, passaggio più una finta e tiro. Sono state reclutate per lo studio 12 atlete. In seguito, soltanto i dati di 11 atlete sono stati analizzati poiché un'atleta non ha eseguito gli esercizi durante il periodo di training. Le acquisizioni sono state effettuate in piscina utilizzando due action camera GoPro Hero 4 Silver.

Tramite una fase di post elaborazione dei video, sono stati ricavati i valori di velocità e accelerazione, all'istante di stacco della palla dalla mano e all'istante di arrivo in porta, da cui poi è stata calcolata la potenza. Inoltre è stata valutata la precisione del tiro, individuando 4 zone di precisione a ciascuna delle quali è stato attribuito un punteggio. In aggiunta, con la principale finalità di verifica di un'eventuale relazione tra postura ed esito del tiro, è stata analizzata la correlazione dell'angolo di gomito e dell'angolo di spalla con la velocità e la precisione del tiro.

Il confronto tra la fase pre allenamento e la fase post allenamento è stato effettuato applicando il test statistico di confronto delle medie il t-test a parametri accoppiati (statistica parametrica) e il test di Wilcoxon (statistica non parametrica). Ciò che è emerso è che la potenza non ha subito dei cambiamenti apprezzabili, tra le due fasi è rimasta pressoché uguale sia all'istante di stacco dalla mano che all'arrivo in porta.

La precisione del tiro è migliorata nella fase post allenamento, si è passati da un punteggio di  $9.9 \pm 3.6$  a  $11.1 \pm 3$  (punteggio massimo:15), dimostrando che gli esercizi eseguiti per sviluppare questa abilità hanno avuto successo.

Inoltre, applicando il test di correlazione di Pearson (statistica parametrica) e il test di correlazione di Spearman (statistica non parametrica), è stata dimostrata l'esistenza di correlazione tra l'angolo di flessione del gomito e la massima velocità della palla e l'assenza di correlazione tra l'angolo di rotazione interna della spalla con la velocità massima della palla, risultati concordi con quelli di ricerche scientifiche precedenti. Infine, non è stata trovata correlazione dei due angoli anatomici dell'arto superiore con la precisione del tiro.

In futuro si consiglia di verificare se la precisione possa aumentare ulteriormente inserendo in aggiunta un esercizio che comprende l'utilizzo di un telo che copra per intero lo specchio della porta, munito di fori solo ai quattro angoli della porta e uno al centro nella parte superiore. In questo studio è stato progettato e realizzato il telo ma non è stato poi utilizzato per lo svolgimento dell'esercizio descritto.

Infine, potrebbe essere di forte interesse incrementare il numero di soggetti ed il numero delle acquisizioni nel corso del tempo, in modo da poter effettuare un'analisi statistica dei risultati più robusta. Il prolungamento della fase di training potrebbe rivelarsi cruciale nella valutazione di differenze e miglioramenti dei parametri.



## ***2 Introduzione***

### ***2.1 La Pallanuoto***

#### ***2.1.1 Origini e cenni storici***

La pallanuoto nasce nel XIX secolo in Inghilterra e Scozia. Nel 1870 è stata organizzata la prima partita ufficiale a Londra. Le regole formulate in tale occasione rendevano il gioco molto simile al rugby, poiché maggiormente incentrato sulla forza fisica e aggressività del giocatore, anziché sull'abilità atletica. Nel 1880 sono state introdotte delle nuove regole in Scozia che cercavano di rendere lo sport molto meno aggressivo e più simile a quello che conosciamo oggi [1].

Rispetto alla prima versione di regolamento, è stata introdotta sia una palla in gomma della dimensione di un pallone da calcio, sia le porte, chiamate arco, costituite da due pali e una cordicella superiore. Le squadre erano composte da sette giocatori, non si poteva più affrontare l'avversario se non aveva il possesso palla e il campo misurava fra 20 e 30 metri. Inizialmente la partita durava 20 minuti, ma nel 1900 si parla di due tempi 7 minuti. Infine, fu inserita una nuova regola che prevedeva il mantenimento di una posizione statica dei giocatori durante i falli [2].

Molte delle regole dichiarate agli inizi dello sviluppo del gioco permangono come concetti fondamentali dell'impostazione del gioco odierno. Alla fine del 1890 la pallanuoto è diventata molto popolare anche negli Stati Uniti. All'aumentare della sua popolarità aumentava anche la violenza del gioco favorita dal fatto che le acque delle piscine o dei laghi erano scarsamente filtrate per cui oscure, impedendo di vedere le azioni sotto la superficie [1].

Dopo la modifica delle regole da parte della Scozia, molti stati europei adottarono le stesse regole, a differenza degli stati americani, in cui l'aggressività fu mantenuta tra i principali protagonisti del gioco.

Diventando sempre più popolare sia in Europa che in America, nel 1900 diviene il primo sport Olimpico di squadra e nel 1911 la FINA (Federation International de Natation Amateur) adotta le regole della Scozia per le competizioni internazionali di pallanuoto. Solo nel 1914 gli Stati Uniti accettano le regole internazionali [1].

Inizialmente nato come uno sport prettamente maschile, solo nel 2000 ai Giochi Olimpici di Sydney per la prima volta la pallanuoto femminile viene inserita tra le discipline [1].

La pallanuoto in Italia compare per la prima volta nel 1899 a Milano, ma successivamente si accredita la nascita della specialità a Roma secondo quanto scritto da “Il Messaggero” il 23 giugno 1900. Bisogna aspettare il 20 settembre 1903 per assistere al primo torneo di pallanuoto che vede affrontarsi due squadre la Rari Nantes Roma e la Romana Nuoto. Il primo vero campionato si disputa nel 1912 a Napoli con la vittoria del Genoa sulla Partenope [2].

La prima esperienza ai giochi olimpici della nazionale Italiana è nel 1920 ad Anversa, poco positiva data la bassa temperatura dell’acqua e la conseguente sconfitta. Dopo il conflitto mondiale nel 1946 riprende l’attività nazionale e nel 1948 arriva la vittoria della prima medaglia d’oro alle Olimpiadi di Londra [2].

Nel 1950 ci sono dei cambi importanti nelle regole del gioco: viene consentito ai giocatori di muoversi dopo il fischio dell’arbitro, viene abolito il tiro diretto dai 4 metri dopo il fallo grave e la durata della partita diventa di 2 periodi da 10 minuti. Nel 1961 si passa a 4 periodi da 5 minuti e nel 1981 agli odierni 4 tempi da 7 minuti [2].

Dalla vittoria della medaglia d’oro di Londra nel 1948 all’argento ai Mondiali di Barcellona del 2003, la nazionale italiana di pallanuoto maschile ha collezionato diciannove podi tra Giochi Olimpici, campionati del Mondo e campionati d’Europa [2].

L’ultimo grande risultato del Settebello è la medaglia di bronzo alle Olimpiadi di Rio de Janeiro del 2016.

Nel 1985 per la prima volta si svolge il campionato femminile di pallanuoto in Italia. A livello internazionale la nazionale italiana femminile di pallanuoto raggiunge il primo grande risultato ai campionati d'Europa di Atene nel 1991 vincendo la medaglia di bronzo. Da questa prima grande vittoria fino all'argento vinto ai campionati d'Europa del 2006 a Belgrado le azzurre riescono a salire sul podio di una competizione internazionale ben dodici volte. Il gradino più alto del podio viene raggiunto nel 2004 alle Olimpiadi di Atene dove il Setterosa vince la medaglia d'oro [2].

L'ultima grande impresa è alle Olimpiadi di Rio de Janeiro del 2016, in cui il Setterosa sale sul secondo gradino del podio vincendo la medaglia d'argento.

### ***2.1.2 Posizioni dei giocatori e tipologie di tiro***

Ancora oggi il regolamento prevede che in un incontro di pallanuoto due squadre composte da sette giocatori in acqua, 1 portiere e 6 attaccanti, e altri sei giocatori al massimo in panchina si affrontino con l'obiettivo di effettuare il maggior numero di goal.

I giocatori possono ricoprire ruoli diversi in base alla loro posizione in acqua. Di seguito si riportano le posizioni in acqua simboleggiate dal numero tra parentesi e il ruolo corrispondente: portiere, centro boa (6), centrale che diventa in fase offensiva il difensore del centro boa (3), ali destra e sinistra (1 e 5) e attaccanti (2 e 4) (Figura 2.1).

Ogni atleta ha un ruolo specifico ma durante una partita è comune che si possano scambiare le posizioni, data la dinamicità del gioco.

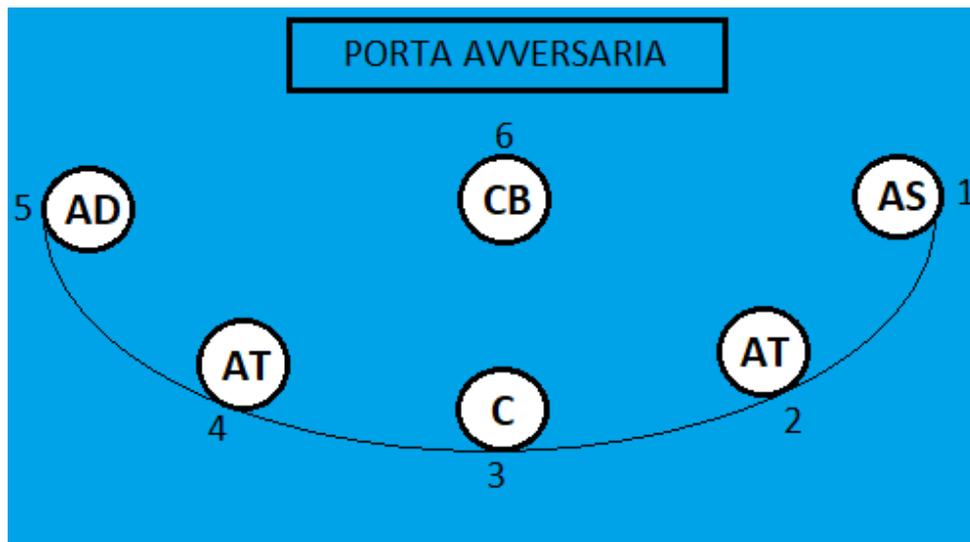


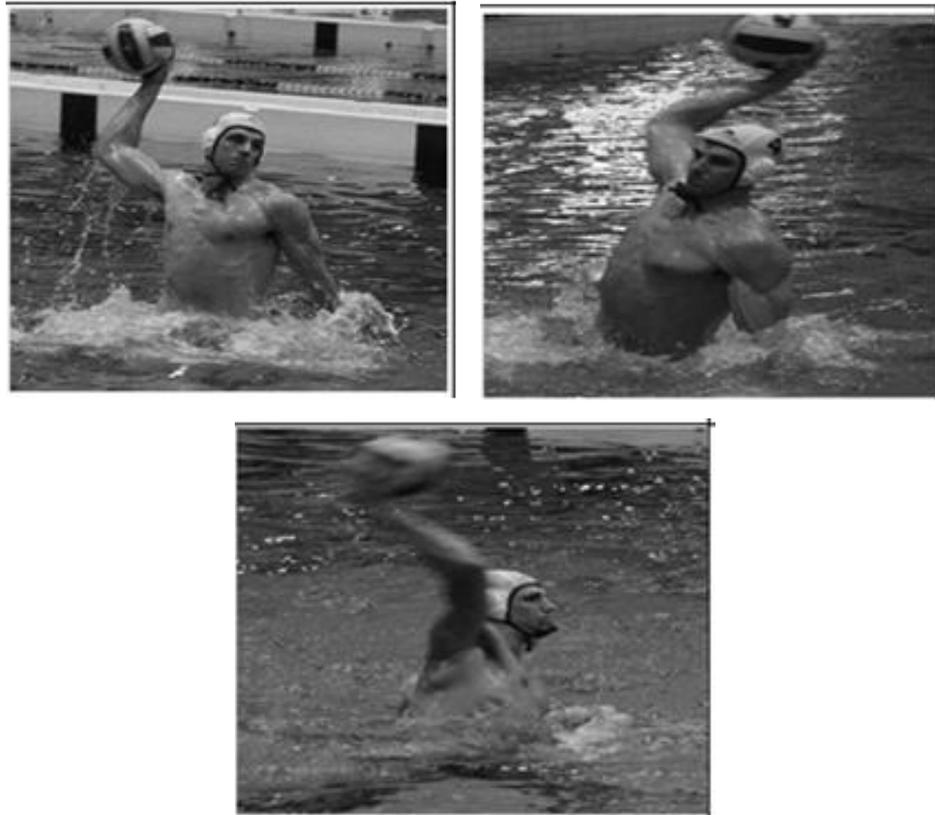
Figura 2.1 Posizioni in acqua dei giocatori in fase di attacco

In base al ruolo ricoperto in acqua ogni giocatore è più soggetto ad effettuare alcune tipologie di tiro piuttosto che altre. Ad esempio il centro boa generalmente esegue più spesso un tiro a ‘beduina’ o a ‘sciarpa’, piuttosto che un tiro a ‘colonnello’ o un tiro classico che sono più frequenti per i giocatori in posizione 2, 3 e 4.

Di seguito sono descritte le tipologie di tiro più comuni, si noti che la descrizione è valida per giocatori destrorsi. Per atleti mancini i movimenti con la palla vengono effettuati con il braccio sinistro mentre quelli di sostegno alla realizzazione del movimento vengono eseguiti con il braccio destro.

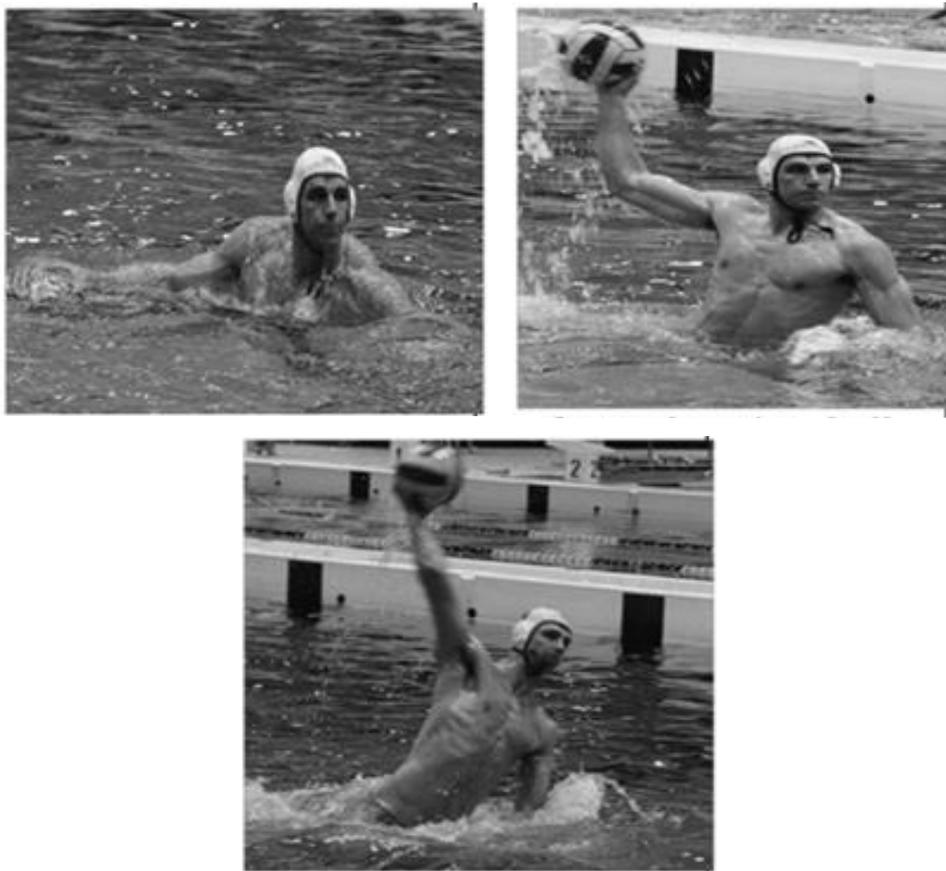
- Tiro classico (*overhead shot*): inizialmente la palla viene portata sopra la testa e indietro, ruotando il tronco lateralmente, in direzione opposta al tiro, e portando la spalla sinistra in avanti in direzione del tiro. Con il braccio destro viene eseguita la rotazione laterale della spalla e la supinazione dell’avambraccio, seguita dalla rotazione mediale della spalla e dalla pronazione dell’avambraccio, con conseguente estensione del gomito e flessione del polso. Le dita rimangono estese per accompagnare la palla e fornire la giusta spinta in fase di rilascio. Il braccio sinistro fornisce un appoggio continuo grazie al movimento oscillatorio della mano sull’acqua

che garantisce stabilità all'atleta e insieme al movimento delle gambe permette l'elevazione dalla superficie dell'acqua. (Figura 2.2) La massima rotazione laterale del tronco permette di portare il braccio destro nella posizione ottimale per produrre un tiro potente ed efficace [3].



*Figura 2.2: Tiro classico [4]*

- Tiro di rigore: il movimento è come quello effettuato per ‘overhead shot’. La principale differenza consiste nel fatto che per il tiro di rigore il giocatore si trova sulla linea dei 5 metri e parte da una posizione statica in cui mantiene la palla sulla superficie dell’acqua. Dopo il fischio da parte dell’arbitro, il movimento precedentemente descritto ha inizio e deve essere eseguito in maniera continua (Figura 2.3).



*Figura 2.3 Tiro di rigore [4]*

- Tiro a ‘colonnello’: il giocatore nuota verso la porta avversaria con la palla di fronte a sé. Giunto in prossimità della porta, il giocatore esegue le seguenti fasi di tiro: prende la palla, porta indietro il braccio ruotando leggermente il busto seppur mantenendo la posizione distesa del nuoto, e infine spinge nuovamente il braccio avanti, lanciando la palla in porta (Figura 2.4).



Figura 2.4 Tiro a ‘colonnello’ [4]

- Tiro a 'beduina': il giocatore si trova di schiena rispetto alla porta quando la palla arriva di fronte al giocatore. Questi la afferra e si porta in avanti con il busto. Di conseguenza il giocatore effettua una rotazione esterna del busto e della spalla, portando il braccio indietro. La palla segue una traiettoria curvilinea e viene rilasciata (Figura 2.5).



*Figura 2.5 Tiro a 'beduina' [4]*

- Tiro a ‘sciarpa’: viene chiamato così perché ricorda il movimento che viene fatto per indossare una sciarpa. Il giocatore si trova di schiena rispetto alla porta, riceve la palla di fronte e prende la palla effettuando una rotazione interna del busto e della spalla. Portando quindi il braccio destro verso sinistra e facendo leva con il braccio sinistro, il giocatore effettua una flessione del polso per indirizzare e lanciare la palla verso la porta (Figura 2.6).

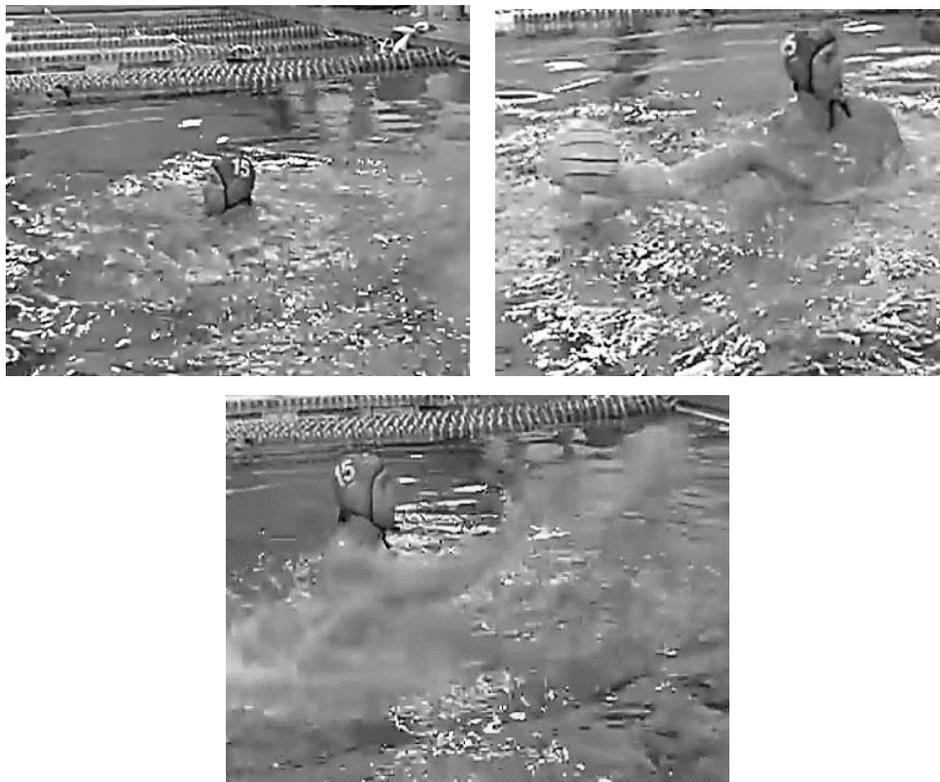


Figura 2.6 Schema del tiro 'sciarpata' [5]

### 2.1.3 Le caratteristiche del campo

Come da “Regolamento Generale Pallanuoto-stagione 2017/2018”, ogni categoria deve attenersi a ben precise regole sia in merito alle dimensioni dei campi gara (Figura 2.7) in cui vengono disputati gli incontri, sia all’attrezzatura utilizzata e alla composizione delle squadre. Nel caso specifico di Campionato Pallanuoto Femminile-Serie B, devono essere rispettate le seguenti peculiarità:

- il campo deve avere lunghezza di mt. 25, larghezza di mt. 16 e profondità minima di mt. 1.70 [6]
- possono essere utilizzati solo palloni arena *wp ball women* [6]

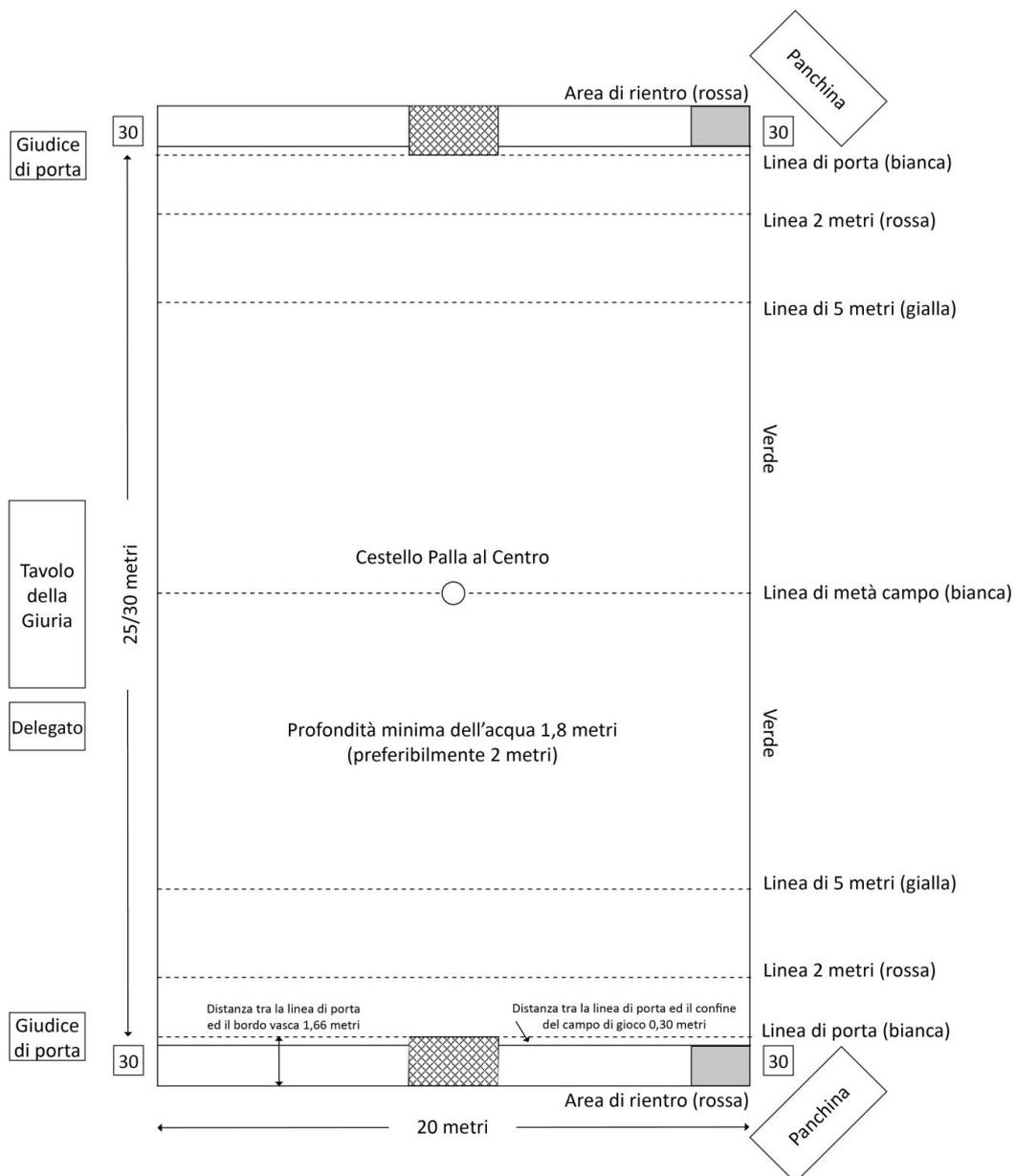


Figura 2.7 Rappresentazione del campo gara regolamentare [7]

Per le caratteristiche proprie della porta vi è un regolamento specifico. Di seguito vengono riportati gli articoli relativi alle principali norme che devono essere rispettate:

“Art. 2 – PORTE

Wp 2.1 - I montanti e la traversa della porta devono essere costruiti a sezione rettangolare, ciascuno della misura di 0,075 mt. (cm 7,5) di larghezza, e verniciati in tinta unita visibilissima di colore bianco. Le porte devono essere fissate sui limiti del campo di gioco ad eguale distanza dalle due linee laterali, ed alla distanza minima di mt. 0,30 da qualsiasi ostacolo.

Wp 2.2 - La larghezza delle porte è di mt. 3 misurati internamente tra i due montanti, la traversa o la sbarra trasversale deve essere a mt. 0,90 dal pelo dell’acqua quando la profondità di questa è di mt. 1,50 minimo, e di mt. 2,40 dal fondo quando la profondità dell’acqua è inferiore a mt. 1,50.

Wp. 2.3 - Le reti morbide, devono essere attaccate ai montanti ed alla traversa in modo da chiudere solidamente lo spazio della porta, lasciando tra la linea della porta e la rete di fondo una distanza minima regolamentare di mt. 0,30.  
[7]”

In Figura 2.8 viene riportata la porta regolamentare utilizzata in questo studio.



*Figura 2.8 Porta regolamentare*

### ***2.1.4 La partita***

La pallanuoto è uno sport estremamente impegnativo, che richiede uno notevole sforzo fisico prolungato. Durante un incontro gli atleti devono sostenere delle fasi alternate di nuoto ad intensità variabile tra lento e veloce, con degli scatti alla massima intensità, passare e tirare la palla e sostenere anche il contatto fisico con l'avversario.

Una partita di serie B femminile consiste in quattro tempi ognuno da 7 minuti di gioco effettivo [8]. Ogni squadra ha il possesso palla per 30 secondi, se entro tale tempo riesce ad effettuare un goal allora si fa ripartire il gioco dal centro campo con la palla in possesso della squadra che ha subito il punto. Se durante i 30 secondi la squadra in possesso palla non riesce a fare goal, allora avviene il cambio palla senza fermare il gioco.

Al termine di ogni quarto ci sono 2 minuti di pausa. Durante tutto l'incontro è concesso all'allenatore di ciascuna squadra di chiedere un time-out per ogni quarto, della durata di 1 minuto [8].

### ***2.1.5 L'approccio biomeccanico***

La biomeccanica è l'applicazione della meccanica ad un sistema biologico. È lo studio della resistenza strutturale e del funzionamento dei sistemi biologici. Ci sono diversi aspetti che vengono studiati dalla biomeccanica dato che il sistema di interesse è costituito sia da elementi fluidi che solidi. La biomeccanica dei solidi studia la cinematica e la dinamica della postura e del movimento, la meccanica dei tessuti rigidi e viscoelastici [9].

Per quanto riguarda lo studio del corpo umano e del movimento, la biomeccanica trova numerose applicazioni e differenti finalità di studio. L'obiettivo generale e condiviso dai vari campi di applicazione consiste nel valutare quantitativamente e qualitativamente parametri caratterizzanti un determinato movimento, patologia (ambito clinico), performance dell'atleta (biomeccanica dello sport), esercizio terapeutico (ambito riabilitativo), oppure

interazione con la tecnologia e la postazione di lavoro (ergonomia e ambito industriale).

Insieme all'interesse per lo studio del movimento umano sono state sviluppate delle tecnologie per la misura del movimento stesso. Per quanto riguarda le strumentazioni, le tecniche principali per l'analisi del movimento sono cinematografiche (fotografia, cineprese ad alta velocità, sistemi opto-elettronici), elettromiografiche (elettromiografia di superficie, elettromiografia ad ago, macro-emg) e dinamometriche (sensori di forza, pedane piezoelettriche o meccaniche, podobarografi) [9].

Nell'analisi biomeccanica dello sport applicata alla pallanuoto si studia l'influenza che possono avere le caratteristiche antropometriche, le variabili del moto ed i parametri fisiologici sulle performance atletiche del soggetto.

Le performance atletiche vengono analizzate sulla base della velocità del tiro e dell'elevazione verticale rispetto alla superficie dell'acqua, essendo fondamentali nella realizzazione dei goal durante gli incontri. Inoltre viene valutato spesso anche il movimento di bicicletta che viene effettuato costantemente con gli arti inferiori per garantire il galleggiamento e per permettere l'elevazione in acqua.

I parametri antropometrici maggiormente utilizzati sono l'altezza ed il peso del soggetto, la lunghezza degli arti superiori e degli arti inferiori, la percentuale di massa grassa e massa magra del corpo [10]. Le variabili cinematiche caratterizzanti la postura dell'atleta che risultano essere fondamentali nell'indagine sono gli angoli di gomito e di spalla, ma anche la rotazione del tronco [11]. Quest'ultima, in particolare, viene anche analizzata in termini di tempo di esecuzione. Infine, viene presa in considerazione anche la durata totale dell'azione di tiro. Il tempo totale di esecuzione del tiro viene suddiviso in più fasi, mettendo in evidenza il tempo in cui l'atleta tiene la palla, definito a partire dall'istante in cui la palla viene portata posteriormente fino all'istante di rilascio della stessa.

Tra i parametri fisiologici maggiormente analizzati e comunemente misurati vi sono il consumo di ossigeno e la quantità di lattato accumulato [12].

Le variabili antropometriche, cinematiche e fisiologiche vengono utilizzate come grandezze fisiche per la stima del movimento, in termini di resistenza dell'atleta, forza scambiata con la palla, potenza intesa come esplosività durante il salto a secco, velocità della palla [13].

Di forte interesse è anche l'analisi dell'attività muscolare. Viene eseguita un'analisi elettromiografica per indagare l'attività dei muscoli coinvolti nell'esecuzione del gesto sportivo sia degli arti inferiori, grazie ai quali si ottiene l'elevazione verticale dalla superficie dell'acqua, sia degli arti superiori, che sono coinvolti nell'esecuzione del tiro [14].

Un aspetto di grande interesse, come detto in precedenza, è il movimento bicicletta effettuato continuamente con gli arti inferiori. Questo movimento non viene analizzato solo dal punto di vista muscolare ma anche in termini di efficienza del movimento o in associazione con l'elevazione rispetto alla superficie dell'acqua [15] [16].

Tutti gli studi biomeccanici applicati all'ambito sportivo hanno come fine ultimo quello di analizzare il gesto da diversi punti di vista. La valutazione è utile a determinare le performance del soggetto, comprendere le differenze tra atleti di categorie diverse, fornire ai tecnici e preparatori atletici delle informazioni utili a programmare specifiche sessioni di allenamento.

Tutto ciò è volto a potenziare gli aspetti di maggiore interesse per migliorare e incrementare le prestazioni del singolo giocatore e della squadra.

Come è stato detto la performance atletica nella pallanuoto si basa principalmente sull'analisi del tiro.

Il tiro è sicuramente il gesto sportivo maggiormente effettuato dai giocatori. Ad esempio, durante i Campionati Europei Maschili di Pallanuoto del 2012 ad Eindhoven in cui hanno partecipato dodici squadre, sono stati eseguiti 2448 tiri

su un totale di 88 incontri con una media di tiri per squadra pari a  $27.8 \pm 2.6$  [17].

Essendo quella del tiro la tecnica maggiormente applicata è interessante capire come poter migliorare e perfezionare il movimento per renderlo più efficace. La velocità del tiro e l'analisi cinematica, specialmente per il tiro 'overhead shot', sono di notevole importanza nella pallanuoto. Per un allenatore la velocità con cui viene tirata la palla può essere un indice di valutazione dell'efficacia del tiro del giocatore in relazione al livello di competizione in cui lo stesso gioca [17].

Ricerche precedenti hanno riportato analisi biomeccaniche quantitative di diverse tecniche di tiro. È stato trovato che l'81% dei tiri nella pallanuoto sono 'overhead shot' [18], i quali permettono di ottenere la migliore velocità della palla e hanno un'accuratezza più elevata (67.3%) rispetto ad altri tiri come il tiro 'colonnello' o 'beduina' [19]. Il successo dei tiri di rigore è pari all'80.1% ed è emerso che incidono per il 20% sul risultato finale dell'incontro [20].

Data l'importanza del tiro e di conseguenza delle sessioni di allenamento dedicate allo sviluppo della forza muscolare e della potenza, analizzare la velocità del tiro e i dati cinematici permette agli allenatori di selezionare i giocatori, di pianificare e paragonare sessioni di allenamento mirate a migliorare le performance degli atleti [12] [17].

## ***2.2 Stato dell'arte***

Nella pallanuoto gli aspetti maggiormente analizzati sono la velocità del tiro e la massima elevazione raggiunta in acqua. Queste sono due abilità fondamentali per un giocatore di pallanuoto in quanto è generalmente accettato che la massima elevazione dall'acqua sia relazionata alla velocità del tiro che viene effettuato e alla capacità di opporsi ad un avversario per intercettare il tiro o il passaggio da esso effettuato.

In passato sono stati condotti diversi studi che analizzano questi due aspetti fondamentali sotto diversi punti di vista.

Nel 2004 T. Platanou ha valutato la presenza di correlazione tra il salto verticale in acqua e il salto a secco. Lo studio è stato condotto su 43 atleti maschi, 22 dei quali considerati di alto livello e 21 di livello inferiore. Per ciascuno di essi è stata registrata la massima elevazione rispetto alla superficie dell'acqua e la massima elevazione raggiunta rispetto al terreno effettuando un salto con un braccio disteso sopra la testa e l'altro disteso lungo il fianco. È stata valutata la correlazione tra i due salti ed è stato trovato un coefficiente di correlazione molto basso ( $r=0.25$ ) per cui è stato concluso che non ci fosse correlazione tra la capacità di elevazione in acqua e la potenza esplosiva degli arti inferiori. Platanou ha inoltre investigato se ci fossero delle differenze nel compiere i due salti, in base al ruolo ricoperto dagli atleti in acqua e al livello di competizione. È stata osservata una differenza apprezzabile per il salto verticale in acqua tra giocatori con ruoli diversi e di livello diverso [21].

Uno studio simile è stato fatto successivamente nel 2010 da L. McCluskey, è stata valutata la relazione tra la velocità del tiro e l'altezza del salto in acqua. In questo studio sono state considerate 22 atlete femmine professioniste ed è stato dimostrato che il picco della potenza degli arti inferiori è il fattore di predizione maggiormente significativo per la massima velocità di tiro. Le atlete con livelli più elevati di potenza degli arti inferiori, sono in grado di raggiungere un'elevazione maggiore rispetto alla superficie dell'acqua e effettuano i tiri con velocità della palla più alte [22].

T. Platanou ha inoltre ampliato l'analisi sulle due tecniche principali nella pallanuoto indagando la relazione tra le caratteristiche antropometriche e fisiologiche con la velocità del tiro e il salto verticale in acqua. I soggetti di questo studio sono 33 atlete femmine professioniste. Sono state misurate le caratteristiche antropometriche e la composizione corporea nonché alcuni parametri fisiologici (consumo di ossigeno, accumulo del lattato) e performance atletiche correlate (salto verticale a secco, la torsione dovuta alla rotazione dei muscoli della spalla). Inoltre sono state misurate le caratteristiche tecniche ovvero la velocità del tiro e il salto verticale in acqua. Ciò che è emerso da

questo studio è che la conoscenza degli aspetti fisiologici e antropometrici correlati con velocità del tiro e il salto in acqua possono aiutare i tecnici a sviluppare degli allenamenti efficaci [12].

Data la differenza delle abilità dei giocatori in base al ruolo ricoperto in acqua, come aveva riscontrato Platanou [21], G. Melchiorri nel 2011 ha effettuato uno studio su 53 atleti maschi professionisti per valutare alcuni parametri cinematici coinvolti nel gesto del tiro e cercare di estrapolare informazioni quantitative sul movimento del tiro in relazione al ruolo del giocatore. I parametri cinematici misurati in questo studio sono la velocità della palla all'istante di rilascio, l'angolo di estensione del gomito all'istante di rilascio, l'angolo di spalla inteso come l'angolo compreso tra il tronco e il braccio, il tempo impiegato per effettuare il tiro cioè dal momento in cui viene portata la palla indietro fino a quando non viene rilasciata, l'altezza della testa rispetto alla superficie dell'acqua e infine il tempo impiegato per compiere la rotazione del tronco. Non è stata trovata correlazione tra l'angolo di spalla e la velocità della palla e nemmeno tra l'angolo di gomito e la velocità della palla. A differenza di quanto trovato da McCluskey [22] in precedenza per atlete femmine professioniste, in questo caso non è stata trovata una relazione positiva tra la massima elevazione raggiunta rispetto alla superficie dell'acqua e la velocità della palla al rilascio. Per atleti maschi è stato notato invece che c'è una relazione positiva tra il tempo di rotazione del tronco e la velocità della palla [23].

Un altro aspetto importante che è stato valutato in precedenti studi è l'attività muscolare coinvolta nel gesto sportivo. Nel 2014 Yaghoubi ha analizzato dei parametri elettromiografici di alcuni muscoli della spalla e del braccio coinvolti nel tiro. Sono state analizzate diverse tipologie di tiro e ciò che è emerso è che i muscoli prossimali dell'arto superiore sono quelli che generalmente devono produrre maggiore forza durante il tiro, ma allo stesso tempo sono molto diversi tra una tipologia e l'altra [4].

Infine G. Melchiorri nel 2015 ha valutato nuovamente i parametri cinematici del suo precedente studio in relazione al gesto del tiro, però focalizzando

l'attenzione sulla ricerca delle differenze tra giocatori maschi di livelli diversi. Sono stati considerati 34 atleti maschi professionisti e 42 atleti maschi semi-professionisti e sono state studiate le differenze nella velocità del tiro e nelle variabili cinematiche tra le due categorie. Il risultato di questa indagine è stato che tra gli atleti delle due categorie ci sono delle differenze sulla velocità della palla al momento del rilascio, maggiore per gli atleti professionisti, e anche il valore dell'angolo di estensione del gomito è maggiore per gli atleti professionisti. Nelle squadre di élite il tempo di tiro è minore, come anche l'angolo di spalla è inferiore rispetto agli atleti semi-professionisti. L'elevazione rispetto alla superficie dell'acqua è maggiore per i giocatori professionisti. Per cui si può concludere che ci sono differenze nelle caratteristiche cinematiche tra atleti di categorie diverse [17].

Data l'esigua quantità di informazioni su giocatrici femmine professioniste ma soprattutto data l'evidente differenza tra atleti di categorie differenti, come dimostrato dagli studi riportati, si è ritenuto interessante fare una valutazione su atlete femmine semi-professioniste. Considerando l'importanza del tiro nella pallanuoto e delle caratteristiche cinematiche ad esso connesse, è stato rivolto l'interesse verso l'analisi della velocità e della potenza della palla nonché alla precisione dei tiri. Inoltre avendo riscontrato l'importanza dell'andamento di alcuni angoli anatomici rispetto all'esecuzione del tiro si è deciso di analizzare la correlazione con alcune variabili cinematiche.

Di seguito viene riportata una tabella in cui vengono raccolte le informazioni principali di ogni articolo citato (Tabella 2.1).

<b>AUTORE</b>	<b>ANNO</b>	<b>SOGGETTI</b>	<b>PARAMETRI</b>
Platanou T.	2004	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 22 atleti maschi professionisti</li> <li>- 21 atleti maschi semi-professionisti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Salto verticale in acqua (68.3±4.6 cm)</li> <li>- Salto verticale a secco (49.6±6.5 cm)</li> </ul>
McCluskey L. et all.	2010	22 atlete femmine professioniste	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Salto verticale in acqua (135±4 cm)</li> <li>- Salto verticale a secco (37.9±5.1 cm)</li> <li>- Misure antropometriche</li> <li>- Massima velocità della palla entro i primi 5 frame dall'istante di rilascio (mediana=15.3 m/s)</li> <li>- Altezza della testa all'istante di rilascio (0.466±0.077 m)</li> </ul>
Platanou T. et all.	2011	33 atlete femmine professioniste	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Misure antropometriche</li> <li>- Misure fisiologiche</li> <li>- Salto verticale a secco (30±7 cm)</li> <li>- Salto verticale in acqua (61.65±3.68 cm)</li> <li>- Velocità di tiro (15.54±0.71 m/s)</li> </ul>
Melchiorri G. et all.	2011	53 atleti maschi professionisti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Velocità di rilascio della palla (24.1±1.6 m/s)</li> <li>- Angolo di estensione del gomito (149.6±7.7°)</li> <li>- Tempo di tiro (151±27 ms)</li> <li>- Angolo di spalla (141.4±5.7°)</li> <li>- Altezza della testa (48±11 cm)</li> <li>- Tempo di rotazione del tronco (122.1±18.9 ms)</li> </ul>
Yaghoubi M. et all.	2014	12 atleti maschi professionisti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- RMS normalizzato dell'attività elettrica dei muscoli (ampiezza)</li> <li>- Durata dell'attività muscolare</li> </ul>

Melchiorri G. et all.	2015	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 34 atleti maschi professionisti (P)</li> <li>- 42 atleti maschi semi-professionisti(SP)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Velocità di rilascio della palla (P <math>22.8 \pm 2.4</math> m/s; SP <math>18.4 \pm 1.7</math> m/s)</li> <li>- Angolo di estensione del gomito (P <math>157.5 \pm 10.3^\circ</math>; SP <math>146.7 \pm 8.9^\circ</math>)</li> <li>- Tempo di tiro (P <math>165.6 \pm 22.2</math> ms; SP <math>188.6 \pm 23.9</math> ms)</li> <li>- Angolo di spalla (P <math>115.1 \pm 10.3^\circ</math>; SP <math>123.8 \pm 12.4^\circ</math>)</li> <li>- Altezza della testa (P <math>71.1 \pm 8.7</math> cm; SP <math>65.6 \pm 6.2</math> cm)</li> <li>- Tempo di rotazione del tronco (P <math>125.1 \pm 25.6</math> ms; SP <math>133.2 \pm 21.5</math> ms)</li> </ul>
--------------------------	------	---	---

*Tabella 2.1 Raccolta delle informazioni principali degli articoli citati*

### ***3 Definizione del protocollo***

La letteratura mostra che la maggior parte degli studi di ricerca atti ad analizzare le performance nella pallanuoto sono stati condotti su atleti maschi professionisti. Risultano piuttosto limitati gli studi su giocatrici professioniste e ancora più carenti quelli su atlete semi-professioniste.

Considerato l'aumento del numero di ragazze di tutte le età che si avvicinano alla pallanuoto, si ritiene interessante dal punto di vista della preparazione atletica avere dei parametri di riferimento per gli allenatori che possano essere utilizzati nella programmazione delle sessioni di allenamento.

Per ogni livello di competizione è importante che le atlete arrivino ad affrontare il campionato nella migliore condizione fisica possibile. Affinché ciò sia realizzabile nella fase di preparazione, è necessario sviluppare e migliorare le abilità delle singole atlete in relazione alla loro età e alla categoria in cui si andranno a misurare.

Data la carenza di dati su performance pallanuotistiche in atlete semi-professioniste, si è ritenuto interessante verificare se anche in questa categoria sia possibile ricavare delle informazioni utili al potenziamento del gesto sportivo.

Nello specifico ci si è rivolti a I.C., tecnico della squadra femminile di pallanuoto Aquatica di Torino la quale ha partecipato al campionato di serie B femminile nella stagione 2016-2017, raggiungendo il secondo posto in classifica e partecipando allo spareggio per la partecipazione ai play-off della suddetta stagione.

È stato chiesto quali potessero essere i dati interessanti per valutare e migliorare la prestazione delle atlete. È stata focalizzata l'attenzione sulla tecnica del tiro, fondamentale nella pallanuoto. In particolare, si è andati a valutare tre tipologie di tiro che si presentano spesso durante un incontro. Tali tipologie prevedono

tutte il movimento compiuto per il tiro '*overhead shot*' ma si realizzano in maniera differente.

È emerso dal confronto con il tecnico della squadra che potesse essere interessante ai fini del miglioramento della prestazione sportiva verificare se, inserendo degli esercizi specifici da integrare nei programmi di allenamento già in atto, potessero migliorare le caratteristiche di potenza e precisione di tali tiri.

La scelta degli esercizi da eseguire è stata effettuata sulla base di indicazioni ricevute dal tecnico della squadra e di consigli tecnici del preparatore atletico della nazionale italiana femminile di pallanuoto S.C..

Successivamente svolgendo delle ricerche in letteratura è emerso che in numerosi sport, in cui il tiro è il gesto maggiormente eseguito e di fondamentale importanza, è stata analizzata la correlazione tra la velocità massima del tiro e alcuni angoli anatomici.

Oltre al baseball e alla pallamano anche la pallanuoto rientra in questi sport. Per cui è stata impostata anche un'analisi per verificare l'eventuale correlazione dell'angolo di gomito e dell'angolo di spalla con la massima velocità del tiro e il punteggio di precisione per ogni tipologia di tiro per ogni atleta. In questo caso non sono stati definiti degli esercizi per il potenziamento di questo aspetto perché l'obiettivo è stato di indagare la reale esistenza di tale correlazione.

Di seguito viene descritto in dettaglio il protocollo specifico che è stato applicato per tale studio.

### ***3.1 Protocollo***

**INTRODUZIONE:** lo studio sperimentale si propone di valutare gli effetti dell'inserimento di esercizi specifici in fase di allenamento, in termini di miglioramento di potenza e precisione dei tiri in porta delle atlete. Inoltre si propone di verificare la presenza di correlazione dell'angolo di gomito e di spalla con la velocità massima del tiro e con il punteggio di precisione.

**SOGGETTI:** 11 atlete della squadra femminile di pallanuoto Aquatica, iscritta al campionato di serie B femminile nella stagione 2016-2017. Le atlete hanno tutte almeno due anni di esperienza, 10 sono destre ed 1 è mancina (età  $22\pm 4$  anni; peso  $63.5\pm 5.2$  kg; altezza  $169.1\pm 3.6$  cm)

**TIPOLOGIE DI TIRO:** vengono eseguite tre differenti tipologie di tiro

- 1) Tiro di rigore
- 2) passaggio + tiro al volo
- 3) passaggio + finta + tiro

Di seguito si riporta uno schema del tiro di rigore (Figura 3.1) e dei tiri 'passaggio + tiro al volo' e 'passaggio + finta + tiro' (Figura 3.2) in cui si specificano le posizioni dei soggetti in acqua rispetto alla porta e le distanze.

Nei capitoli successivi si riporta una descrizione più dettagliata del gesto compiuto per eseguire ogni singolo tiro.

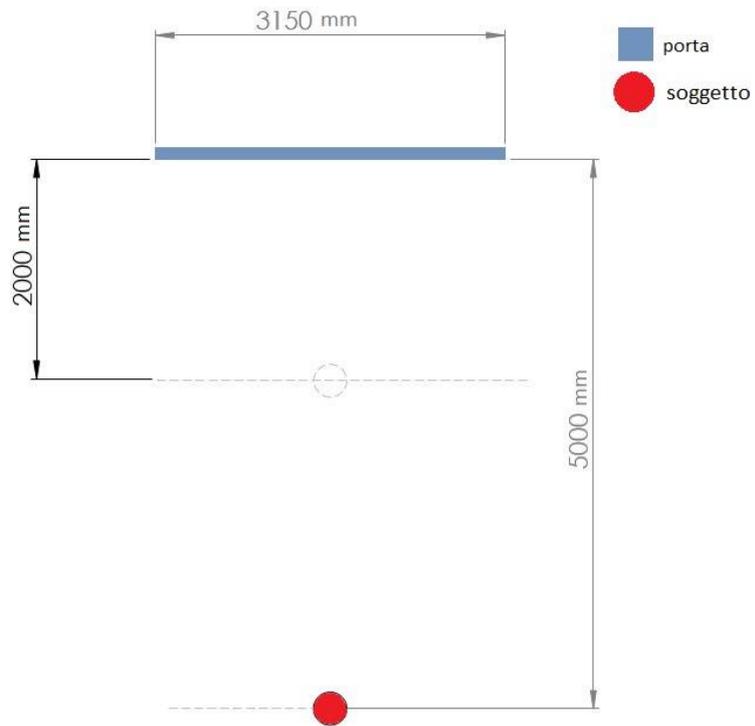


Figura 3.1 Schema del tiro 1 (scala 1:50)

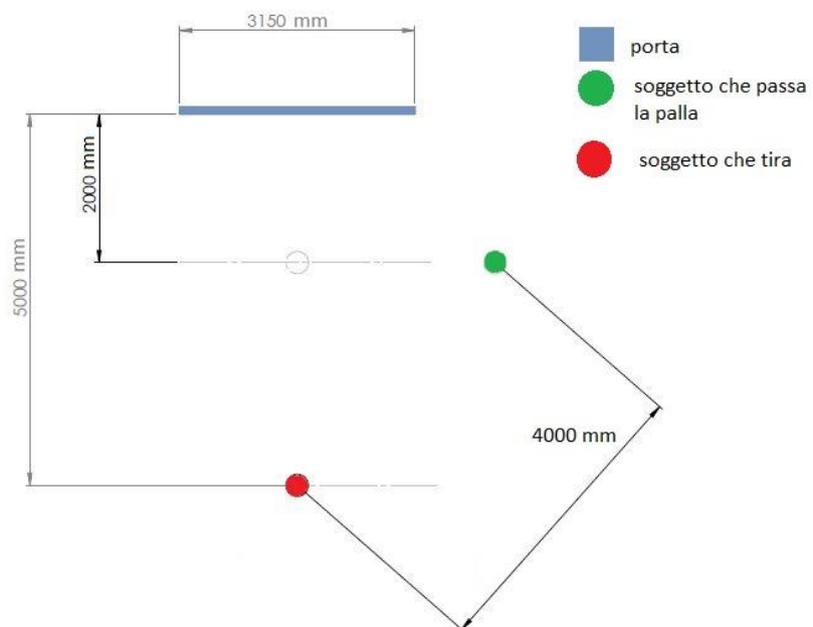


Figura 3.2 Schema del tiro 2 e 3 (scala 1:50)

## SVOLGIMENTO:

### ➤ FASE 1: fase di pre-allenamento

Prima che vengano inseriti gli esercizi specifici in allenamento, si prevede di effettuare delle acquisizioni in piscina di 3 tipologie di tiro su tutte le atlete. In questo modo si ha la possibilità di valutare i parametri di potenza e precisione di tiro in una fase di pre training.

Tutte le atlete devono effettuare le tre tipologie di tiro a porta vuota, dalla distanza di 5m in posizione 3 (Figura 3.3), ripetendo ogni tiro 3 volte.

In questa fase si prevede di estrapolare inoltre il valore dell'angolo di gomito e di spalla all'istante di stacco dalla mano della palla, di ogni tentativo per ogni tiro per tutti i soggetti.

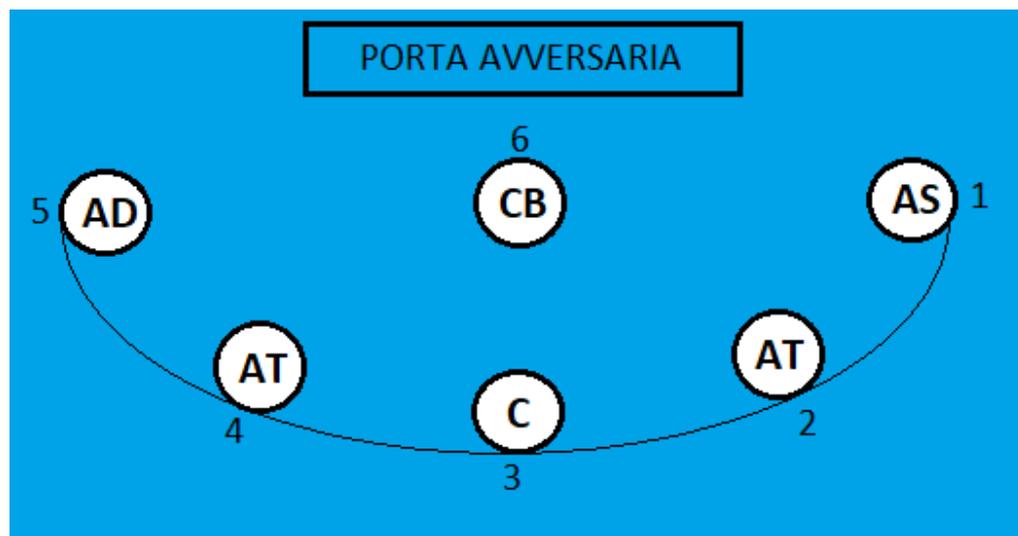


Figura 3.3 Schema posizioni in schieramento di attacco

Per evitare che la fatica possa inficiare sulle prestazioni dell'atleta, i tiri sono eseguiti a rotazione. Tutte le atlete effettuano come primo step il tiro 1; quando tutte le partecipanti hanno eseguito il tiro 1, si procede con il tiro 2 e successivamente con il tiro 3.

Per i tiri 2 e 3 è necessario formare delle coppie, che devono rimanere fisse per tutte le acquisizioni, in quanto deve essere effettuato un passaggio. L'atleta che

effettua il passaggio si posiziona sulla linea dei 2 metri in posizione 1 per le atlete destre e in posizione 5 per l'atleta mancina.

➤ FASE 2: fase di allenamento

Gli allenamenti giornalieri sono integrati con esercizi specifici volti a migliorare potenza e precisione dei tiri.

La frequenza di esecuzione è:

- 2 giorni a settimana sono eseguiti esercizi di precisione
- 2 giorni a settimana sono eseguiti esercizi di potenza

ESERCIZI di PRECISIONE:

I. In acqua

Le atlete devono tirare in porta eseguendo tiri a loro piacere, in presenza del portiere. I tiri in porta possono essere eseguiti singolarmente, ad esempio esercizi in cui la singola atleta deve compiere un breve scatto a nuoto con la palla seguito da un tiro in porta, oppure possono essere eseguiti in gruppo con le atlete disposte in schieramento (Figura 3.4).



*Figura 3.4 Esercizio di precisione in acqua*

## II. A secco

L'atleta in posizione di affondo sagittale, con il ginocchio completamente appoggiato a terra (Figura 3.5), deve eseguire dei palleggi contro il muro ad una distanza di 1.5 metri con una palla normale, cercando di colpire un bersaglio posto sul muro circa all'altezza della mano distesa sopra la testa.



*Figura 3.5 Posizione di affondo sagittale in cui eseguire l'esercizio*

## ESERCIZI di POTENZA:

### I. In acqua

Le atlete devono palleggiare in gruppo con una palla medica del peso di 1 kg (Figura 3.6).



*Figura 3.6 Esercizio di potenza in acqua*

## II. A secco

L'atleta in posizione di affondo sagittale, con il ginocchio completamente appoggiato a terra (Figura 3.5), deve eseguire dei palleggi contro il muro ad una distanza di 1.5 metri con una palla medica del peso di 1 kg, cercando di colpire un bersaglio posto sul muro circa all'altezza della mano distesa sopra la testa.

### ➤ FASE 3: fase post-allenamento

Al termine del periodo di circa un mese di allenamento integrato con gli esercizi richiesti, vengono ripetute le acquisizioni dei tiri per tutte le atlete nelle stesse modalità con cui sono state effettuate nella fase 1. Si scartano le atlete che non eseguono la fase 2 per almeno  $\frac{3}{4}$  della sua durata.

**OBIETTIVO:** L'obiettivo principale dello studio consiste nel quantificare le prestazioni e le performance dell'atleta in termini di potenza e precisione, valutandone un possibile miglioramento tra la fase pre-allenamento e quella post-allenamento.

Dalle acquisizioni, tramite elaborazione dei dati, si ottengono accelerazione, velocità e traiettoria della palla di tutti le tipologie di tiro per ogni ripetizione per ogni soggetto.

La potenza di tiro si ottiene con modello matematico semplificato dalla formula fisica

$$P = F \cdot v$$

Dove:

- $F = m \cdot a$  per la II legge di Newton
- $m$  massa nota della palla
- $a$  accelerazione della palla
- $v$  velocità della palla

Nell'elaborazione dei dati si considera sia la potenza all'istante di stacco della palla dalla mano che all'istante di arrivo in porta.

La precisione viene valutata individuando diverse aree di tiro e attribuendo ad ognuna un diverso punteggio. Il metodo finale di valutazione della precisione utilizzato in questo studio è una rielaborazione di quello trovato in letteratura utilizzato da Yaghoubi et al [5].

Sono state determinate 4 zone di precisione, rispettivamente dalla più precisa alla meno precisa, sono:

- Zona 1: area dello specchio di porta di spessore 0.5 m dai pali e 0.3 m dalla traversa, punteggio pari a 5
- Zona 2: pali o traversa, punteggio pari a 3
- Zona 3: area centrale dello specchio di porta, punteggio pari a 1
- Zona 4: fuori dalla porta, punteggio pari a 0

In Figura 3.7 è possibile osservare una rappresentazione grafica delle zone di precisione.

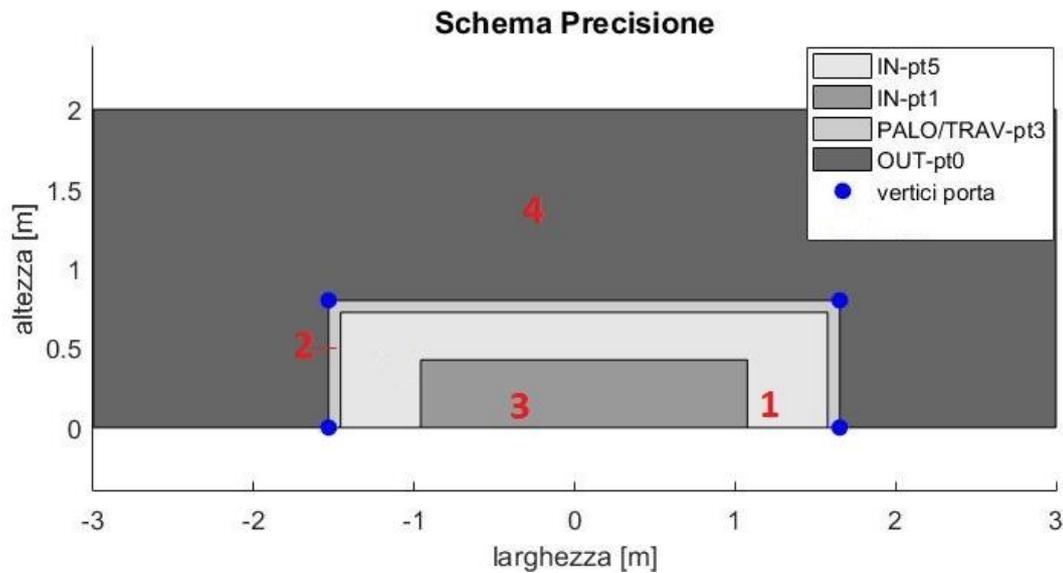


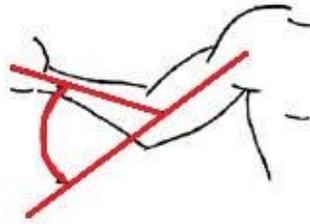
Figura 3.7 Schema delle zone di precisione

Il punteggio di precisione è maggiore per tiri che colpiscono palo o traversa rispetto ai tiri che entrano in porta nel perimetro più centrale in quanto è stato esplicitamente richiesto ai soggetti di tirare nella zona 1, quindi rimanendo coerenti con la richiesta fatta si ritiene più preciso un tiro su palo e traversa, zone più vicine al perimetro desiderato, che non tiri al centro della porta tanto più che le acquisizioni vengo effettuate senza portiere.

Per valutare se ci siano stati miglioramenti si effettua un confronto tra i dati pre- e post- allenamento sia intra soggetto che inter soggetto, valutandone i valori di andamento medio, deviazione standard ed una possibile significatività statistica tra i due gruppi.

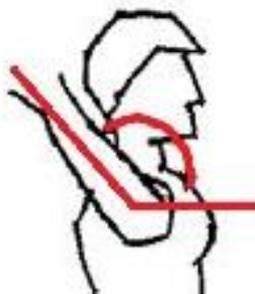
Inoltre si vuole valutare la presenza della correlazione degli angoli di gomito e spalla con la massima velocità del tiro e del punteggio di precisione.

L'angolo di gomito è inteso come l'angolo formato dall'asse passante per la spalla e il gomito e l'asse passante per il gomito e il polso, definisce la flessione del gomito (Figura 3.8).



*Figura 3.8 Angolo di gomito [8]*

L'angolo di spalla è inteso come l'angolo compreso tra il piano spalla-gomito-polso e il piano orizzontale, definisce la rotazione interna o esterna della spalla (Figura 3.9).



*Figura 3.9 Angolo di spalla [8]*

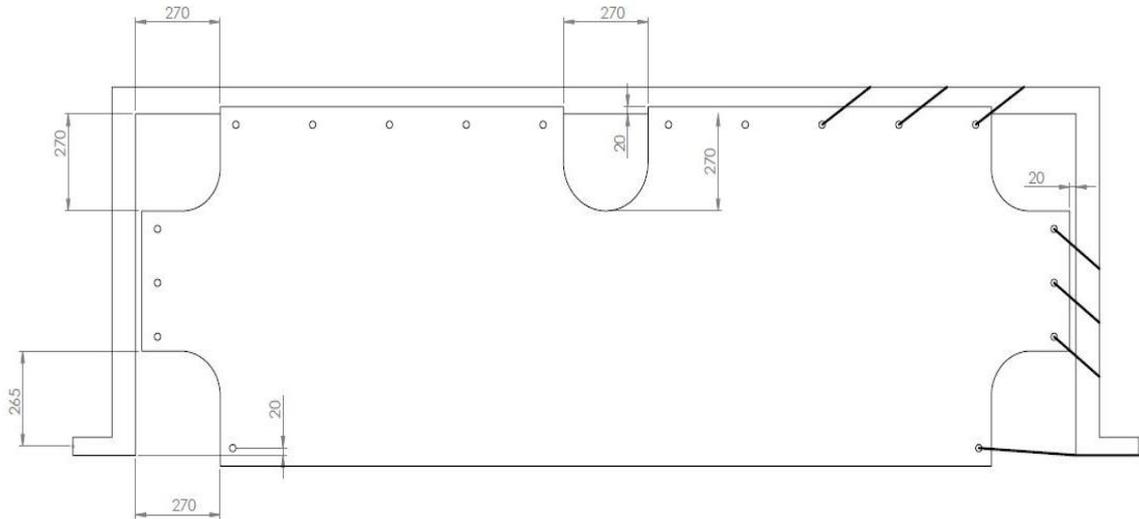
In questo caso non interessa effettuare una valutazione pre e post allenamento in quanto nella fase 2 non sono stati eseguiti esercizi particolari per l'incremento di questo aspetto. È stata focalizzata l'attenzione sulla presenza o meno di correlazione.

#### **STRUMENTI UTILIZZATI:**

- 2 Action Camera GoPro Hero 4 Silver
- Palloni: arena waterpolo ball woman (circonferenza 65-66 cm; peso 400-424 gr; raggio 10.5cm)
- Porta regolamentare
- Palla medica da 1kg

Si specifica che inizialmente nel protocollo era stato previsto un esercizio di precisione in acqua che prevedeva l'utilizzo di un telo da sovrapporre allo

specchio della porta, munito di fori ai quattro angoli e uno al centro della zona 1, definita di maggior precisione (Figura 3.10).



*Figura 3.10 Rappresentazione del telo progettato*

Il telo è stato realizzato in PVC, sono stati creati i fori tenendo conto delle dimensioni della palla e considerando un margine di errore del 28% per consentirne l'ingresso. È stata prevista la sua installazione sulla porta mediante delle funi elastiche (Figura 3.11).



*Figura 3.11 Foto del telo realizzato per l'esercizio di precisione*

Il suo utilizzo si ipotizza potesse incrementare la precisione dei tiri delle atlete in quanto avrebbero dovuto tirare cercando di centrare i fori. Durante il periodo di allenamento non è stato effettuato questo tipo di esercizio per cui è stato sostituito con l'esercizio precedentemente descritto. Si ritiene che possa essere efficace per lo scopo desiderato e si suggerisce l'utilizzo per studi futuri.



## ***4 Materiali e Metodi***

Si descrive di seguito in maniera più accurata la modalità di esecuzione e la strumentazione utilizzata per le acquisizioni durante la fase sperimentale.

### ***4.1 Soggetti***

Questo studio è stato condotto su 11 atlete semi-professioniste di pallanuoto della squadra Aquatica di Torino, iscritta al campionato di serie B femminile nella stagione 2016-2017. Al termine della stagione la squadra si è collocata al secondo posto in classifica ed ha partecipato allo spareggio per i play-off, indetti stagionalmente per determinare quali squadre possano salire di categoria e giocare la stagione seguente in serie A2. Nella stagione 2017-2018 la squadra si è nuovamente iscritta al campionato di serie B.

Inizialmente i soggetti dovevano essere 12, dato che un soggetto non ha partecipato alla fase di allenamento durante la quale sono stati eseguiti gli esercizi necessari per poter valutare lo scopo dello studio, si è deciso di scartarlo per evitare che i dati ad esso relativi potessero inficiare sui risultati ottenuti.

Le 11 atlete (età  $22.3 \pm 3.5$  anni; peso  $63.5 \pm 5.2$  kg; altezza  $169.1 \pm 3.6$  cm) sono state informate dello scopo dello studio sperimentale, hanno scelto liberamente di partecipare e hanno firmato, loro o i genitori delle atlete minorenni, un modulo di consenso informato. In Tabella 4.1 sono riportate le caratteristiche generali di ciascuna atleta.

I soggetti sono tutti destri ad eccezione di uno che è mancino ed hanno tutti almeno 2 anni di esperienza di gioco in serie B.

Soggetto	Età (anni)	Peso (kg)	Altezza (cm)
1	19	59	165
2	26	64	167
3	21	61	165
4	22	66	167
5	22	68	170
6	19	59	165
7	25	69	174
8	17	58	170
9	24	73	175
10	29	57	170
11	21	65	172

Tabella 4.1 Elenco soggetti e loro caratteristiche principali

## 4.2 Strumentazione

Per le acquisizioni sono state utilizzate 2 telecamere in modo da poter avere un'informazione di tipo spaziale. In fase di definizione del protocollo sono state prese in considerazione le telecamere Simi e le Action Camera GoPro Hero 4 Silver.

Le prime sono delle telecamere con frequenza pari a 120 Hz che lavorano direttamente con il software *Simi Motion*, di cui si parlerà in seguito, utilizzato per l'estrapolazione dei dati grezzi dai video di acquisizione. Il vantaggio di lavorare con *Simi Motion* è che il programma esegue in automatico la sincronizzazione dei video e che non ci sono problemi di compatibilità con il tipo di file video. Lo svantaggio dell'utilizzo di tali telecamere sta nel fatto che richiedono un collegamento via cavo con il computer sul quale è installato il software. Tale setup risulta però poco adatto ad un ambiente come quello in cui sono state eseguite le riprese in cui gli spazi sono molto ampi per cui sarebbero necessari cavi molto lunghi. Inoltre, sarebbe stato necessario portare il computer fisso ad ogni sessione di acquisizione in piscina dovendo provvedere quindi di nuovo al problema dell'ingombro della strumentazione ma soprattutto al problema dell'impermeabilità. Essendo l'ambiente umido e soprattutto essendoci il rischio elevato che la strumentazione, telecamere comprese, potesse

entrare in contatto con l'acqua a causa di schizzi prodotti dal gesto sportivo da acquisire, si sarebbe dovuto provvedere alla risoluzione di tale problema data la non impermeabilità di tutta la strumentazione.

Le seconde telecamere proposte hanno la possibilità di settare la frequenza di lavoro (min. 24Hz - max. 240Hz), la risoluzione del video (fino a 4k) e decidere la modalità per il campo visivo (normale, stretto, medio, ampio). L'utilizzo delle Action Camera ha il vantaggio, rispetto alle telecamere descritte in precedenza, di non richiedere il collegamento via cavo; in più è possibile settare le impostazioni e gestire le telecamere da applicazione su telefono, non è necessario avere il computer fisso per effettuare le acquisizioni e inoltre sono dotate di case impermeabile che le rende adatte all'ambiente di lavoro. Lo svantaggio è che richiedono una sincronizzazione esterna e il tipo di file video non è compatibile con quello richiesto da *Simi Motion*, per cui è necessaria una conversione in fase di processamento dati.

<b>TELECAMERE</b>	<b>PRO</b>	<b>CONTRO</b>
<b>GoPro Hero 4 Silver</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- assenza cavi</li> <li>- case impermeabile</li> <li>- settaggio da app</li> <li>- assenza computer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sincronizzazione manuale</li> <li>- conversione file video</li> </ul>
<b>Telecamere Simi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- presenza cavi</li> <li>- non impermeabili</li> <li>- richiedono computer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sincronizzazione automatica</li> <li>- assenza conversione file video</li> </ul>

*Tabella 4.2 Breve riassunto di alcuni vantaggi e svantaggi delle telecamere*

Sono stati valutati i vantaggi e svantaggi (Tabella 4.2) ed infine sono state scelte le Action Camera GoPro Hero 4 Silver (Figura 4.1) per le acquisizioni. Il numero di telecamere da utilizzare è stato scelto sulla base dello studio condotto, per il quale si richiede un'acquisizione tridimensionale e quindi il numero minimo di telecamere è pari a due. Le telecamere sono state montate su dei cavalletti e posizionate sul bordo vasca, una dietro la porta e una lateralmente.



*Figura 4.1 GoPro Hero 4 Silver e fissaggio su cavalletto*

Per i tiri è stata utilizzata una porta regolamentare come descritto nel regolamento tecnico pallanuoto 2017-2018. Tenuta ferma legandola al bordo vasca e centrata nell'origine del sistema di riferimento (Figura 4.2).

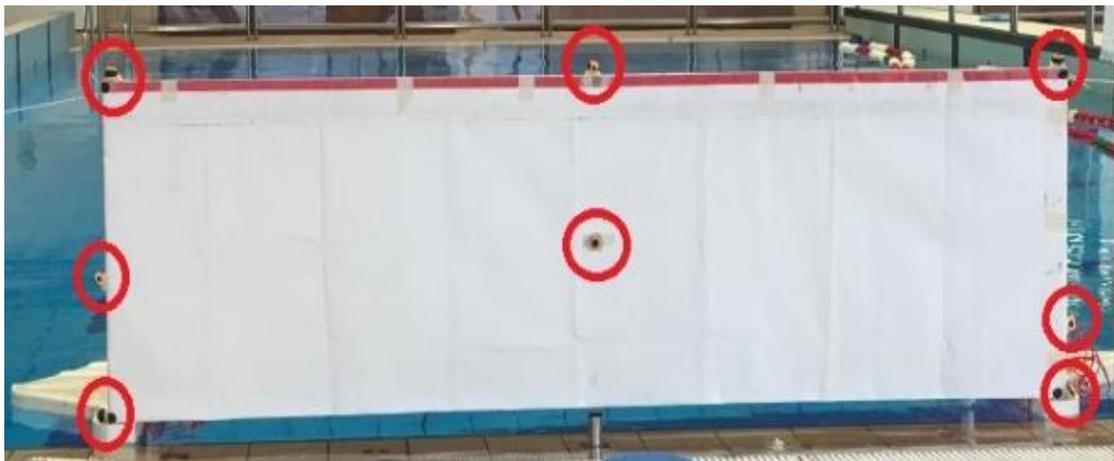


*Figura 4.2 Porta regolamentare*

Come si può vedere dalla Figura 4.2, sullo sfondo sono stati posti dei teli bianchi per rendere più nitido e visibile il gesto sportivo da riprendere.

Per le acquisizioni e la successiva estrapolazione dei dati da esse è stata necessaria una calibrazione delle telecamere, ovvero si sono dovuti individuare dei punti nello spazio di acquisizione di cui si conoscessero le coordinate rispetto al sistema di riferimento scelto. In tal modo si riescono a definire delle posizioni nello spazio di acquisizione. Questo è necessario affinché si possano estrapolare posizioni e traiettorie dai video. Data la particolarità dell'ambiente di ripresa, la calibrazione delle telecamere è stato un passaggio particolarmente importante e delicato, che ha richiesto notevole precisione. Per condurre una calibrazione che permettesse l'individuazione del maggior numero di punti nello spazio, affinché questo fosse adeguatamente calibrato, è stato utilizzato un telo in PVC.

Il telo è stato posto sullo specchio della porta e sono state disposte 9 palline in plastica, della grandezza di palline da ping-pong, su pali e traversa e al centro del telo, sia frontalmente che sul retro (Figura 4.3). La posizione di ogni pallina è nota e la distanza di ciascuna dalle altre è nota.



*Figura 4.3 Telo e palline per la calibrazione, vista frontale*

Data la tridimensionalità delle acquisizioni è richiesto che anche la calibrazione sia condotta in modalità tridimensionale. Per fare ciò è necessario che i punti che vengono individuati nello spazio siano visibili contemporaneamente da entrambe le telecamere. Per questo motivo sono state utilizzate delle palline tridimensionali che potessero essere visibili contemporaneamente dalla telecamera frontale e quella laterale.

È stata effettuata una calibrazione dinamica ovvero la porta è stata spostata in diverse posizioni sia in direzione della telecamera frontale che in quella della telecamera laterale. Così facendo ad ogni spostamento della porta ogni pallina si è trovata in una posizione diversa nello spazio ed è stato possibile individuare un numero elevato di punti di calibrazione.

Per la rilevazione della posizione della porta nella vasca è stato utilizzato un metro laser, con il quale per ogni posizione della porta sono state acquisite la sua distanza dal bordo laterale e dal bordo frontale della piscina (Figura 4.4).



*Figura 4.4 Rilevazione delle distanze della porta dai bordi*

Per la sincronizzazione delle telecamere è stata utilizzata una piccola luce portatile a led (Figura 4.5), che ha quattro diverse modalità da poter settare (ferma o lampeggiante, luce rossa o bianca). È stata utilizzata la luce lampeggiante bianca per far partire la sincronizzazione e la luce rossa ferma per terminarla.



*Figura 4.5 Luce per sincronizzazione*

Per i tiri sono state utilizzati palloni arena water polo ball woman come indicato da regolamento tecnico 2017-2018 (Figura 4.6).



*Figura 4.6 Pallone da pallanuoto wp 4*

Per l'elaborazione dei video è stato usato il software *SIMI° Motion*, si utilizza per l'analisi del movimento e per l'elaborazione di immagini/video.

“L'elaborazione delle immagini può essere eseguita per vari scopi (analisi della superficie, riconoscimento del modello, determinazione della dimensione ecc.). Lo scopo dell'elaborazione delle immagini in questo caso è l'analisi del movimento. Le questioni sollevate nell'analisi del movimento sono di interesse nella ricerca industriale (ad esempio norme di sicurezza per i veicoli a motore), in ergonomia (l'ottimizzazione funzionale degli oggetti), per la registrazione dello sviluppo di un motore, per l'analisi delle tecniche in movimento e infine per ottenere parametri specifici del movimento per i movimenti in vari sport. I dati risultanti (coordinate spaziali) possono essere utilizzati per ulteriori elaborazioni in programmi di progettazione e programmi di animazione.” [24]

Nel manuale di utilizzo di *SIMI° Motion* viene fornita una breve introduzione in merito al sistema di coordinate e calibrazione, che viene di seguito riportata per consentire una migliore interpretazione del funzionamento del programma.

### **Motion Analysis**

Il movimento è inteso fisicamente come il cambiamento delle coordinate in un dato arco di tempo. Questo sistema di coordinate può essere prima scelto arbitrariamente e successivamente fissato.

Questo richiede:

- un sistema di coordinate
- dati di tempo

### **Sistema di coordinate**

Questo serve a stabilire una correlazione con gli ordini reali (realistici) di grandezza quando un'immagine viene valutata in seguito alla sua acquisizione. Così come il concetto di sistema di coordinate, anche il concetto di "sistema di calibrazione" è un argomento comune nella letteratura sull'elaborazione delle immagini.

Questi due concetti sono correlati come segue:

Il sistema di calibrazione misura lo spazio (in analisi tridimensionale) o il piano (in analisi bidimensionale) in cui avviene il movimento.

Il sistema di coordinate è lo strumento matematico per mezzo del quale è possibile calcolare le dimensioni spaziali effettive.

Per la persona che prende le misure, la relazione tra il sistema di calibrazione e il sistema di coordinate non è importante. Questa relazione è stabilita dal software che elabora i dati grezzi.

Due barre di lunghezza nota disposte ad angolo retto tra loro e visibili nella foto possono essere utilizzate come sistema di calibrazione. Dovrebbero, ovviamente, essere installate sul sito (o almeno nelle immediate vicinanze del sito) in cui l'azione deve aver luogo.

Ciò è sufficiente se questo sistema di calibrazione è visibile in una sola immagine, se si è

assicurato che una volta scelte le impostazioni della fotocamera (lunghezza focale, posizione, messa a fuoco, piano focale), queste non vengano più cambiate.

Nota: sono disponibili moduli di programma opzionali che consentono la registrazione di

movimenti con una fotocamera usando le funzioni di panoramica e zoom.

La scala dell'immagine varia in base alla lunghezza focale scelta. È possibile che una lunghezza effettiva di 100 m sia rappresentata da una lunghezza di 1 mm nella foto.

La selezione dell'immagine è puramente di interesse accademico per la persona che sta prendendo le misurazioni.

Solo due caratteristiche devono essere prese in considerazione:

- il piano di movimento deve riempire il più possibile l'immagine (anche le aste selezionate per il sistema di calibrazione devono riempire gran parte dell'immagine)

- ci dovrebbe essere una distanza considerevole tra il piano di movimento e il piano focale (usare uno zoom)

### **Dati di tempo**

Questo fornisce dettagli su quando è stata scattata la foto. Questa informazione può essere

presentata come valore assoluto (ad esempio il 3 gennaio 1998 alle 4.27, 12 secondi e 312 millisecondi) o come valore relativo (0,01 secondi dopo la foto precedente). Per ottenere questi dati, deve essere presente un timer preciso visualizzato nella foto o deve essere conosciuto il tempo tra i frame.

Per la maggior parte delle richieste relative all'analisi del movimento, un valore temporale relativo è di maggiore interesse. Questo è determinato dalla frequenza dei frame del sistema di registrazione utilizzato. Per le registrazioni video si tratta di 25 fotogrammi completi al secondo o 50 campi al secondo (PAL) o 30/60 (NTSC).

Nota: Simi Motion consente anche l'uso di telecamere ad alta velocità per la registrazione del movimento.” [24]

## ***4.3 Descrizione dell'esecuzione dei gesti sportivi***

Per lo studio sperimentale condotto è stato richiesto alle atlete di effettuare tre tipologie differenti di tiro a porta vuota, cioè in assenza del portiere. La scelta di questi tiri è stata fatta concordemente con l'interesse del tecnico della squadra nel volere avere delle informazioni in merito a questi particolari gesti sportivi.

Ogni tiro è stato ripetuto 3 volte consecutive da ogni atleta così che si potessero avere più prove dello stesso soggetto senza però inficiare sulla fatica, dato che è stato richiesto di effettuare ogni tiro alla maggiore potenza possibile e con la massima precisione.

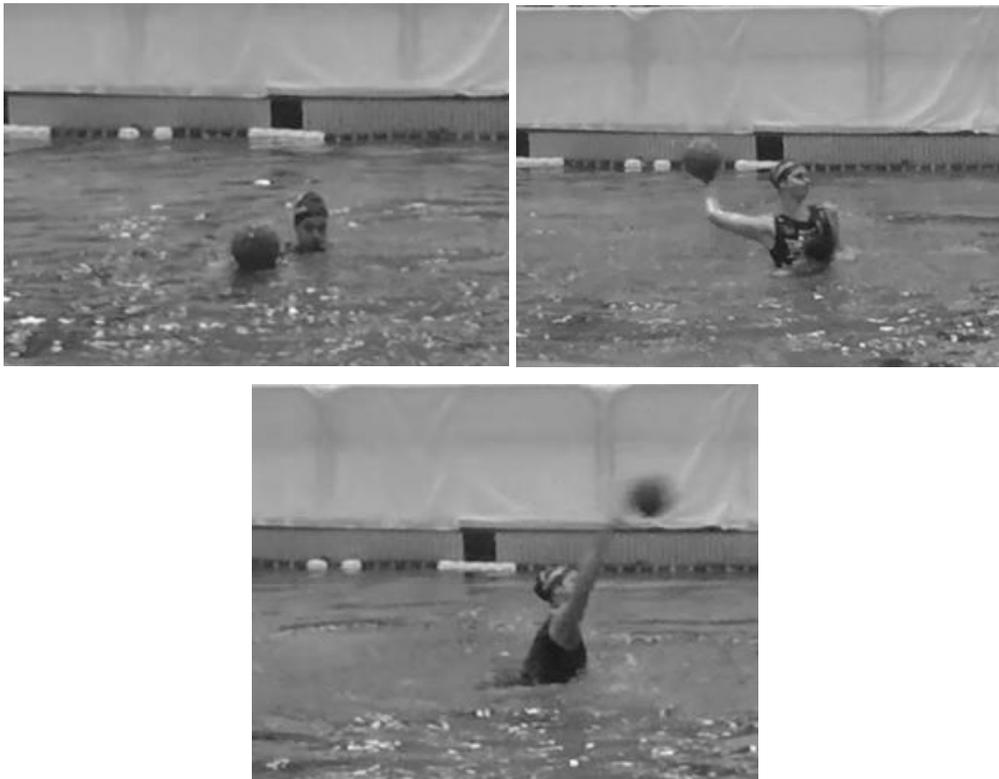
Si precisa che per ogni soggetto sono stati acquisiti tre tiri effettivi per ogni tipologia. Se il soggetto ha perso la palla e non è stato in grado di effettuare un

tiro nella sua interezza, dalla fase di caricamento fino all'arrivo nella zona della porta, indipendentemente dall'esito del tiro stesso è stato fatto ripetere il tiro.

Le indicazioni date alle atlete sono state di tirare nel modo più potente e preciso possibile. Per precisione si intende nel perimetro più esterno dello specchio della porta, quindi negli angoli o nella fascia superiore sopra la testa di un ipotetico portiere.

Di base il movimento effettuato per ogni tiro è molto simile, ci sono delle differenze nelle fasi iniziali.

*Tiro di rigore:* l'atleta parte da una posizione statica a distanza 5 metri dalla linea di porta. Al segnale prende il pallone, lo porta sopra la testa ed effettuando una rotazione laterale del tronco e della spalla porta il pallone indietro, effettua una rotazione mediale della spalla e del tronco, estende il gomito e flette il polso per rendere il tiro teso e potente il più possibile (Figura 4.7).



*Figura 4.7 Fasi del tiro di rigore*

Tiro *'passaggio + tiro al volo'*: il soggetto che deve eseguire il tiro si trova sulla linea dei 5 metri, riceve la palla da un altro atleta che si trova sulla linea dei 2 metri in posizione 1 per gli atleti destrorsi o in posizione 5 per gli atleti mancini e poi effettua lo stesso movimento descritto per il tiro di rigore (Figura 4.8). In questo tiro c'è più variabilità in quanto il passaggio non verrà mai effettuato esattamente allo stesso modo e può non essere effettuato nella maniera ottimale per il giocatore che lo riceve. Per ridurre questa variabilità nelle acquisizioni è stata mantenuta fissa la coppia tra chi effettua e chi riceve il passaggio. Questa tipologia di tiro è comune durante gli incontri in quanto tutti i tiri che vengono compiuti, ad eccezione dei tiri di rigore, sono preceduti da un passaggio tra due giocatori.



*Figura 4.8 Fasi del tiro 'passaggio+tiro al volo'*

Tiro '*passaggio + finta + tiro*': il soggetto che deve eseguire il tiro si trova sulla linea dei 5 metri, riceve la palla da un altro atleta che si trova sulla linea dei 2 metri in posizione 1 per gli atleti destrosi in posizione 5 per gli atleti mancini. Effettua una finta e infine esegue lo stesso movimento descritto per il tiro di rigore (Figura 4.9). Come per il tiro '*passaggio + tiro al volo*' anche in questo caso c'è maggiore variabilità dovuta al passaggio per cui si mantengono fisse le coppie di chi effettua e chi riceve il passaggio.

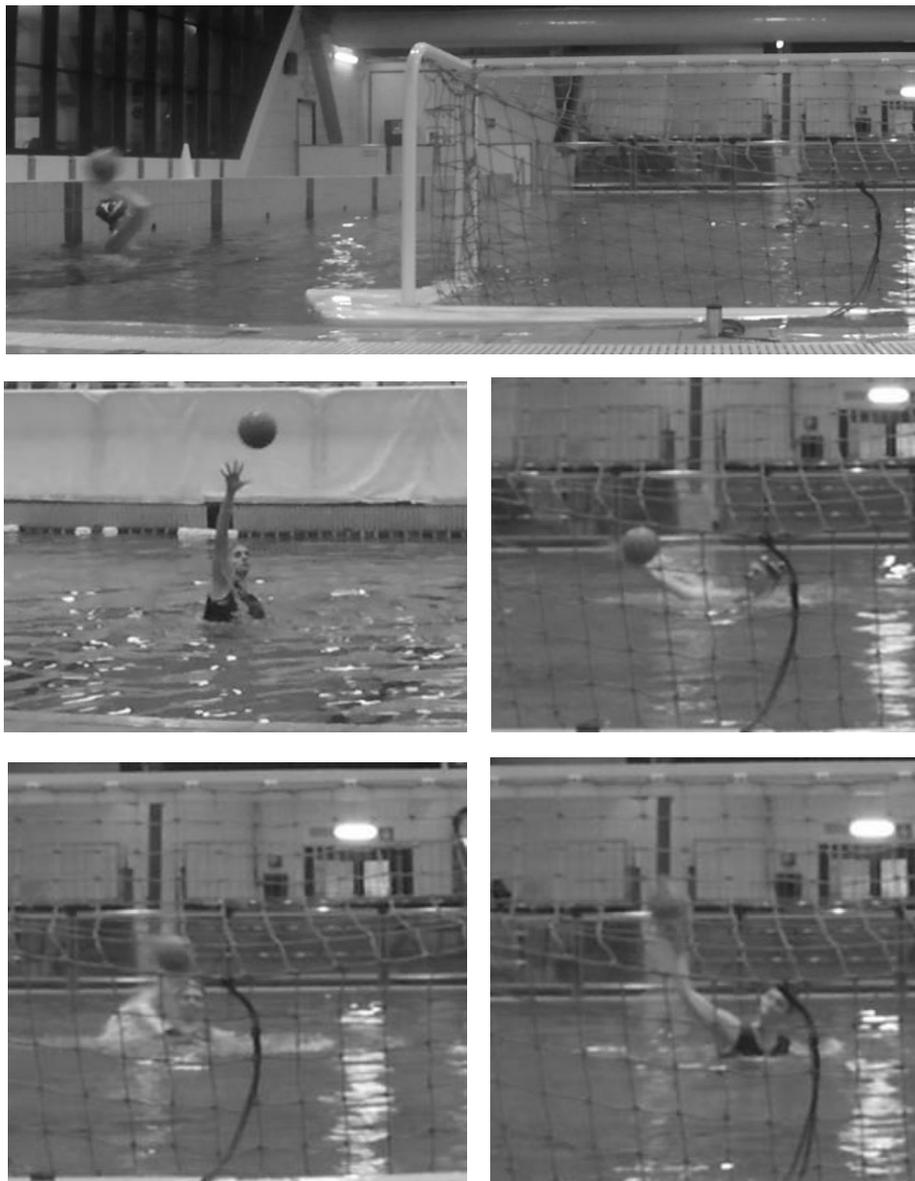


Figura 4.9 Fasi del tiro '*passaggio+finta+tiro*'

#### ***4.4 Raccolta dei dati sperimentali***

Nella raccolta dei dati sperimentali distinguiamo due fasi principali, la raccolta dei dati relativi alla calibrazione tridimensionale delle telecamere e la raccolta dei dati veri e propri dei tiri in porta.

Per tutte le acquisizioni è stato fissato lo stesso sistema di riferimento: gli assi  $x$  e  $y$  giacciono sul piano orizzontale, in particolare l'asse  $y$  si trova lungo la direzione del moto della palla ma ha verso opposto ad esso (direzione longitudinale) e l'asse  $x$  è perpendicolare all'asse  $y$  ed è rivolto verso sinistra (direzione sagittale). L'asse  $z$  è perpendicolare al piano orizzontale e rappresenta la quota rispetto alla superficie dell'acqua ed è rivolto verso l'alto. L'origine del sistema di riferimento si trova posteriormente e al centro dello specchio della porta a livello della superficie dell'acqua (Figura 4.10).

Per tutte le riprese sono state utilizzate due action camera GoPro Hero 4 Silver, posizionate una dietro la porta in modo che potesse riprendere bene la posizione della palla all'istante di arrivo in porta e una lateralmente in modo che fosse ben visibile il gesto atletico nella sua interezza e la traiettoria compiuta dalla palla (Figura 4.10).

La telecamera frontale ha una visuale ideale per la precisione del tiro mentre quella laterale per ricavare posizione, velocità e accelerazione della palla quindi per il calcolo della potenza. La combinazione delle due viste fornisce un'informazione tridimensionale delle grandezze di interesse.

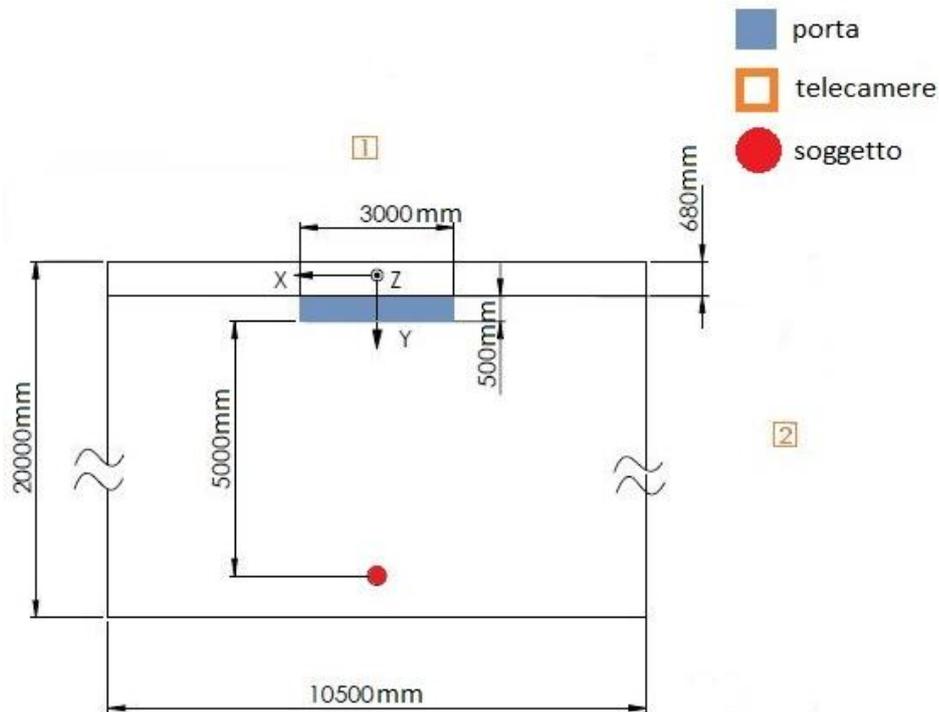


Figura 4.10 Vista dall'alto della posizione delle telecamere e della porta e dettaglio del sistema di riferimento globale (scala 1:100)

#### 4.4.1 Calibrazione

La parte di calibrazione è fondamentale in quanto per poter estrapolare le informazioni di posizione, velocità e accelerazione della palla bisogna fare in modo da fornire al software di elaborazione dei video *Simi Motion*, dei punti noti nello spazio di acquisizione. Solo conoscendo le coordinate nello spazio di questi punti si permette al programma di poter estrapolare le grandezze relative alla palla in maniera corretta. Per questo la fase di calibrazione delle telecamere è molto delicata e deve essere condotta in maniera accurata.

Per effettuare una calibrazione tridimensionale bisogna riuscire ad acquisire un certo numero di punti, di cui si conoscono le coordinate nello spazio, contemporaneamente da tutte le telecamere che servono per l'acquisizione.

In questo studio sperimentale il problema principale per la realizzazione della calibrazione è stato il fatto che il gesto sportivo di interesse dovesse essere eseguito in acqua.

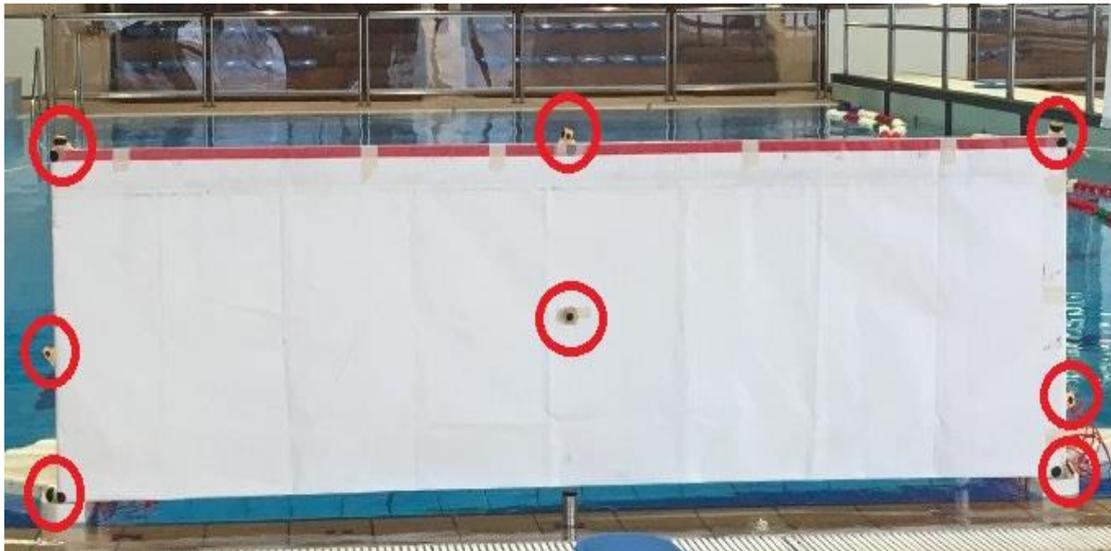
Generalmente la calibrazione tridimensionale in un ambiente delimitato come può essere una stanza, viene eseguita utilizzando un'asta o un oggetto solido tridimensionale di geometria nota su cui si individuano dei punti che si trovano a distanza nota tra di loro e di cui si conoscono le coordinate nello spazio.

Prendendo come esempio l'asta, su di essa si individuano un certo numero di punti a diverse quote di altezza e successivamente si sposta l'asta nello spazio di acquisizione in modo che tali punti siano visibili contemporaneamente da tutte le telecamere. In fase di calibrazione perciò si devono selezionare tali punti sui video e si devono fornire le coordinate rispetto ad un sistema di riferimento scelto arbitrariamente.

Nel caso specifico di questo lavoro la calibrazione va effettuata in acqua. Utilizzare un'asta non è possibile data la profondità della vasca (circa 5 metri) e la difficoltà di mantenere eventualmente l'asta perpendicolare alla superficie dell'acqua. Per risolvere questo problema si è pensato di utilizzare la porta come oggetto tridimensionale galleggiante di dimensioni note e di spostarla all'interno della vasca in modo da individuare dei punti di coordinate note.

Come punti son stati utilizzate delle palline da ping-pong in plastica, sono state fissate ai pali e alla traversa della porta inoltre è stato fissato un telo di plastica per coprire anche lo spazio centrale della porta per posizionarci altre due palline. In definitiva sono state posizionate 9 palline rispettivamente 2 su ogni palo, 3 sulla traversa e 2 al centro del telo, una frontalmente e una sul retro. (Figura 4.11)

Le palline nello spazio hanno tutte le coordinate note rispetto al sistema di riferimento, che devono successivamente essere inserite in *Simi Motion* al momento della calibrazione tridimensionale. Questa configurazione rappresentata in Figura 4.11 è stata utilizzata per tutte le acquisizioni di calibrazione.



*Figura 4.11 Configurazione della porta per la calibrazione con 8 palline più una sul retro*

Si precisa che per le acquisizioni di calibrazione i parametri delle telecamere sono stati impostati a 30 Hz per la frequenza e 1080p per la risoluzione con campo visivo stretto. Non è necessaria un'elevata frequenza di acquisizione perché le riprese sono statiche ma si ha bisogno di risoluzione piuttosto elevata affinché tutti i punti siano ben visibili, limitando la distorsione ottica dovuta all'effetto del fish-eye.

Dato il numero di soggetti da riprendere, non è stato possibile effettuare tutte le acquisizioni nello stesso giorno. Le atlete sono state divise in gruppi, per la fase pre-allenamento sono state fatte tre sessioni di ripresa e per la fase post-allenamento sono state fatte due sessioni.

In ogni sessione sono state eseguite una calibrazione prima e una dopo le acquisizioni dei gesti sportivi, questo per garantire una corretta calibrazione delle telecamere che durante l'esecuzione dei tiri possono rischiare di essere colpite e spostate. Per prevenire problemi nella fase di elaborazione dei dati quindi si è deciso di eseguire due calibrazioni e poi valutare quale delle due fosse più accurata.

Per la calibrazione dello spazio di acquisizione la porta è stata spostata in diverse posizioni, ogni volta è stata fissata con delle corde ai bordi esterni per

mantenerla in posizione durante la ripresa e per prendere le misure della distanza della porta dal bordo laterale e frontale. (Figura 4.12)

La porta è stata spostata 3-4 volte in direzione longitudinale, (in direzione y), e 3-4 volte in direzione sagittale, (direzione x).



*Figura 4.12 Fissaggi della porta per mantenerla in posizione*

Dato che ogni volta che la porta viene spostata bisogna fissarla e prendere le misure ci vuole del tempo prima di poter avviare la ripresa, per cui vengono fatte tante acquisizioni quante sono le posizioni della porta nello spazio.

Successivamente in fase di elaborazione vengono assemblati i video rispettivamente della telecamera frontale e laterale, sfruttando la sincronizzazione visiva che viene fatta.

Per la sincronizzazione si utilizza una luce led, all'avvio della ripresa viene accesa in modalità lampeggiante bianca e per terminare la sincronizzazione si accende in modalità fissa rossa. Solo per la ripresa di calibrazione in cui la porta si trova nella posizione più vicina alla telecamera frontale la luce viene appoggiate direttamente sopra alla traversa e avviata, per tutte le altre una persona si posiziona in un punto in cui possa essere visibile da entrambe le telecamere e avvia la luce. Per ogni posizione della porta in acqua si considera come frame iniziale per entrambe le telecamere quello in cui appare per la prima volta la luce rossa.

#### ***4.4.2 Acquisizioni dei gesti sportivi***

Per l'esecuzione dei tiri la porta è stata posizionata e fissata vicino al bordo frontale, centrata nell'origine del sistema di riferimento. Le telecamere ovviamente non devono essere assolutamente spostate, devono rimanere nella posizione iniziale. (Figura 4.10)

È necessario cambiare il settaggio delle telecamere, impostare la frequenza di acquisizione a 120 Hz e la risoluzione del video a 720p. È richiesta una frequenza più elevata perché il gesto che deve essere ripreso ha una velocità piuttosto elevata e affinché non si perdano delle parti del movimento è necessario che vengano acquisiti un numero maggiore di frame al secondo. Di conseguenza date le specifiche della action camera si perderà un po' in risoluzione del video, la miglior risoluzione possibile con il settaggio di frequenza necessario è pari a 720p, sempre con campo visivo stretto per avere la minor distorsione ottica possibile dovuta al fish-eye.

Quando tutta la strumentazione è stata settata nel modo corretto per le acquisizioni si procede con le riprese. Anche in questo caso è necessario condurre una sincronizzazione dei video perché il gesto verrà ripreso

contemporaneamente da entrambe le telecamere, per cui è richiesto un segnale visivo come per la calibrazione affinché i due video siano sincronizzati.

Per la sincronizzazione si utilizza la stessa luce a led utilizzata nella calibrazione. Una persona si posiziona in un punto in cui sia visibile da entrambe le telecamere e avvia la luce in modalità lampeggiante bianca, dopo circa 3-4 s si termina la sincronizzazione passando alla modalità luce fissa rossa.

Effettuata la sincronizzazione viene dato il segnale all'atleta che si trova già in posizione e procede con l'esecuzione della prima tipologia di tiro ripetendolo 3 volte, al termine delle 3 ripetizioni viene interrotta la ripresa di entrambe le telecamere. Le atlete eseguono i tiri a rotazione per cui tutti i soggetti eseguono la prima tipologia di tiro, poi tutti eseguono la seconda tipologia ed infine tutti eseguono la terza. Si mantiene lo stesso ordine di rotazione per tutti i tiri, ciò consente a tutti i soggetti di riposarsi e le prestazioni non vengono inficiate dalla fatica.

Di seguito vengono riassunte le specifiche di settaggio delle telecamere per le acquisizioni di calibrazione e dei gesti sportivi (Tabella 4.3).

<b>Acquisizioni</b>	<b>Frequenza di acquisizione (Hz)</b>	<b>Risoluzione (p)</b>	<b>Fov</b>
Calibrazione	30	1080	Stretto
Gesto atletico	120	720	Stretto

*Tabella 4.3 Impostazioni telecamere per acquisizioni*

## ***5 Elaborazione dati sperimentali***

### ***5.1 Elaborazione delle acquisizioni video***

I video ottenuti in piscina non possono essere utilizzati direttamente nel programma *SIMI° Motion*, devono prima essere modificati perché non sono nel formato compatibile con il programma e inoltre sono distorti dall'effetto del fish-eye.

L'effetto del fish-eye è comune nelle action camera perché consente di avere un campo visivo maggiore, ma nel caso specifico di questo studio non è possibile utilizzare i video affetti da questa distorsione ottica in quanto le distanze reali sono distorte.

Per eliminare la distorsione dovuta al fish-eye è stato utilizzato il programma *Wondershare Filmora* che consente di inserire il modello della action camera, la risoluzione video impostata e il campo visivo, di conseguenza il programma in maniera automatica corregge il video ed elimina l'effetto di distorsione del fish-eye.

Per cui se inizialmente i video hanno i bordi dell'inquadratura stoncati (Figura 5.1) dopo l'eliminazione della distorsione l'inquadratura torna ad essere lineare (Figura 5.2).



*Figura 5.1 Inquadratura video con distorsione fish-eye*



Figura 5.2 Inquadratura del video senza fish-eye

Successivamente è stato necessario modificare il tipo di file video, la action camera crea video in formato .mp4 ma il software *SIMI° Motion* lavora solo su video in formato .avi, per cui utilizzando il programma *Video to Video* è stato convertito il tipo di file.

Con lo stesso programma si è anche potuto creare i video di calibrazione tramite l'unione dei singoli video acquisiti durante la fase di calibrazione in piscina. Sono stati messi assieme i singoli video di calibrazione relativi alla telecamera frontale ed è stato creato un video unico di calibrazione. La stessa cosa è stata fatta per la telecamera laterale.

Una volta che tutti i video, sia di calibrazione che di acquisizione dei gesti sportivi, sono stati convertiti in formato .avi ed è stato eliminato l'effetto del fish-eye è stato possibile importarli nel programma *SIMI° Motion*.

In questo lavoro *SIMI° Motion* è stato utilizzato per estrapolare dai video acquisiti informazioni in merito a posizione, velocità e accelerazione della palla durante l'esecuzione delle varie tipologie di tiro. Inoltre è stato sfruttato anche per estrapolare le coordinate dei vertici della porta e per il calcolo di angoli anatomici di interesse di cui si discuterà in seguito.

Data la tridimensionalità del movimento registrato è richiesta una calibrazione 3D dello spazio. Per cui il primo passaggio su *SIMI° Motion* è quello di effettuare la calibrazione 3D dello spazio.

Si descrive il procedimento nel dettaglio per una telecamera, deve essere eseguito lo stesso procedimento per tutte le telecamere utilizzate per le acquisizioni. Per il presente studio sono state utilizzate due telecamere per cui si effettueranno tutte le azioni successivamente descritte sia per la telecamera frontale che per quella laterale.

Si importa il video in formato .avi relativo alla calibrazione, si devono individuare i frame di interesse nei quali si desidera selezionare i punti nello spazio. Come già detto in precedenza, si richiede che i video delle telecamere siano sincronizzati in modo che i punti selezionati per una telecamera siano gli stessi che vengono selezionati anche nell'altra, per cui si considera ogni volta il primo frame in cui appare la luce rossa e in questo frame si vanno a selezionare tutti i punti nello spazio che sono visibili da entrambe le telecamere.

È fondamentale selezionare solo i punti visibili contemporaneamente da entrambe le telecamere perché altrimenti si fornisce un'informazione tridimensionale errata delle distanze.

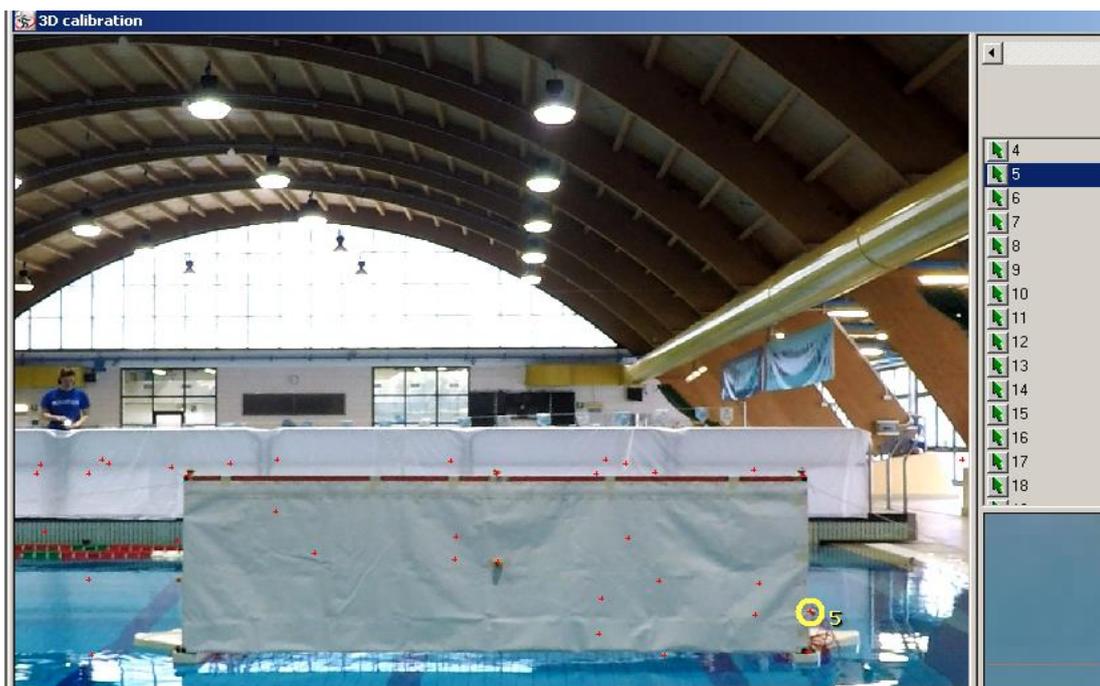


Figura 5.3 Individuazione di tutti i punti di calibrazione nello spazio

In Figura 5.3 si possono vedere tutti i punti di calibrazione che vengono selezionati nell'immagine (punti rossi). Questi punti corrispondono alle palline che si trovano sulla porta, vengono selezionati per ogni posizione diversa della porta.

Per tutti i punti selezionati bisogna fornire le coordinate x, y e z.

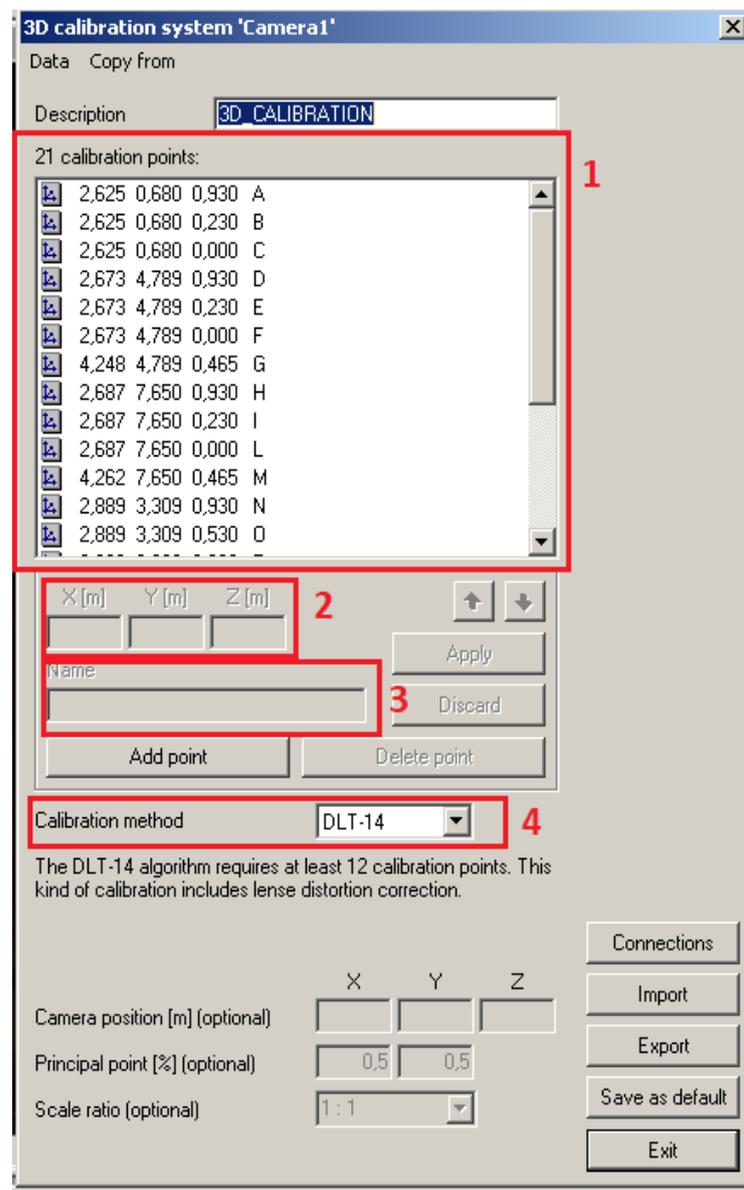


Figura 5.4 Inserimento coordinate punti di calibrazione su SIMI° Motion

Considerare la Figura 5.4:

nel rettangolo 1 sono contenuti tutti i punti di calibrazione, si seleziona un punto e si inseriscono nel rettangolo 2 le sue coordinate in metri rispetto al sistema di riferimento scelto, nel rettangolo 3 si inserisce il nome del punto.

Una volta inserite le coordinate per tutti i punti bisogna scegliere il metodo di calibrazione, rettangolo 4, sulla base del numero di punti di calibrazione che si ha a disposizione e se si desidera che il programma corregga la distorsione a cui possono essere soggetti i video.

In questo studio sono state sempre settate la modalità DLT-14 o DLT-16 che richiedono rispettivamente almeno 12 e 14 punti di calibrazione (si hanno sempre più di 30 punti di calibrazione) e correggono entrambe la distorsione dovuta agli obiettivi delle telecamere.

*SIMI° Motion* permette di effettuare subito una verifica della calibrazione in modo tale che si possa subito sapere la bontà della calibrazione (Figura 5.5-Figura 5.6).

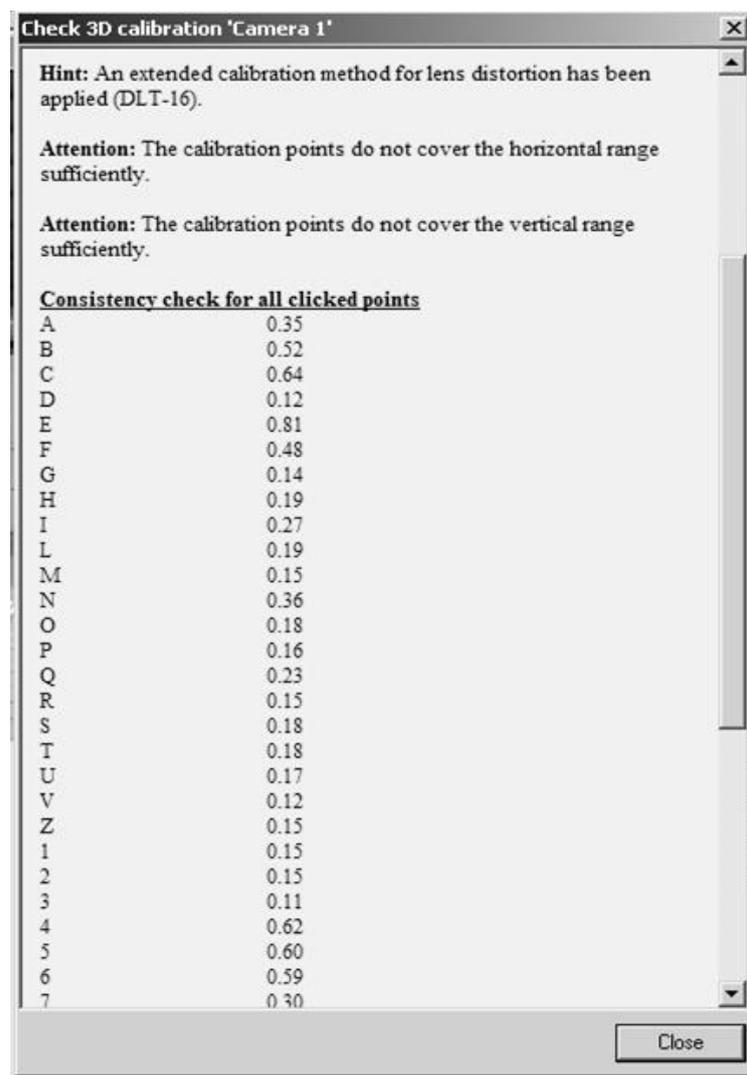


Figura 5.5 Verifica della calibrazione

Check 3D calibration 'Camera 1'	
M	0.15
N	0.36
O	0.18
P	0.16
Q	0.23
R	0.15
S	0.18
T	0.18
U	0.17
V	0.12
Z	0.15
1	0.15
2	0.15
3	0.11
4	0.62
5	0.60
6	0.59
7	0.30
8	0.15
9	0.19
10	0.02
11	0.30
12	0.30
13	0.20
14	0.35
15	0.31
16	0.21
17	0.47
18	0.22
19	0.36
20	0.25
21	0.07
22	0.22
23	0.22
24	0.18
<b>Mean</b>	<b>0.27</b>
<b>StdDev</b>	<b>0.17</b>

Figura 5.6 Verifica della calibrazione

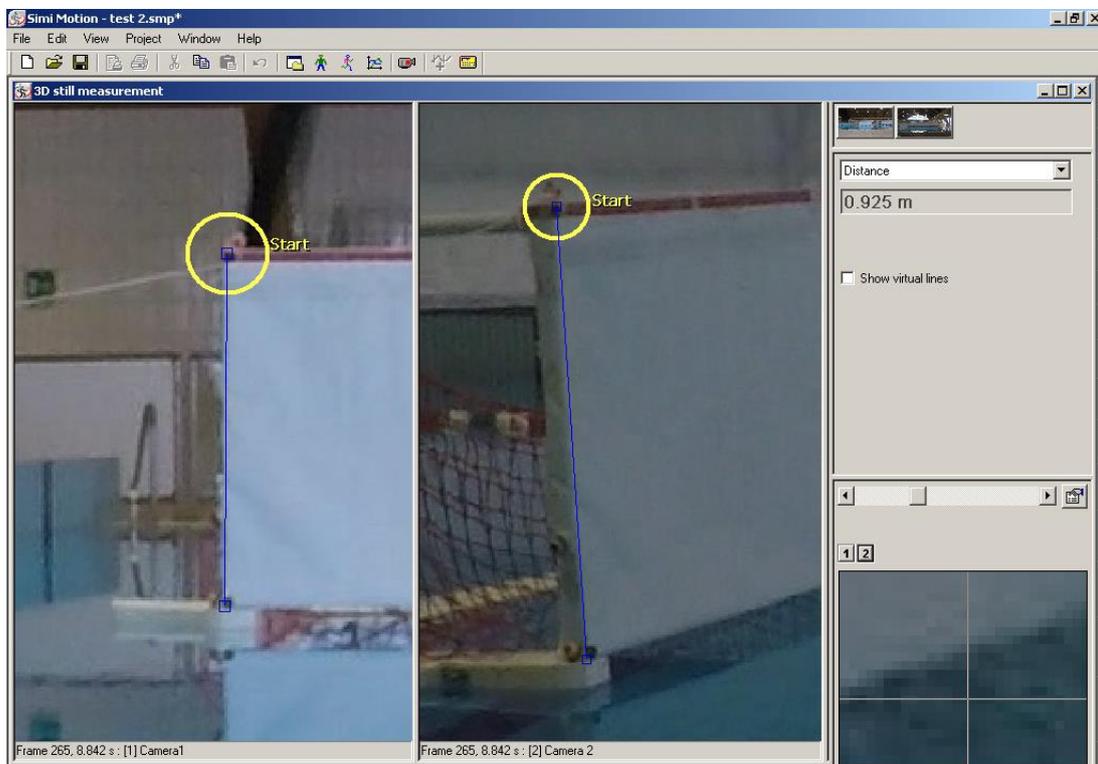
Per poter ritenere la calibrazione soddisfacente, la verifica deve restituire tutti i numeri in colore nero ciò sta ad indicare che tutti i punti di calibrazione sono consistenti, è possibile ancora accettare la calibrazione se in fase di verifica si ottiene qualche numero in giallo che indica che i punti non sono massimamente consistenti. Se si ottengono numeri in rosso è necessario rivedere l'esecuzione della calibrazione cercando di selezionare in maniera più adeguata i punti.

Una volta che la verifica della calibrazione ha dato esito positivo, si ha la conferma che la calibrazione è consistente e quindi che lo spazio in cui avviene il movimento di interesse è dimensionato in maniera soddisfacente per il programma di analisi.

Considerato che sono state eseguite due calibrazioni per ogni sessione di acquisizione, vengono eseguite due calibrazioni 3D su *SIMI° Motion*. La verifica di entrambe le calibrazioni fornisce un esito positivo, entrambe le calibrazioni sono consistenti.

Per decidere quale delle due calibrazioni utilizzare per proseguire con il tracking, viene fatta una verifica di accuratezza.

Dato che le dimensioni della porta sono note si verifica se pali e traversa sono misurate correttamente anche su *SIMI° Motion* (Figura 5.7).



*Figura 5.7 Rilevamento della misura di un palo per la verifica della calibrazione*

Si rilevano i valori di entrambi i pali e della traversa per un certo numero di frame e si salvano, dopo di che vengono calcolati il valor medio e la deviazione standard di tutti i valori rilevati per il palo destro, per la traversa e per il palo sinistro (Tabella 5.1).

<b>Numero Frame</b>	<b>a (m)</b>	<b>b (m)</b>	<b>c (m)</b>
2	0,952	2,795	non calcolabile
161	0,939	3,11	non calcolabile
300	0,922	3,101	0,908
383	non calcolabile	3,18	0,938
446	non calcolabile	non calcolabile	0,925
571	0,938	3,168	0,92
703	0,93	3,067	0,92
<b>MEDIA</b>	<b>0,9362</b>	<b>3,0702</b>	<b>0,9222</b>
<b>STD</b>	<b>0,0100</b>	<b>0,1290</b>	<b>0,0097</b>

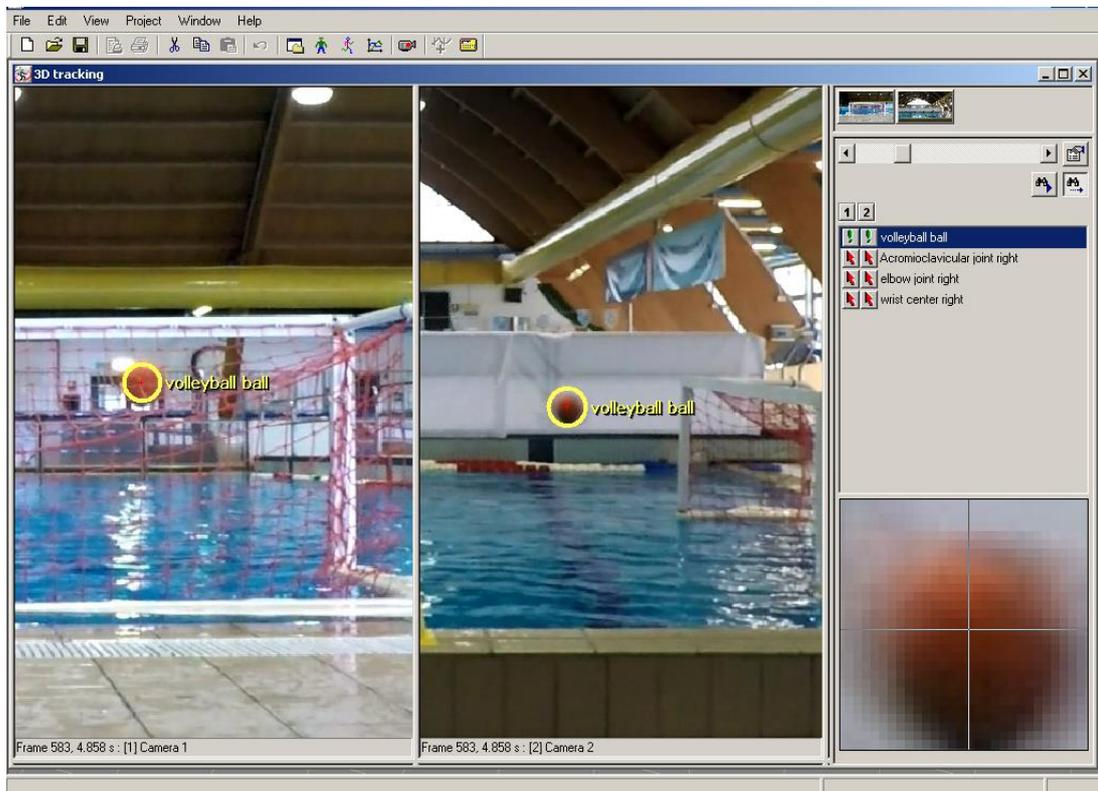
*Tabella 5.1 Valori rilevati dei pali (a, c) e della traversa (b), media e std per un esempio di calibrazione*

Facendo un confronto tra la media e la deviazione standard delle due calibrazioni si sceglie quella per cui si ottiene la media più vicina al valore reale e la deviazione standard più bassa.

Dopo aver stabilito quale sia la calibrazione più accurata, si procede con il tracking.

Nella fase di tracking si va a selezionare la palla in tutti i frame che vanno da qualche istante prima che la palla si stacchi dalla mano a qualche istante dopo che la palla arriva sulla linea di porta. Per tutti i frame compresi in questo istante di tempo si seleziona sul video la palla, *SIMI<sup>o</sup> Motion* riesce a individuare la palla in maniera automatica ma è consigliabile controllare sempre che la palla sia stata individuata correttamente (Figura 5.8).

Anche il tracking è tridimensionale per cui vengono visualizzati in contemporanea i video delle due telecamere, sincronizzati, per ogni frame bisogna selezionare la palla in entrambi i video.



*Figura 5.8 Tracking della palla*

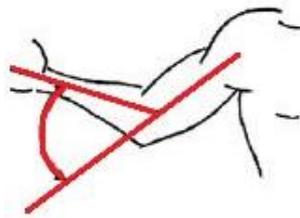
Dato che le atlete hanno effettuato tre ripetizioni per ogni tipologia di tiro, in ogni video si devono esaminare tutte e tre le ripetizioni. Si estrae da SIMI<sup>o</sup> Motion un file .txt, uno per ogni tipologia di tiro per tutte le 11 atlete, all'interno del quale ci sono le componenti x, y e z di posizione, velocità e accelerazione della palla.

Oltre alle grandezze cinematiche relative alla palla, nella fase di tracking sono state estratte le coordinate della porta nell'istante di arrivo della palla in porta, queste sono necessarie per la determinazione della precisione del tiro insieme

alle coordinate della palla. Il punteggio di precisione viene calcolato grazie all'implementazione di un codice sul software *Matlab*.

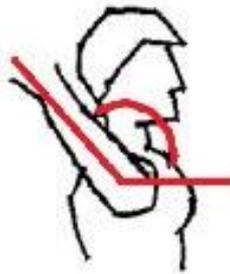
Infine sono stati estratti l'angolo di gomito e l'angolo di spalla dai video all'istante di stacco della palla dalla mano.

L'angolo di flessione del gomito ovvero l'angolo compreso tra l'asse passante per la spalla e il gomito e l'asse passante per il gomito e il polso (Figura 5.9).



*Figura 5.9 Angolo di flessione del gomito [8]*

L'angolo di rotazione interna della spalla che è l'angolo compreso tra il piano formato da spalla-gomito-polso e l'asse orizzontale (Figura 5.10).



*Figura 5.10 Angolo di rotazione interna della spalla [8]*

In Figura 5.11 si può osservare come avviene il tracking dell'arto superiore. Vengono individuate le articolazioni di spalla, gomito e polso, inoltre è possibile creare delle connessioni tra i punti e visualizzare quindi dei segmenti che collegano le articolazioni dell'arto superiore.

Successivamente si imposta l'estrazione dei valori dei due angoli, si settano i punti tra cui calcolarli e si estraggono due file .txt per ogni tiro per ogni atleta che contengono i valori degli angoli.

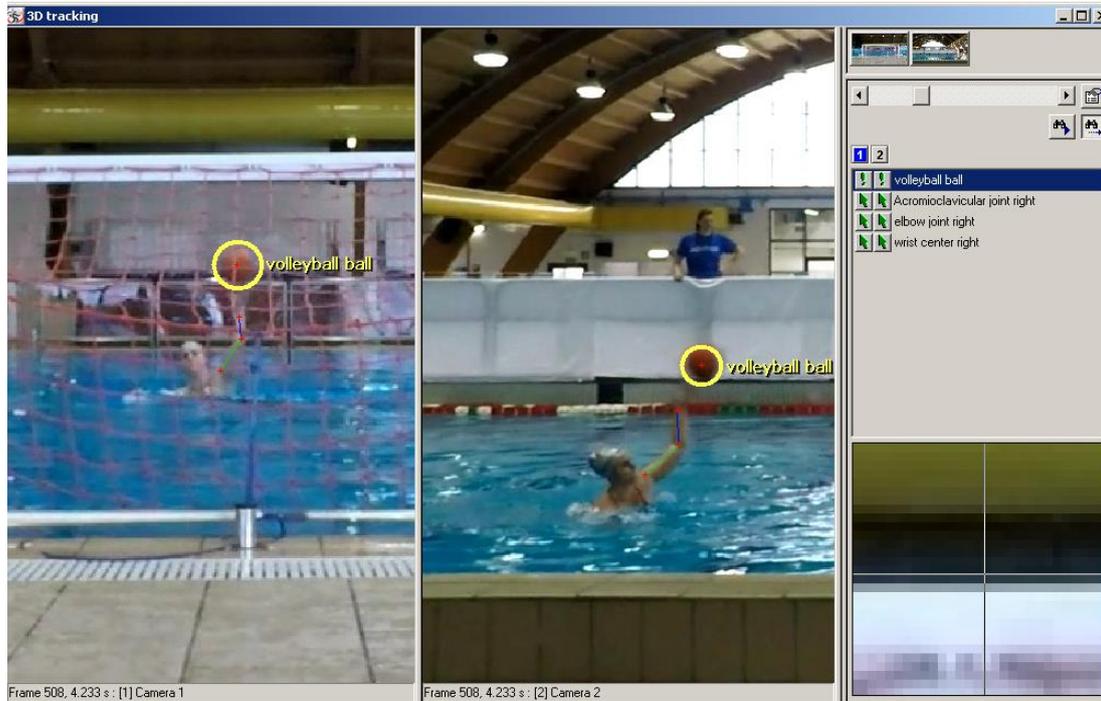


Figura 5.11 Tracking dell'arto superiore per estrapolazione degli angoli anatomici

## 5.2 Elaborazione preliminare dei dati grezzi

Tutti i dati estratti da SIMI<sup>o</sup> Motion sono i dati grezzi che sono stati elaborati per ottenere delle informazioni in merito a potenza e precisione dei tiri e per valutare la relazione tra gli angoli anatomici e il gesto sportivo.

Per poter ottenere dei risultati che siano utili ha delle valutazioni, è necessario condurre delle elaborazioni e fare delle scelte in merito all'utilizzo dei dati. Sono stati considerati i dati di acquisizioni di tre atlete scelte in maniera casuale in fase di pre allenamento come esempio su cui condurre queste valutazioni preliminari.

### ***5.2.1 Pre-elaborazione di velocità e accelerazione***

La prima valutazione fatta è stata in merito a quali valori considerare per la velocità e l'accelerazione della palla. L'obiettivo dello studio è quello di andare a verificare se la potenza dei tiri sia migliorata tra la fase pre-allenamento e quella post-allenamento.

Per il calcolo del valore di potenza si è dovuto decidere se:

- a) Utilizzare il valore istantaneo o mediato di velocità e accelerazione
- b) Utilizzare il valore assoluto o quello delle singole componenti

Per risolvere il punto *a* si è eseguito un confronto tra i valori istantanei di velocità e accelerazione all'istante di stacco della palla dalla mano e all'istante di arrivo in porta della palla, con i valori mediati su più istanti.

È stata calcolata:

- la media $\pm 1$  frame: cioè la media dei valori di velocità e accelerazione all'istante di riferimento, ad un frame prima e uno dopo l'istante di riferimento, quindi si è mediato su 3 valori;
- la media $\pm 3$  frame: cioè la media dei valori di velocità e accelerazione all'istante di riferimento, nei 3 frame prima e 3 dopo l'istante di riferimento, quindi si è mediato su 7 valori;
- la media $\pm 5$  frame: cioè la media dei valori di velocità e accelerazione all'istante di riferimento, nei 5 frame prima e 5 dopo l'istante di riferimento, quindi si è mediato su 11 valori;

La media è stata calcolata sia delle componenti singole (x, y, z) che del valore assoluto di velocità e accelerazione.

Si precisa che i valori di velocità ottenuti sono stati confrontati con dei valori di riferimento trovati in letteratura per verificare la coerenza dei dati ottenuti.

Considerando il valore assoluto della velocità in questo lavoro si hanno valori compresi tra 12 m/s e 17 m/s, che sono paragonabili con i dati trovati in letteratura di mediana della velocità massima 15.3 m/s (McCluskey et al, 2009) e di massima velocità media  $15.6 \pm 0.7$  m/s (Platanou & Varamenti, 2011) [12] [22].

VELOCITÀ PALLA - ISTANTE STACCO MANO (m/s)										
	Soggetto	Rigore			Tiro al Volo			Finta e Tiro		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Vx	1	4,38	-3,30	0,85	2,17	-3,25	2,80	2,66	-3,82	2,56
	2	2,80	-3,09	2,49	2,45	-2,11	2,17	2,91	-2,39	2,57
	3	3,29	2,42	2,61	1,82	-3,96	1,85	2,27	0,75	0,00
Vy	1	-15,84	-15,36	-14,17	-14,24	-12,77	-13,13	-15,13	-15,26	-15,32
	2	-13,42	-13,70	-14,04	-14,06	-14,59	-12,80	-13,11	-13,33	-13,54
	3	-13,35	-13,41	-13,43	-13,43	-13,77	-13,25	-12,12	-12,66	0,00
Vz	1	0,99	0,46	1,47	0,72	0,89	-0,39	2,52	1,25	1,43
	2	1,24	1,05	0,90	2,36	1,23	2,67	3,41	1,78	1,56
	3	2,01	1,71	1,48	2,56	1,27	1,96	1,18	0,50	0,00
V	1	16,47	15,67	14,27	14,42	13,22	13,44	15,57	15,79	15,60
	2	13,76	14,08	14,29	14,47	14,79	13,25	13,87	13,66	13,87
	3	13,92	13,74	13,76	13,79	14,38	13,53	12,39	12,70	0,00

Fuori
Dentro
Palo/Traversa
Non eseguito

Tabella 5.2 Esempio per la velocità di stacco di media  $\pm 1$  sulle singole componenti e in modulo

La Tabella 5.2 riporta i valori mediati della velocità lungo x, y, z e in valore assoluto. I colori di ciascuna casella rappresentano l'esito del tiro. È importante evidenziare l'esito del tiro in quanto successivamente sarà analizzata la relazione tra queste due variabili.

Sono state fatte delle tabelle come la Tabella 5.2 anche per l'accelerazione all'istante di stacco e per velocità e accelerazione all'arrivo in porta per la media  $\pm 1$ , media  $\pm 3$  e media  $\pm 5$ .

Ciò che si può notare subito è che la componente lungo y è sempre quella maggiore, questo era prevedibile dato che la direzione y è quella lungo la quale

avviene il moto della palla. Il segno meno indica solo che il moto è opposto alla direzione positiva dell'asse y.

La componente x fornisce un'informazione in merito al quadrante in cui arriva la palla, destro o sinistro rispetto all'origine che è nel centro della porta.

La componente z invece fornisce informazioni sulla quota della palla rispetto alla superficie dell'acqua.

È stato fatto un confronto tra il valore istantaneo e i valori ottenuti per le medie calcolate su diversi numeri di frame, per decidere se effettuare una media ed eventualmente su quanti frame oppure se considerare il valore istantaneo (Tabella 5.3).

	Soggetto	Velocità stacco mano (m/s)								
		Rigore			Tiro al Volo			Finta		
valore istantaneo	1	16,70	15,93	14,48	14,55	13,31	13,56	15,71	15,94	15,70
	2	13,80	14,29	14,34	14,56	14,77	13,34	13,84	13,57	13,93
	3	14,02	13,82	13,80	13,89	14,51	13,60	12,33	12,73	0,00
Mean ±1	1	16,47	15,67	14,27	14,42	13,22	13,44	15,57	15,79	15,60
	2	13,76	14,08	14,29	14,47	14,79	13,25	13,87	13,66	13,87
	3	13,92	13,74	13,76	13,79	14,38	13,53	12,39	12,70	0,00
Mean ±3	1	15,62	14,73	13,33	13,91	12,78	12,86	15,04	15,44	15,16
	2	13,60	13,79	14,02	14,16	14,64	13,01	13,75	13,61	13,70
	3	13,49	13,34	13,50	13,34	13,96	13,21	12,04	12,37	0,00
Mean ±5	1	14,54	13,81	12,23	13,15	12,32	12,07	14,32	14,85	14,54
	2	13,34	13,62	13,67	13,75	14,22	12,68	13,43	13,25	13,49
	3	12,86	12,72	13,06	12,69	13,37	12,70	11,60	12,00	0,00

Fuori
Dentro
Palo/Traversa
Non eseguito

Tabella 5.3 Confronto valori istantanei e mediati della velocità

La Tabella 5.3 e la Tabella 5.4 riportano un confronto tra i valori istantanei e mediati su più frame della velocità di stacco della palla.

Inoltre vengono riportate le deviazioni standard delle medie e la differenza tra il valore istantaneo e il valore mediato.

<b>TIRI IN- velocità di stacco (m/s)</b>				
	<b>valore vero</b>	<b>media</b>	<b>std</b>	<b>differenza(vv-m)</b>
<b>1</b>	13,31	13,22	1,30	0,09
		12,78	2,70	0,53
		12,32	3,70	0,99
<b>2</b>	14,77	14,79	0,24	0,03
		14,64	0,36	0,13
		14,22	0,99	0,55
<b>3</b>	13,60	13,53	0,45	0,07
		13,21	1,12	0,39
		12,70	1,93	0,90

Tabella 5.4 Confronto valore istantaneo e valori mediati per tiri che entrano in porta

Questo confronto è stato necessario per decidere quali valori utilizzare nel calcolo della potenza.

Osservando il valore della differenza si è deciso di considerare la media  $\pm 1$  perché si ha un valore molto vicino a quello istantaneo e allo stesso tempo si minimizza l'errore che può essere compiuto nel determinare l'istante di stacco dalla mano o l'istante di arrivo in porta.

L'istante di stacco dalla mano è individuato visivamente in quanto non c'è nessun parametro da poter utilizzare come riferimento per automatizzare la sua identificazione.

L'istante di arrivo in porta invece viene determinato in modo automatico grazie all'implementazione di un codice sul software *Matlab*.

In entrambi i casi potrebbe essere compiuto un minimo errore che potrebbe portare all'individuazione dell'istante sbagliato, per cui si è deciso di utilizzare la media  $\pm 1$  dei valori di velocità ed accelerazione.

Per risolvere il punto *b*, se utilizzare il valore lungo le componenti o il valore assoluto, sono stati analizzati gli andamenti della velocità e dell'accelerazione.

Sono stati considerati tre tiri di esempio per la valutazione, uno dentro, uno sul palo/traversa e uno fuori.

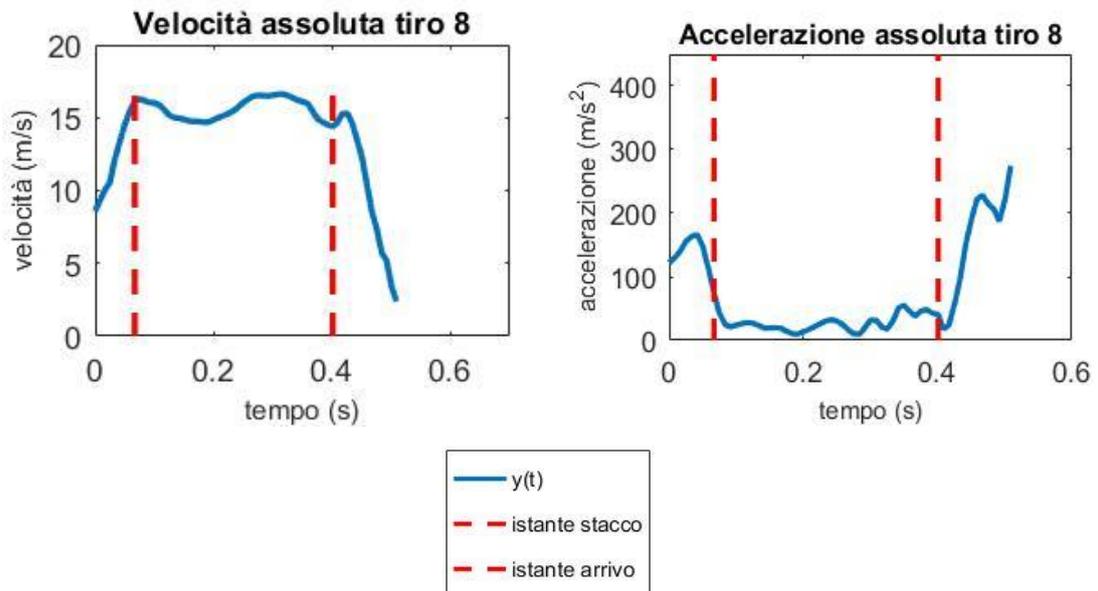


Figura 5.12 Andamento velocità e accelerazione tiro IN

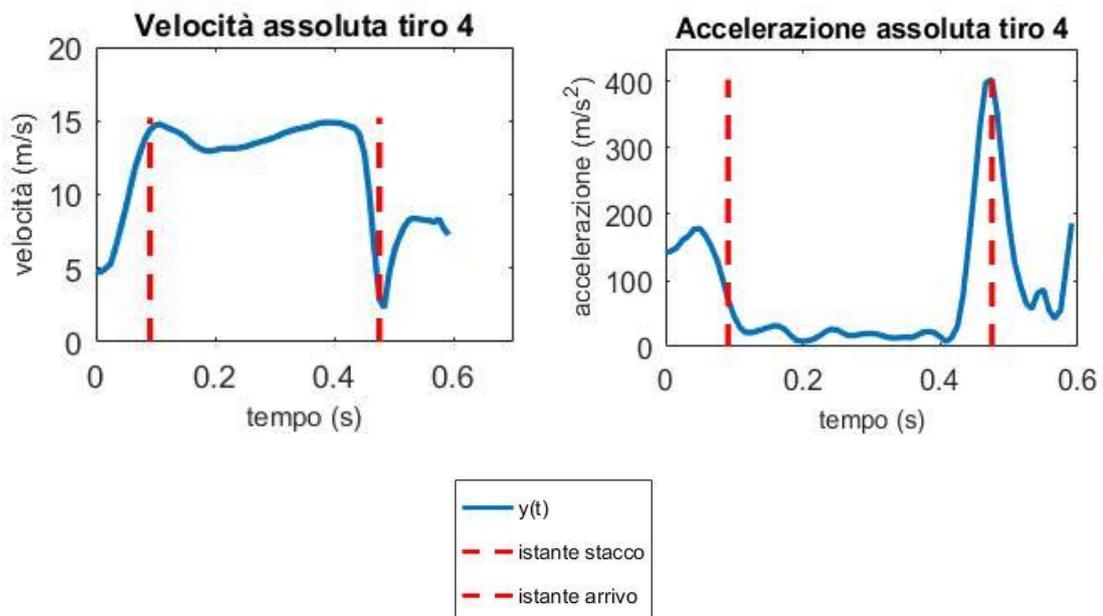


Figura 5.13 Andamento velocità e accelerazione tiro PALO/TRAVERSA

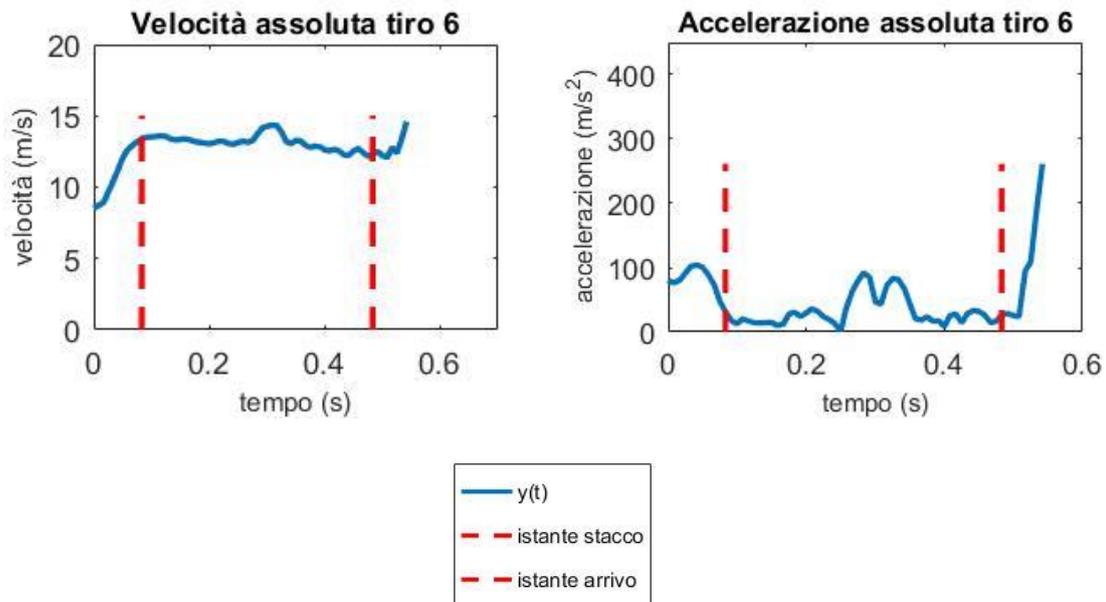


Figura 5.14 Andamento velocità e accelerazione tiro OUT

Osservando gli andamenti delle accelerazioni in valore assoluto (Figura 5.12, Figura 5.13, Figura 5.14) si nota che l'accelerazione è sempre positiva anche nei tratti in cui dovrebbe esserci una decelerazione. Ne consegue che l'utilizzo del valore assoluto non è del tutto corretto, perché si perde non solo l'informazione di direzione, ma anche di segno della grandezza in esame.

Analizzando la Figura 5.15 si può notare che considerando l'andamento lungo la componente  $y$ , non si perdono informazioni. L'andamento della velocità lungo  $y$  è molto simile a quello della velocità assoluta cambiato di segno, inoltre è possibile vedere anche l'andamento negativo dell'accelerazione, per cui nel complesso si ha una descrizione più accurata del moto.

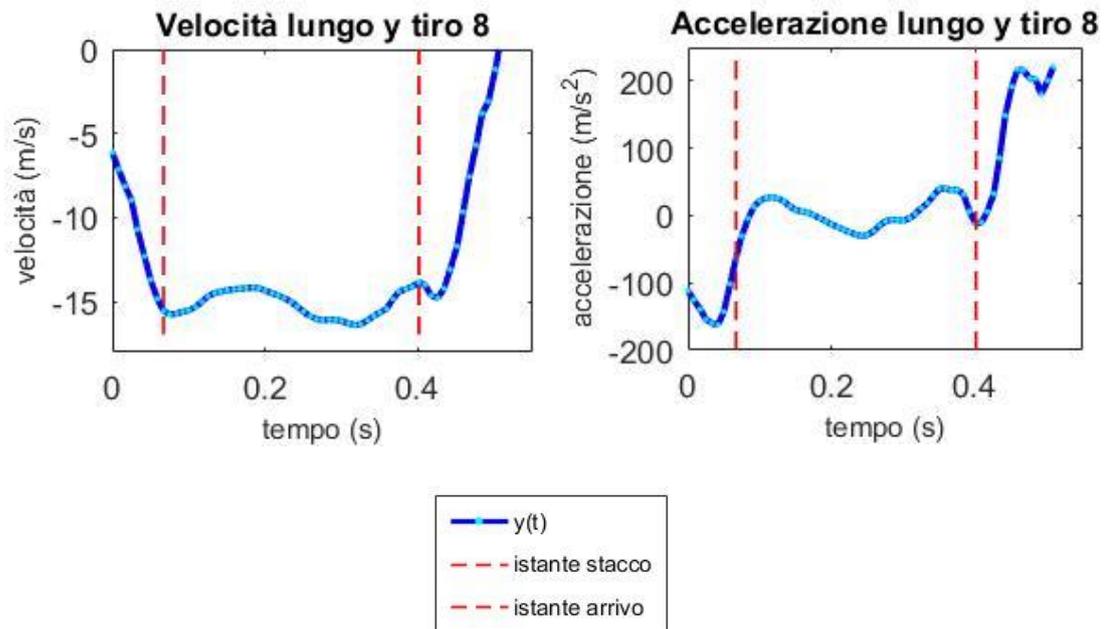


Figura 5.15 Andamento velocità e accelerazione lungo y di un tiro IN

In Figura 5.16 si possono osservare la traiettoria della palla lungo y nel tempo e anche la traiettoria nel piano yz.

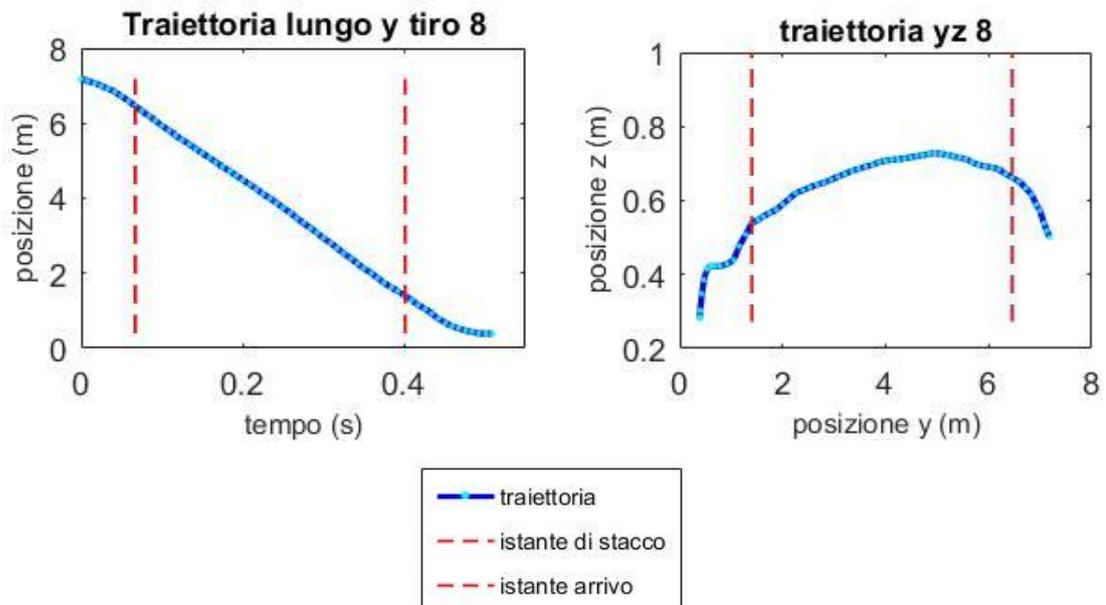


Figura 5.16 Andamento della traiettoria della palla lungo y e nel piano yz

Durante l'analisi dei valori medi si è notato che i valori di velocità ed accelerazione relativi all'istante di arrivo in porta della palla per i tiri che colpiscono il palo o la traversa (celle in giallo), sono molto inferiori rispetto a quelli dei tiri che entrano in porta o vanno fuori (Tabella 5.5).

		Velocità palla - arrivo in porta (m/s)									
		Soggetto	Rigore			Tiro al Volo			Finta		
valore istantaneo	1	17,39	16,43	16,38	15,24	15,46	3,96	2,74	15,45	14,77	
	2	13,92	13,90	13,90	14,59	14,46	12,64	12,34	13,15	13,91	
	3	14,12	13,60	13,77	2,08	12,62	8,20	13,03	12,80	0,00	
Mean ±1	1	17,29	16,50	16,37	15,21	15,52	4,99	4,51	15,44	14,87	
	2	13,70	13,90	13,75	14,43	14,47	12,54	12,16	13,16	13,98	
	3	14,03	13,52	13,76	3,41	12,75	8,29	12,84	12,82	0,00	
Mean ±3	1	16,98	16,67	16,29	15,00	15,59	7,51	7,78	15,42	14,98	
	2	13,62	13,74	13,69	14,21	14,26	12,52	12,05	13,03	13,76	
	3	13,67	13,33	13,83	6,43	13,07	8,66	12,99	12,31	0,00	
Mean ±5	1	16,39	16,52	16,29	14,64	15,55	9,06	9,60	15,55	14,70	
	2	13,53	13,51	13,61	13,93	13,86	12,56	12,06	12,91	13,51	
	3	13,50	13,07	13,84	8,17	13,39	9,23	12,99	12,04	0,00	

Fuori
Dentro
Palo/Traversa
Non eseguito
7-dentro

Tabella 5.5 Valori della velocità all'arrivo in porta per media±1

Questa differenza è dovuta al fatto che nel momento dell'impatto della palla con la porta c'è una forte decelerazione e quindi se si considerano i valori all'istante preciso di arrivo in porta non è possibile effettuare un confronto tra i tiri con esiti differenti. L'urto tra la palla e la porta determina un'alterazione dell'informazione di andamento del moto della palla.

Dato che lo scopo dello studio è quello di fare una valutazione sulle grandezze relative ai tiri ed essendo il numero dei soggetti limitato, si vuole evitare di scartare alcuni tiri.

Inoltre non si vuole scartare i tiri che colpiscono palo o traversa in quanto per la valutazione che è stata fatta sulla precisione, come si vedrà in seguito, sono considerati fondamentali.

Per cui è stato verificato se si potesse andare a considerare i valori di velocità ed accelerazione relativi all'istante precedente a quello di arrivo in porta. Per la maggior parte dei tiri si è visto che tale istante corrisponde a 3 frame prima di quello di arrivo in porta.

Sono stati ricalcolati i valori di velocità e accelerazione considerando come istante di riferimento quello precedente all'impatto con la porta e sono state ricalcolate anche le medie su più frame, ma in questo caso si sono considerati solo i frame precedenti a quello di riferimento. Si hanno quindi la media-1, media -3, media -5.

	Soggetto	Velocità di arrivo in porta (m/s)					
		Tiro al Volo			Finta		
valore istantaneo	1	15,24	15,46	13,21	13,07	15,45	14,77
	2	14,59	14,46	12,64	12,34	13,15	13,91
	3	12,93	12,62	12,43	13,03	12,80	0,00
Mean ±1	1	15,21	15,52	12,87	12,55	15,44	14,87
	2	14,43	14,47	12,54	12,16	13,16	13,98
	3	12,44	12,75	12,25	12,84	12,82	0,00
Mean ±3	1	15,00	15,59	11,58	11,04	15,42	14,98
	2	14,21	14,26	12,52	12,05	13,03	13,76
	3	10,68	13,07	11,71	12,99	12,31	0,00
Mean ±5	1	14,64	15,55	11,15	11,29	15,55	14,70
	2	13,93	13,86	12,56	12,06	12,91	13,51
	3	10,08	13,39	11,50	12,99	12,04	0,00

Fuori
Dentro
Palo/Traversa
Non eseguito
7-dentro

Tabella 5.6 Valori ricalcolati della velocità all'arrivo in porta

Si noti in Tabella 5.6 che i tiri su palo o traversa (celle in giallo) sono stati ricalcolati come detto sopra e sono molto più simili a quelli degli altri tiri.

In questo modo è possibile effettuare un confronto senza dover scartare alcun tiro.

### 5.2.2 Pre-elaborazione coseni direttori di velocità

Dato un vettore nello spazio tridimensionale si possono ricavare gli angoli o meglio i coseni degli angoli che questo vettore forma con gli assi coordinati.

Tramite l'analisi dei coseni direttori della velocità è stato possibile avere conferma del fatto che la direzione  $y$  sia la direzione principale del moto e per tale motivo non è sbagliato procedere la valutazione utilizzando le grandezze solo lungo la componente  $y$ .

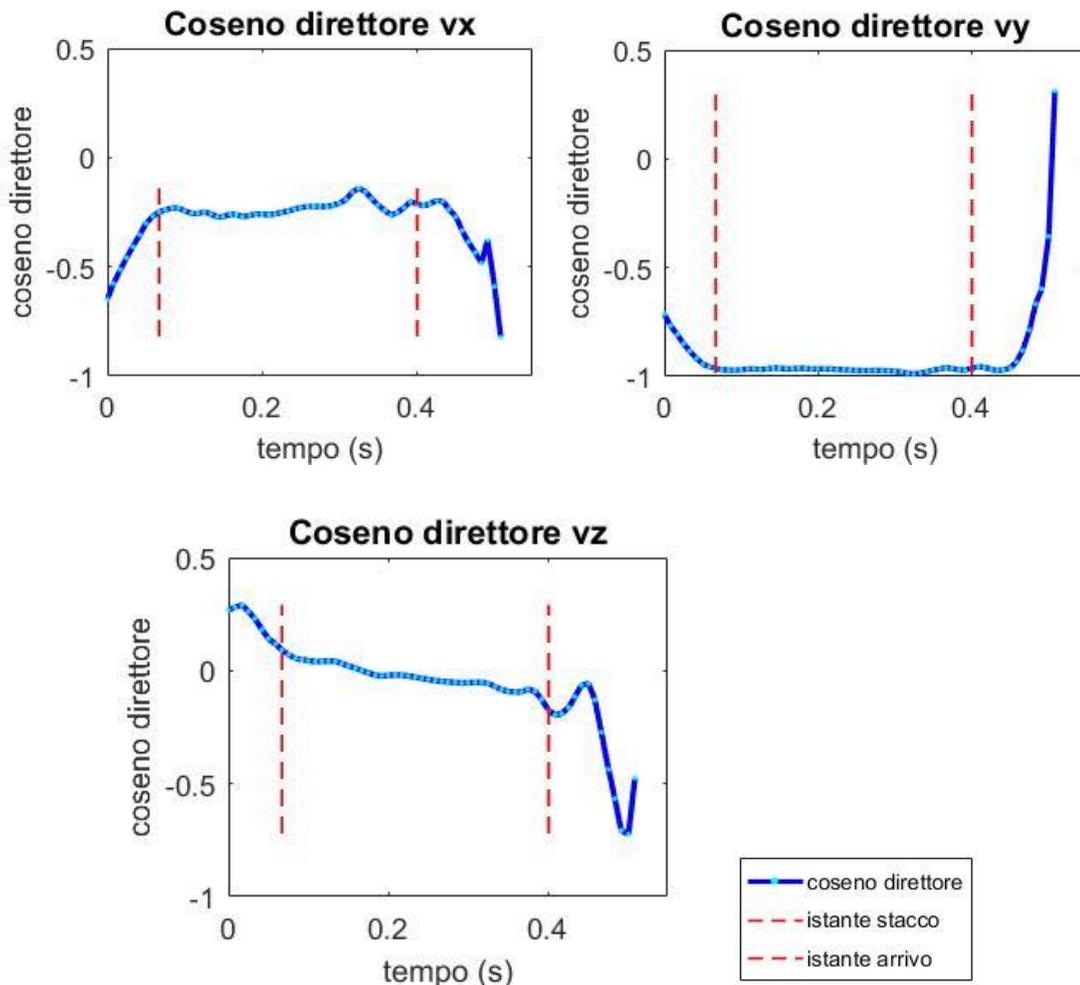


Figura 5.17 Coseni direttori della velocità di un tiro IN

In Figura 5.17 si nota che l'andamento del coseno direttore lungo  $y$  è uguale ma opposto in segno a quello della velocità rappresentata in Figura 5.12. Questo permette di concludere che è corretto utilizzare le grandezze lungo la componente  $y$  perché è rappresentativa del moto nella sua interezza.

### 5.2.3 Pre-elaborazione angolo di gomito e spalla

Per quanto riguarda gli angoli anatomici è stato valutato il valore estratto da SIMI° Motion con quello trovato in letteratura relativo ad uno studio condotto su delle atlete professioniste di pallamano (Van den Tillaar e Marques, 2011) [25].

Considerata la forte similarità tra il gesto sportivo di tiro ‘*overhead shot*’ nella pallamano e nella pallanuoto, si è ritenuto che si potesse effettuare un confronto tra i valori in letteratura e quelli ottenuti in questo studio [25].

Inizialmente sono stati estrapolati tramite *SIMI° Motion* alcuni valori di angolo di gomito e di spalla come riferimento, per accertare di poter utilizzare come riferimento quanto trovato in letteratura.

Sono stati rilevati i valori dell’angolo di flessione del gomito e di rotazione della spalla (Tabella 5.7).

atleta/tiro	flessione gomito (°)	rotazione interna spalla (°)
1/rp1	37	65
1/ rp2	37	71
1/ rp3	34	57
2/ rp1	38	59
2/ rp2	41	53
2/ rp3	37	46
3/ rp1	42	63
3/ rp2	33	62
3/ rp3	30	53
<b>MEDIA</b>	<b>37</b>	<b>59</b>
<b>STD</b>	<b>4</b>	<b>7</b>

Fuori
Dentro
Palo/Traversa

Tabella 5.7 Valori degli angoli per il tiro di rigore

I valori ottenuti sono  $37\pm 4^\circ$  per l’angolo di gomito e  $59\pm 7^\circ$  per l’angolo di spalla. I valori in letteratura (Van den Tillaar e Marques, 2011) sono per l’angolo di flessione del gomito  $60\pm 12^\circ$  e per l’angolo di rotazione interna della spalla  $93\pm 15^\circ$  [25]. La differenza tra i valori ottenuti nel presente studio e quelli

in letteratura non stupisce, in quanto nello studio della pallamano le atlete sono professioniste mentre nel presente studio le atlete sono semi-professioniste.

L'attenzione è stata focalizzata sulla valutazione della correlazione tra gli angoli anatomici e la massima velocità della palla per analizzare la possibile relazione tra le variabili anatomiche e quelle cinematiche. Inoltre essendo fondamentale l'esito finale del tiro per la valutazione della precisione, che è uno dei parametri principali di questo lavoro, si è deciso di valutare anche la correlazione tra gli angoli e il punteggio di precisione.

### ***5.3 Elaborazione definitiva dei dati***

Estratti i file .txt contenenti i dati grezzi di tutte le atlete per ogni tipologia di tiro per tutti i tentativi, è stato creato un file excel per ogni atleta. Ogni file contiene tutti i dati utili ovvero istante di stacco della palla dalla mano, istante di arrivo in porta della palla, coordinate dei vertici della porta, posizione, velocità e accelerazione della palla ad ogni istante del tiro lungo le 3 componenti e in valore assoluto. Tutti i dati citati ci sono sia per le acquisizioni della fase pre che per la fase post allenamento. Si specifica che in questo studio è intercorso un periodo di tempo di circa un mese e mezzo tra le due fasi.

I dati così raccolti sono stati importati nel software *Matlab* per essere manipolati ed elaborati per ottenere le variabili di interesse.

I passaggi che verranno di seguito descritti sono stati eseguiti sia per i dati pre allenamento che per quelli post allenamento. Si ricorda inoltre che le grandezze considerate sono le componenti lungo y, direzione principale del moto.

#### ***5.3.1 Elaborazione di velocità e accelerazione***

Per prima cosa sono state calcolate la velocità e l'accelerazione media $\pm 1$  frame, all'istante di stacco dalla mano e all'istante di arrivo in porta, utili per il calcolo della potenza.

Dato che per ogni tipologia di tiro si hanno tre tentativi è stata calcolata la media dei tre tiri per ottenere velocità e accelerazione media di ogni tipologia di tiro

per ogni atleta, utilizzata per effettuare un confronto dei valori pre e post allenamento.

<b>STACCO MANO</b>			
<b> tiro</b>	<b> soggetto</b>	<b> velocità media PRE (m/s)</b>	<b> velocità media POST (m/s)</b>
<b> R</b>	1	11,8±1.1	11,1±1.1
	2	11,9±1	11,4±0.1
	3	13,8±0.9	12,2±1
	4	12,9±0.2	13,7±0.4
	5	15,9±0.4	15,3±0.7
	6	12,4±0.5	12,1±0.3
	7	12,4±0.5	12,4±0.5
	8	13,9±0.4	13,2±0.2
	9	14,0±0.4	13,0±0.3
	10	14,7±0.5	13,8±0.1
	11	15,9±0.1	13,7±0.2
<b> MEDIA</b>		<b> 13,6</b>	<b> 12,9</b>
<b> STD</b>		<b> 1,5</b>	<b> 1,2</b>

*Tabella 5.8 Valori di velocità media lungo y per il tiro di rigore, pre e post allenamento*

In Tabella 5.8 sono riportati i valori di velocità media lungo y relativi al tiro di rigore per gli 11 soggetti, nella fase pre e post allenamento. Sono state realizzate delle tabelle uguali a questa per il tiro ‘passaggio + tiro al volo’ e per il tiro ‘passaggio + finta + tiro’ sia per la velocità che per l’accelerazione, per l’istante di stacco dalla mano e per l’istante di arrivo in porta.

È stata calcolata inoltre la velocità massima lungo y tra l’istante di stacco e l’istante di arrivo in porta, utile per la valutazione della correlazione con gli angoli anatomici e con il punteggio di precisione. Anche in questo caso è stata calcolata la media dei tre tentativi per ogni tiro per ogni atleta.

<b>tiro</b>	<b>soggetto</b>	<b>vel max media PRE (m/s)</b>	<b>vel max media POST (m/s)</b>
<b>R</b>	1	11,9±1.1	12,2±0.9
	2	12,3±1.1	11,8±0.1
	3	15,1±1.9	14,0±0.6
	4	13,6±0.9	14,0±0.3
	5	17,6±0.3	16,5±0.3
	6	13,1±0.3	13,1±0.5
	7	12,8±0.3	13,4±0.7
	8	14,7±0.3	13,8±0.2
	9	14,3±0.4	14,3±0.1
	10	15,4±0.5	14,1±0.2
	11	16,9±0.2	14,9±0.6
<b>MEDIA</b>		<b>14,3</b>	<b>13,8</b>
<b>STD</b>		<b>1,8</b>	<b>1,3</b>

*Tabella 5.9 Valori di velocità massima media per il tiro di rigore, pre e post allenamento*

In Tabella 5.9 sono riportati i valori di velocità massima media lungo y relativi al tiro di rigore per gli 11 soggetti, nella fase pre e post allenamento. Sono state realizzate delle tabelle uguali a questa per il tiro ‘passaggio + tiro al volo’ e per il tiro ‘passaggio + finta + tiro’.

### ***5.3.2 Elaborazione della potenza***

La potenza di tiro si ottiene con modello matematico semplificato dalla formula fisica

$$P = F \cdot v$$

Dove:

- $F = m \cdot a$  per la II legge di Newton
- $m$  massa nota della palla ( $m=0.4$  kg)
- $a$  accelerazione della palla
- $v$  velocità della palla

Per questo calcolo si utilizzano la velocità e l'accelerazione media $\pm 1$  all'istante di stacco della palla dalla mano e all'istante di arrivo in porta, sia per la fase pre che post allenamento.

<b>STACCO MANO</b>			
<b> tiro</b>	<b> soggetto</b>	<b> Potenza y media PRE [W]</b>	<b> Potenza y media POST [W]</b>
<b> R</b>	1	83,1 $\pm$ 54.6	95,5 $\pm$ 45.1
	2	133,8 $\pm$ 84.9	86,7 $\pm$ 32.2
	3	165,9 $\pm$ 105.3	67,9 $\pm$ 128.8
	4	71,7 $\pm$ 14.8	131,8 $\pm$ 64.7
	5	854,8 $\pm$ 96.1	343,3 $\pm$ 77.9
	6	131,2 $\pm$ 53.8	217,5 $\pm$ 21.6
	7	97,2 $\pm$ 53.2	146,8 $\pm$ 30.7
	8	321,4 $\pm$ 104.9	244,1 $\pm$ 55.8
	9	157,3 $\pm$ 113.5	97,1 $\pm$ 38.4
	10	112,5 $\pm$ 85.8	167,7 $\pm$ 36.9
	11	200,4 $\pm$ 72.8	302,5 $\pm$ 63.9
<b> MEDIA</b>		<b> 211,7</b>	<b> 172,8</b>
<b> STD</b>		<b> 224,1</b>	<b> 92,5</b>

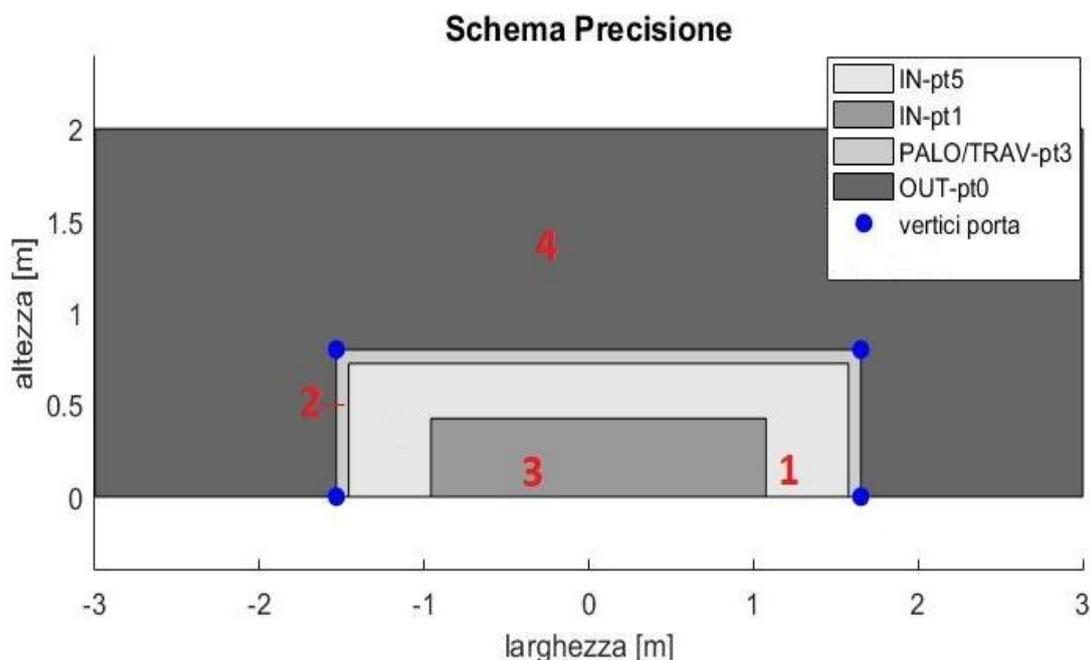
*Tabella 5.10 Valori di potenza media lungo y per il tiro di rigore, pre e post allenamento*

La Tabella 5.10 riporta i valori medi di potenza lungo y per il tiro di rigore, pre e post allenamento, relativi all'istante di stacco della palla dalla mano. Sono state realizzate delle tabelle uguali a questa per il tiro 'passaggio + tiro al volo' e per il tiro 'passaggio + finta + tiro', per l'istante di stacco dalla mano e quello di arrivo in porta.

### ***5.3.3 Elaborazione del punteggio di precisione***

Per il calcolo del punteggio di precisione è stato implementato un codice in cui, sulla base delle coordinate dei vertici della porta e della palla all'istante di arrivo in porta, in maniera automatica venisse attribuito un punteggio al singolo tentativo.

I punteggi sono stati attribuiti in base alla zona di arrivo della palla.



*Figura 5.18 Zone di precisione*

Come si può vedere in Figura 5.18 sono state individuate 4 zone e ad ognuna è stato attribuito un punteggio di precisione:

- Zona 1: perimetro più esterno dello specchio di porta dello spessore di 0.5m dai pali e di 0.3 dalla traversa, punteggio 5
- Zona 2: palo o traversa, punteggio 3
- Zona 3: perimetro centrale dello specchio di porta, punteggio 1
- Zona 4: fuori dallo specchio di porta, punteggio 0

Il punteggio è crescente con la precisione. Si precisa che la richiesta che è stata fatta i soggetti è di effettuare il tiro più preciso possibile, dove per precisione si intende indirizzare la palla sugli angoli e nella fascia superiore della porta (zona 1). Sulla base della richiesta fatta si è deciso di attribuire un punteggio maggiore ai tiri che colpiscono palo/traversa piuttosto che a quelli che entrano in porta nella zona centrale, in quanto i primi si avvicinano di più alla zona considerata di maggiore precisione. Inoltre bisogna considerare che i tiri sono stati eseguiti

senza portiere per cui è ancora più semplice riuscire a fare entrare la palla nella zona centrale, motivo in più per cui è stata fatta la scelta in merito ai punteggi.

Di seguito si riporta una rappresentazione grafica della posizione della porta con relative zone di precisione e della palla per un tiro (Figura 5.19). Per il tiro riportato come esempio il punteggio di precisione è pari a 5.

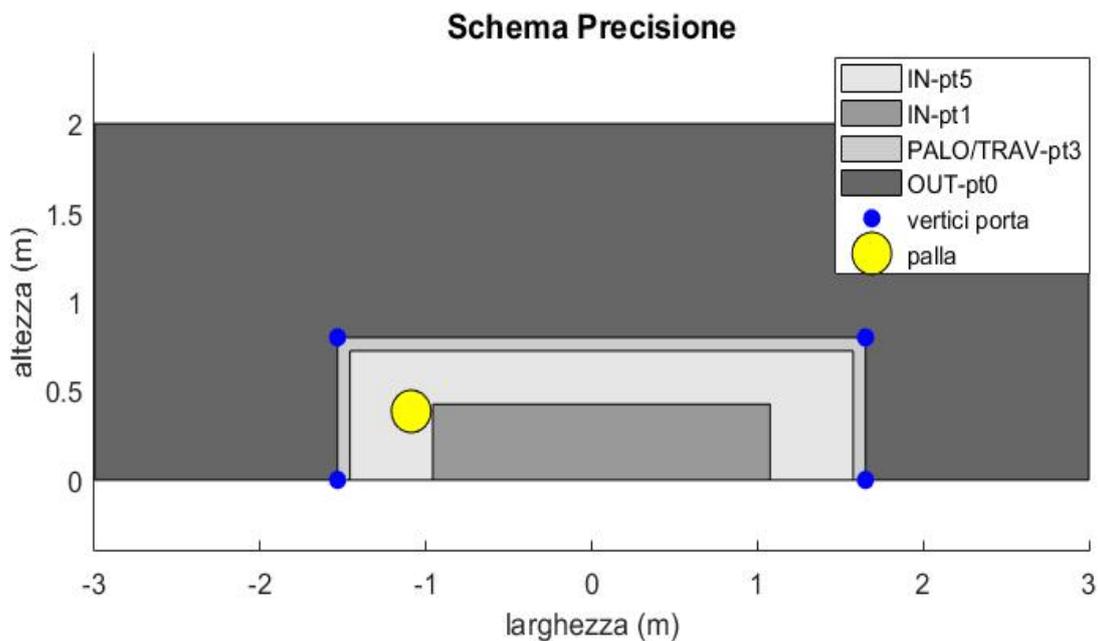


Figura 5.19 Rappresentazione grafica delle zone di precisione e della posizione della palla per un tiro

Ad ogni tentativo effettuato per ogni tipologia per ogni atleta è stato assegnato il punteggio corrispondente. Inoltre è stato calcolato anche il punteggio totale su ogni tiro come somma dei punteggi dei tre tentativi.

<b> tiro</b>	<b> soggetto</b>	<b> precisione totale PRE</b>	<b> precisione totale POST</b>
<b> R</b>	1	11	10
	2	11	13
	3	5	1
	4	11	11
	5	11	15
	6	6	8
	7	13	9
	8	10	13
	9	15	13
	10	13	15
	11	15	15
<b> MEDIA</b>		<b> 11</b>	<b> 11</b>
<b> STD</b>		<b> 3</b>	<b> 4</b>

*Tabella 5.11 Valori del punteggio totale del tiro di rigore, pre e post allenamento*

In Tabella 5.11 sono riportati i valori del punteggio totale del tiro di rigore di tutte le atlete, pre e post allenamento. Sono state realizzate delle tabelle uguali a questa per il tiro ‘passaggio + tiro al volo’ e per il tiro ‘passaggio + finta + tiro’.

### ***5.3.4 Elaborazione dell’angolo di gomito e spalla***

Infine sono stati calcolati gli angoli anatomici di gomito e spalla.

L’angolo di gomito rappresenta la flessione del gomito ed è l’angolo formato dall’asse passante per spalla e gomito e l’asse passante per gomito e polso (Figura 5.20).

L’angolo di spalla definisce la rotazione interna della spalla ed è l’angolo formato dal piano spalla-gomito-polso e dal piano orizzontale (Figura 5.20).

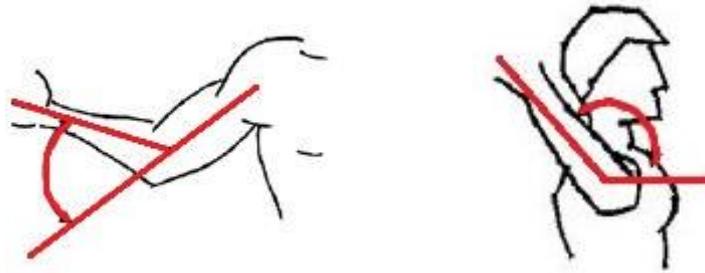


Figura 5.20 Angolo di gomito (a sinistra) e Angolo di spalla (a destra)

I valori degli angoli vengono direttamente restituiti da *SIMI° Motion*, l'unica accortezza che bisogna fare è per l'angolo di gomito in quanto il valore ottenuto va sottratto a 180° (angolo di massima estensione) per ottenere l'angolo di interesse.

tiro	soggetto	angolo gomito medio pre (°)	angolo gomito medio post (°)	angolo spalla medio pre (°)	angolo medio spalla post (°)
R	1	28,9±14,2	39±4,9	52,4±11,2	68,2±6,9
	2	34,7±6,1	33,6±7	59,2±5,9	57,8±1,9
	3	19,3±7	34,5±10,2	60,2±10,5	73,1±6
	4	38,6±2,1	22,6±2,8	52,7±6,3	42,3±3,8
	5	15,1±0,2	20,4±2,8	39,4±9,1	46,7±5,2
	6	35,3±1,7	37,4±3,6	64,5±7	64,4±3,5
	7	41,4±12,9	52,9±3,7	62,3±10,4	65,8±3,3
	8	22±7	22,3±2,9	69,7±5,6	64±3,2
	9	26±8	38,5±5,6	48,4±8,7	57,9±7,5
	10	26,7±5,5	22±0,8	56,5±4	56,2±1,3
	11	29,4±10,3	21,2±8,1	51,1±14,3	62,1±3,7
<b>MEDIA</b>		<b>28,9</b>	<b>31,3</b>	<b>56,1</b>	<b>59,9</b>
<b>STD</b>		<b>8,2</b>	<b>10,5</b>	<b>8,4</b>	<b>9,1</b>

Tabella 5.12 Valori medi pre e post dell'angolo di gomito e di spalla per il tiro di rigore

In Tabella 5.12 sono riportati i valori medi dell'angolo di gomito e spalla del tiro di rigore di tutte le atlete, pre e post allenamento. Sono state realizzate delle tabelle uguali a questa per il tiro 'passaggio + tiro al volo' e per il tiro 'passaggio + finta + tiro'.

## ***6 Risultati***

Di seguito vengono raccolti i risultati ottenuti mediante analisi statistica dei dati elaborati. Per l'analisi è stato utilizzato il software *IBM SPSS Statistics Version 22*. Sono stati eseguiti test per confrontare le diverse variabili nella fase pre e post allenamento, per valutare eventuali cambiamenti tra le due fasi di acquisizione dei dati. Inoltre è stata valutata anche la correlazione tra alcune delle grandezze estrapolate. Si ricorda che tutte le grandezze di seguito sono intese lungo la direzione y.

### ***6.1 Velocità ed accelerazione***

In prima battuta sono state valutate velocità e accelerazione nella fase pre e post allenamento per vedere come queste grandezze si sono evolute a fronte degli esercizi proposti. Per l'analisi sono stati considerati i valori di velocità e accelerazione mediati sui tre tentativi eseguiti da ogni atleta per ogni tipologia di tiro, per cui si hanno 33 tiri pre e 33 tiri post su cui eseguire l'analisi.

I valori di velocità e accelerazione sono stati considerati in due istanti, all'istante di stacco della palla dalla mano e all'istante di arrivo in porta della palla. Per cui sono state effettuate due considerazioni distinte sia per la velocità che per l'accelerazione.

#### ***6.1.1 Velocità***

Inizialmente è stata fatta un'analisi generale considerando tutte le tipologie di tiro assieme.

- **Istante di stacco della palla dalla mano**

Si effettua il test di normalità, applicando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre della velocità della palla allo stacco dalla mano. Dato che il valore di p\_value è pari a 0.4 risulta maggiore di 0.05, si deduce che la distribuzione è normale.

Per cui si procede con il test parametrico, T-test a campioni accoppiati, per comparare la velocità pre e post su tutte le tipologie di tiro.

In Tabella 6.1 si riporta la statistica descrittiva dei valori di velocità pre e post allenamento.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N tiri</b>	<b>Media (m/s)</b>	<b>SD (m/s)</b>
<b>Velocità PRE</b>	33	13.3	1.3
<b>Velocità POST</b>	33	12.5	1

*Tabella 6.1 Statistica descrittiva della velocità pre e post all'istante di stacco dalla mano*

In Tabella 6.2 si riportano i risultati del test statistico.

<b>T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI</b>	
<b>t</b>	<b>p</b>
6	<0.001

*Tabella 6.2 Risultato del t-test della velocità pre e post allo stacco dalla mano*

Dato che il  $t_{\text{score}}$  è pari a 6 c'è una grande differenza tra i valori della velocità della palla allo stacco dalla mano pre e post allenamento, inoltre il valore del  $p_{\text{value}}$  è < di 0.001 per cui c'è significatività statistica. In particolare si può notare una diminuzione della velocità tra la fase pre e la fase post.

- **Istante di arrivo in porta**

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre della velocità della palla all'arrivo in porta.

Dato che  $p_{\text{value}}$  è pari a 0.064 la distribuzione è ai limiti della normalità.

È possibile applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati per comparare la velocità all'arrivo in porta pre e post allenamento.

In Tabella 6.3 si riporta la statistica descrittiva della velocità pre e post allenamento.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N tiri</b>	<b>Media (m/s)</b>	<b>SD (m/s)</b>
<b>Velocità PRE</b>	33	12.2	1.7
<b>Velocità POST</b>	33	12.19	1.3

*Tabella 6.3 Statistica descrittiva della velocità pre e post all'istante di arrivo in porta*

In Tabella 6.4 si riporta il risultato del test statistico

<b>T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI</b>	
<b>t</b>	<b>p</b>
0.01	0.9

*Tabella 6.4 Risultato del t-test su velocità pre e post all'arrivo in porta*

Il  $t_{score}$  è pari a 0.01 il che significa che i valori di velocità della palla all'arrivo in porta pre e post allenamento sono identici e questo lo si può notare anche dai valori delle medie, dato che  $p\_value$  vale 0.9 non si ha significatività statistica.

Successivamente si verifica se l'andamento complessivo è influenzato allo stesso modo da tutte le tipologie di tiro oppure se ci sono delle differenze apprezzabili tra di esse.

- **Istante di stacco della palla dalla mano**

### **TIRO DI RIGORE**

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre della velocità allo stacco per il tiro di rigore.

Dato che  $p\_value$  è pari a 0.7 la distribuzione è normale. È possibile applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.5 si riporta la statistica descrittiva della velocità pre e post del tiro di rigore.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N soggetti</b>	<b>Media (m/s)</b>	<b>SD (m/s)</b>
<b>Velocità PRE</b>	11	13.6	1.5
<b>Velocità POST</b>	11	12.9	1.2

Tabella 6.5 Statistica descrittiva della velocità pre e post del tiro di rigore

In Tabella 6.6 si riporta il risultato del test statistico

<b>T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI</b>	
<b>t</b>	<b>p</b>
3	0.01

Tabella 6.6 Risultato del t-test sulla velocità pre e post del tiro di rigore

Il t\_score è pari a 3 il che significa che i valori di velocità della palla allo stacco pre e post allenamento nel tiro di rigore sono diversi, nello specifico c'è una diminuzione nella fase post. Si può notare questa differenza nel diagramma a barre (Figura 6.1). Dato che il p\_value vale 0.01 si ha significatività statistica.

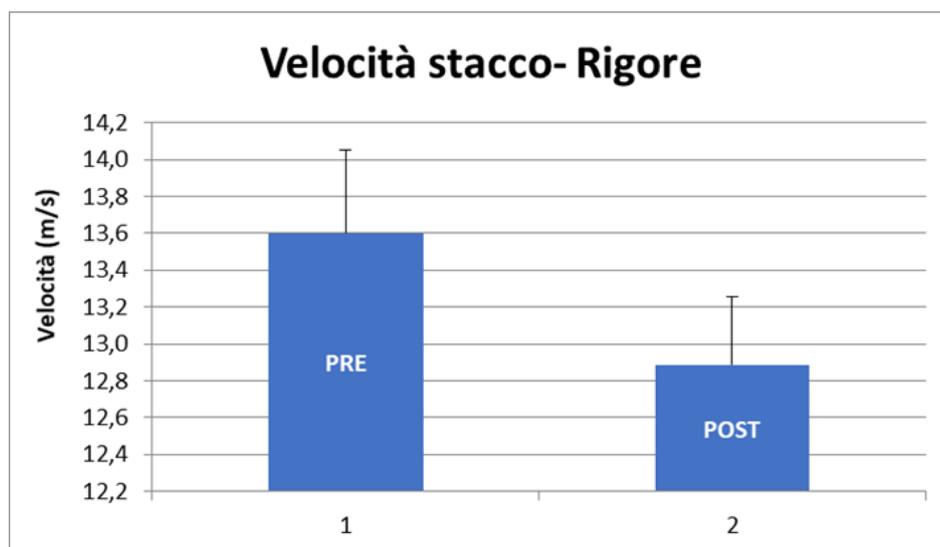


Figura 6.1 Diagramma a barre della velocità di stacco del tiro di rigore

## TIRO AL VOLO

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre della velocità allo stacco per il tiro al volo.

Dato che  $p\_value$  è pari a 0.9 la distribuzione è normale. È possibile applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.7 è riportata la statistica descrittiva della velocità pre e post del tiro al volo.

STATISTICA DESCRITTIVA			
	N soggetti	Media (m/s)	SD (m/s)
<b>Velocità PRE</b>	11	12.9	1
<b>Velocità POST</b>	11	12.1	0.6

Tabella 6.7 Statistica descrittiva della velocità pre e post del tiro al volo

In Tabella 6.8 è riportato il risultato del test statistico.

T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI	
t	p
3.8	0.003

Tabella 6.8 Risultato del t-test sulla velocità pre e post del tiro di rigore

Il  $t\_score$  è pari a 3.8 il che significa che i valori di velocità della palla allo stacco pre e post allenamento nel tiro al volo sono diversi, nello specifico c'è una diminuzione. Dato che  $p\_value$  vale 0.003 si ha significatività statistica. Si può notare la diminuzione del valor medio nel diagramma a barre (Figura 6.2).

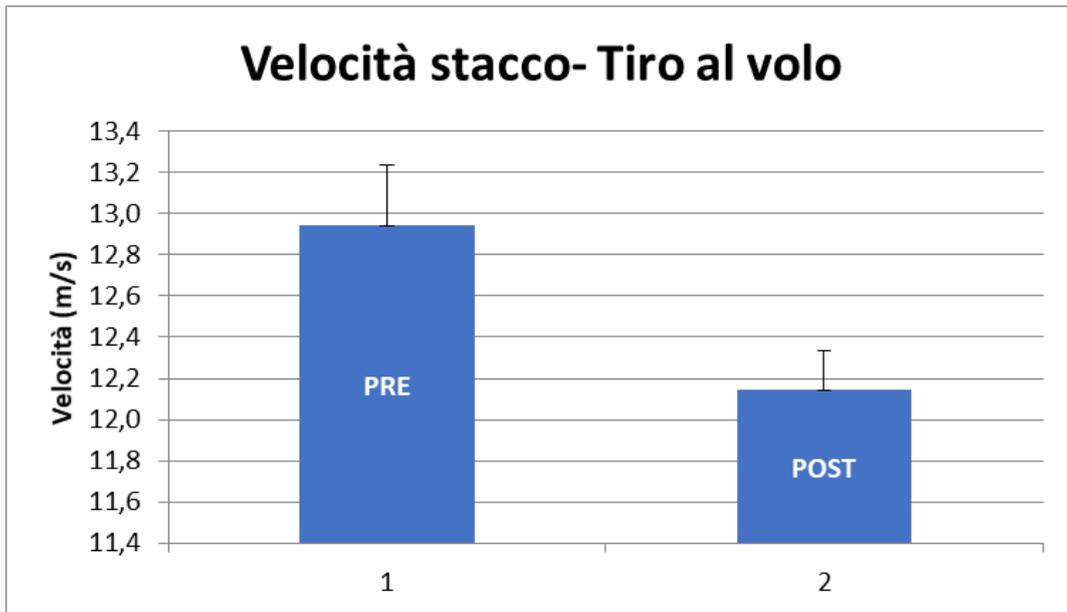


Figura 6.2 Diagramma a barre per la velocità di stacco del tiro al volo

## FINTA

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre della velocità allo stacco per il tiro con la finta.

Dato che  $p\_value$  è pari a 0.4 la distribuzione è normale. È possibile applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.9 è riportata la statistica descrittiva della velocità pre e post del tiro con finta.

STATISTICA DESCRITTIVA			
	N soggetti	Media (m/s)	SD (m/s)
<b>Velocità PRE</b>	11	13.3	1.4
<b>Velocità POST</b>	11	12.5	0.9

Tabella 6.9 Statistica descrittiva della velocità pre e post del tiro con finta

In Tabella 6.10 è riportato il risultato del test statistico.

<b>T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI</b>	
<b>t</b>	<b>p</b>
3.3	0.007

Tabella 6.10 Risultato del t-test sulla velocità pre e post del tiro con finta

Il  $t_{score}$  è pari a 3.3 il che significa che i valori di velocità della palla allo stacco pre e post allenamento nel tiro con finta sono diversi. Dato che il  $p_{value}$  vale 0.007 si ha significatività statistica. Dal diagramma a barre si nota la diminuzione della media nelle due fasi (Figura 6.3).

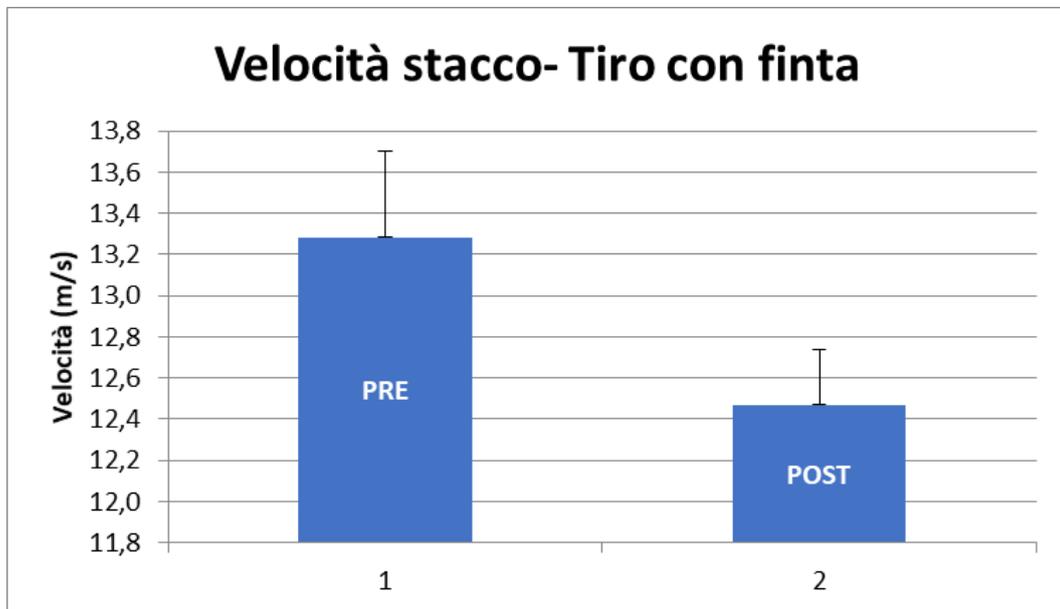


Figura 6.3 Diagramma a barre della velocità di stacco del tiro con finta

- **Istante di arrivo in porta**

### **RIGORE**

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre della velocità all'arrivo in porta per il tiro di rigore.

Dato che  $p_{value}$  è pari a 0.6 la distribuzione è normale. È possibile applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.11 è riportata la statistica descrittiva della velocità pre e post del tiro di rigore.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N soggetti</b>	<b>Media (m/s)</b>	<b>SD (m/s)</b>
<b>Velocità PRE</b>	11	12.7	1.6
<b>Velocità POST</b>	11	12.2	1.8

Tabella 6.11 Statistica descrittiva della velocità pre e post del tiro di rigore

In Tabella 6.12 è riportato il risultato del test statistico.

<b>T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI</b>	
<b>t</b>	<b>p</b>
1.1	0.3

Tabella 6.12 Risultato del t-test della velocità pre e post per il tiro di rigore

Il t\_score è pari a 1.1 il che significa che i valori di velocità della palla all'arrivo in porta pre e post allenamento sono leggermente diversi, dato che p\_value vale 0.3 non si ha significatività statistica.

Dal diagramma in Figura 6.4 si nota la leggera differenza tra la media della velocità pre e post.

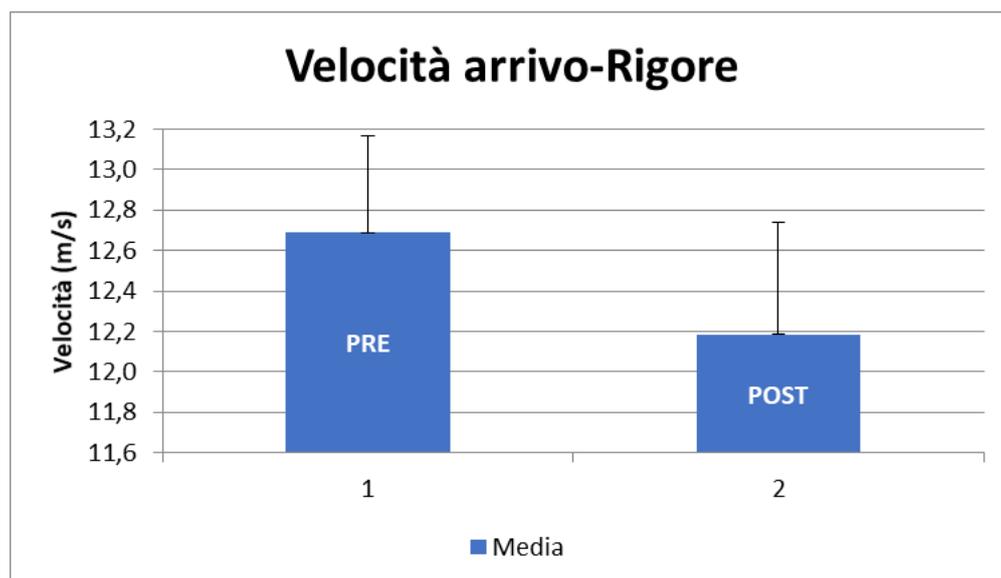


Figura 6.4 Diagramma a barre della velocità di arrivo del tiro di rigore

## TIRO AL VOLO

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre della velocità all'arrivo in porta per il tiro al volo.

Dato che p\_value è pari a 0.25 la distribuzione è normale. È possibile applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.13 è riportata la statistica descrittiva della velocità pre e post del tiro al volo.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N soggetti</b>	<b>Media (m/s)</b>	<b>SD (m/s)</b>
<b>Velocità PRE</b>	11	11.7	1.7
<b>Velocità POST</b>	11	12.1	0.9

Tabella 6.13 Statistica descrittiva della velocità pre e post del tiro al volo

In Tabella 6.14 è riportato il risultato del test statistico.

<b>T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI</b>	
<b>t</b>	<b>p</b>
-0.7	0.5

Tabella 6.14 Risultato del t-test della velocità pre e post del tiro al volo

Il t\_score è pari a -0.7 il che significa che i valori di velocità della palla all'arrivo in porta pre e post allenamento sono simili, dato che p\_value vale 0.5 non si ha significatività statistica. Anche in questo caso si può visualizzare la differenza tra le due medie (Figura 6.5), si nota che non vi è molta differenza tra le due a confermare il risultato del test statistico.

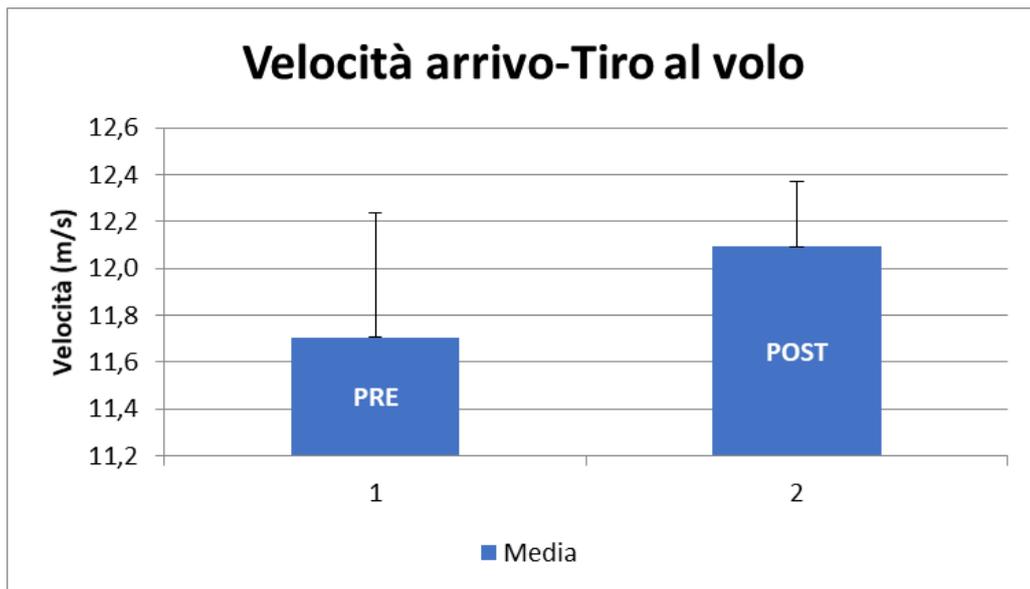


Figura 6.5 Diagramma a barre della velocità di arrivo del tiro al volo

## TIRO CON FINTA

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre della velocità all'arrivo in porta per il tiro con finta.

Dato che  $p\_value$  è pari a 0.002 la distribuzione non è normale. Si deve applicare la statistica non parametrica, si effettua un T-Test a 2 campioni correlati (Wilcoxon).

In Tabella 6.15 è riportata la statistica descrittiva della velocità pre e post del tiro con finta.

STATISTICA DESCRITTIVA			
	N soggetti	Media (m/s)	SD (m/s)
<b>Velocità PRE</b>	11	12.2	1.9
<b>Velocità POST</b>	11	12.3	1.1

Tabella 6.15 Statistica descrittiva della velocità pre e post del tiro con finta

In Tabella 6.16 è riportato il risultato del test statistico.

<b>T-TEST A 2 CAMPIONI CORRELATI</b>	
<b>Z</b>	<b>p</b>
-0.6	0.6

Tabella 6.16 Risultato del test di Wilcoxon della velocità pre e post del tiro con finta

Lo  $z_{score}$  è pari a -0.6 il che significa che i valori di velocità della palla all'arrivo in porta pre e post allenamento sono molto simili, dato che  $p_{value}$  vale 0.6 non si ha significatività statistica. Si può osservare in Figura 6.6 il lieve aumento della media della velocità.

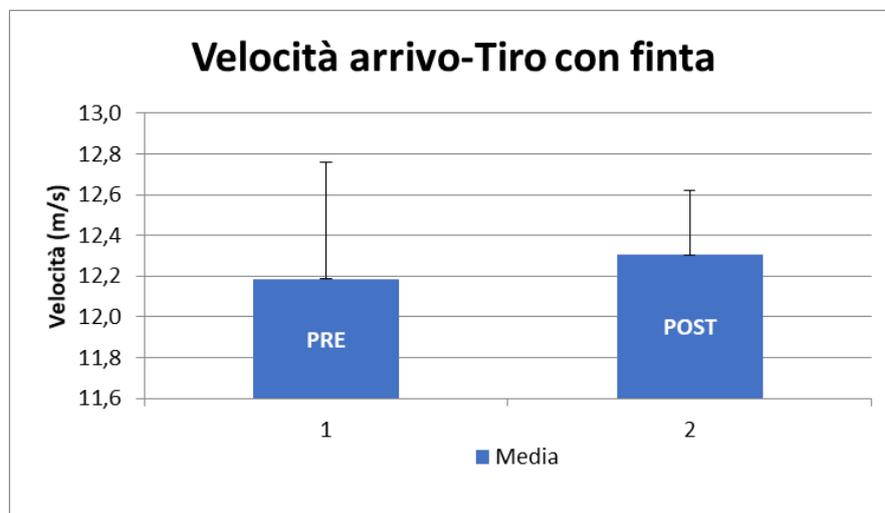


Figura 6.6 Diagramma a barre della velocità di arrivo del tiro con finta

## 6.2 Accelerazione

Inizialmente è stata fatta un'analisi generale considerando tutte le tipologie di tiro assieme. Sono stati considerati i valori di accelerazione mediati sui tre tentativi eseguiti da ogni atleta per ogni tipologia di tiro, per cui si hanno 33 tiri pre e 33 tiri post su cui eseguire l'analisi.

- **Istante di stacco della palla dalla mano**

Si effettua il test di normalità, applicando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre della accelerazione della palla allo stacco dalla mano.

Dato che il valore di  $p\_value < 0.001$  si deduce che la distribuzione non sia normale. Per cui si procede con il test non parametrico a campioni correlati (Wilcoxon) per comparare l'accelerazione pre e post allenamento.

In Tabella 6.17 è riportata la statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post all'istante di stacco.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N tiri</b>	<b>Media (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>SD (m/s<sup>2</sup>)</b>
<b>Accelerazione PRE</b>	33	33.5	27.5
<b>Accelerazione POST</b>	33	33.1	13.9

*Tabella 6.17 Statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post all'istante di stacco dalla mano*

In Tabella 6.18 è riportato il risultato del test statistico.

<b>TEST A 2 CAMPIONI CORRELATI</b>	
<b>Z</b>	<b>p</b>
-0.8	0.4

*Tabella 6.18 Risultato del test di Wilcoxon dell'accelerazione pre e post allo stacco dalla mano*

Dato che lo  $z\_score$  è pari a -0.8 non c'è differenza sostanziale tra i valori dell'accelerazione della palla allo stacco dalla mano pre e post allenamento, inoltre il valore del  $p\_value$  è 0.4 per cui non c'è significatività statistica.

- **Istante di arrivo in porta**

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre dell'accelerazione della palla all'arrivo in porta.

Dato che  $p\_value$  è pari a 0.7 la distribuzione è normale. È possibile applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.19 è riportata la statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post all'istante di arrivo.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N tiri</b>	<b>Media (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>SD (m/s<sup>2</sup>)</b>
<b>Accelerazione PRE</b>	33	47.9	41.4
<b>Accelerazione POST</b>	33	49.5	39.2

*Tabella 6.19 Statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post all'arrivo*

In Tabella 6.20 è riportato il risultato del test statistico.

<b>T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI</b>	
<b>t</b>	<b>p</b>
-0.15	0.9

*Tabella 6.20 Risultato del t-test sull'accelerazione pre e post all'arrivo*

Il t<sub>score</sub> è pari a -0.15 il che significa che i valori di accelerazione della palla all'arrivo in porta pre e post allenamento sono quasi identici, dato che p<sub>value</sub> vale 0.9 non si ha significatività statistica.

Successivamente si verifica se l'andamento complessivo è influenzato allo stesso modo da tutte le tipologie di tiro oppure se ci sono delle differenze apprezzabili tra di esse.

- **Istante di stacco della palla dalla mano**

### **RIGORE**

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre dell'accelerazione allo stacco per il tiro di rigore.

Dato che p<sub>value</sub> è pari a 0.006 la distribuzione non è normale. Si deve applicare la statistica non parametrica, si effettua un T-Test a 2 campioni correlati (Wilcoxon).

In Tabella 6.21 è riportata la statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post del tiro di rigore.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N soggetti</b>	<b>Media (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>SD (m/s<sup>2</sup>)</b>
<b>Accelerazione PRE</b>	11	36.9	34.3
<b>Accelerazione POST</b>	11	32.6	15.5

*Tabella 6.21 Statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post del tiro di rigore*

In Tabella 6.22 è riportato il risultato del test statistico.

<b>T-TEST A 2 CAMPIONI CORRELATI</b>	
<b>Z</b>	<b>p</b>
-0.3	0.8

*Tabella 6.22 Risultati del test di Wilcoxon dell'accelerazione pre e post del tiro di rigore*

Lo z\_score è pari a -0.3 il che significa che i valori di accelerazione allo stacco pre e post allenamento nel tiro di rigore sono molto simili. Dato che p\_value vale 0.8 non si ha significatività statistica.

Dal diagramma in Figura 6.7 si nota che c'è una diminuzione ma non sostanziale tra la media dell'accelerazione pre e post allenamento, a confermare il risultato del test statistico.

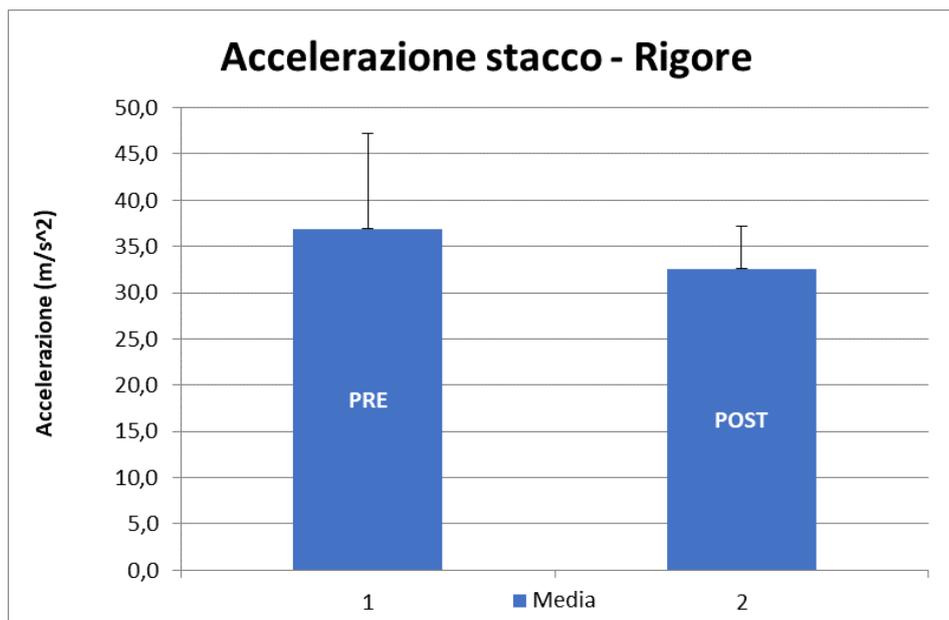


Figura 6.7 Diagramma a barre dell'accelerazione di stacco del tiro di rigore

## TIRO AL VOLO

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre dell'accelerazione allo stacco per il tiro al volo. Dato che  $p\_value$  è pari a 0.005 la distribuzione non è normale. Si deve applicare la statistica non parametrica, si effettua un T-Test a 2 campioni correlati (Wilcoxon).

In Tabella 6.23 è riportata la statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post del tiro al volo.

STATISTICA DESCRITTIVA			
	N soggetti	Media (m/s <sup>2</sup> )	SD (m/s <sup>2</sup> )
<b>Accelerazione PRE</b>	11	34.8	31.5
<b>Accelerazione POST</b>	11	34.2	13.8

Tabella 6.23 Statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post del tiro al volo

In Tabella 6.24 è riportato il risultato del test statistico.

<b>T-TEST A 2 CAMPIONI CORRELATI</b>	
<b>Z</b>	<b>p</b>
-0.4	0.7

Tabella 6.24 Risultato del test di Wilcoxon sull'accelerazione pre e post del tiro al volo

Lo z\_score è pari a -0.4 il che significa che i valori di accelerazione allo stacco pre e post allenamento nel tiro al volo sono molto simili. Dato che p\_value vale 0.7 non si ha significatività statistica. Dal diagramma in Figura 6.8 si nota che c'è una diminuzione ma irrisoria tra la media dell'accelerazione pre e post allenamento, a confermare il risultato del test statistico.

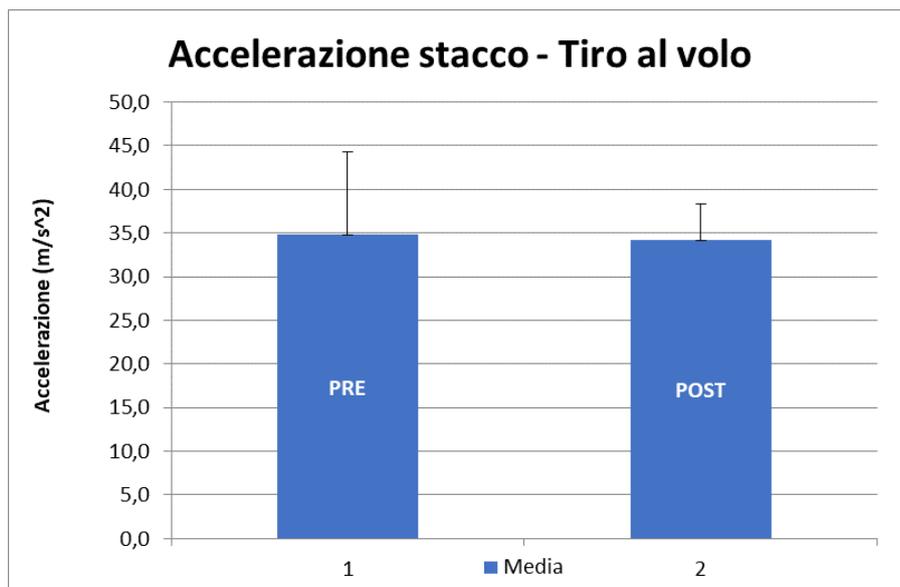


Figura 6.8 Diagramma a barre dell'accelerazione di stacco del tiro al volo

## TIRO CON FINTA

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre dell'accelerazione allo stacco per il tiro con finta.

Dato che p\_value è pari a 0.5 la distribuzione è normale. Si può applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.25 è riportata la statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post del tiro con finta.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N soggetti</b>	<b>Media (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>SD (m/s<sup>2</sup>)</b>
<b>Accelerazione PRE</b>	11	28.7	14.5
<b>Accelerazione POST</b>	11	32.5	13.8

Tabella 6.25 Statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post del tiro con finta

In Tabella 6.26 è riportato il risultato del test statistico.

<b>T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI</b>	
<b>t</b>	<b>p</b>
-0.8	0.5

Tabella 6.26 Risultato del t-test dell'accelerazione pre e post del tiro con finta

Il t\_score è pari a -0.8 il che significa che i valori di accelerazione allo stacco pre e post allenamento nel tiro con finta sono molto simili. Dato che p\_value vale 0.5 non si ha significatività statistica. Dal diagramma in Figura 6.9 si nota che c'è un aumento ma molto contenuto tra la media dell'accelerazione pre e post allenamento, a confermare il risultato del test statistico.

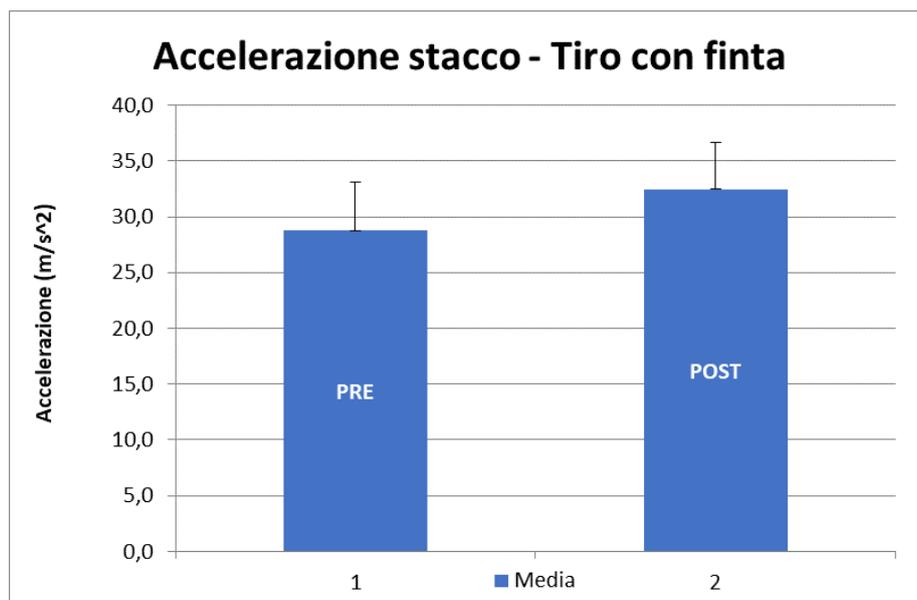


Figura 6.9 Diagramma a barre dell'accelerazione allo stacco del tiro con finta

- **Istante di arrivo in porta**

### **RIGORE**

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre dell'accelerazione per il tiro di rigore.

Dato che p\_value è pari a 0.7 la distribuzione è normale. Si può applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.27 è riportata la statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post del tiro di rigore.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N soggetti</b>	<b>Media (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>SD (m/s<sup>2</sup>)</b>
<b>Accelerazione PRE</b>	11	36.1	34.5
<b>Accelerazione POST</b>	11	46.9	46.5

*Tabella 6.27 Statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post del tiro di rigore*

In Tabella 6.27 è riportato il risultato del test statistico.

<b>T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI</b>	
<b>t</b>	<b>p</b>
-0.5	0.6

*Tabella 6.28 Risultato del t-test sull'accelerazione pre e post del tiro di rigore*

Il t\_score è pari a -0.5 il che significa che i valori di accelerazione all'arrivo pre e post allenamento del tiro di rigore sono lievemente diversi. Dato che p\_value vale 0.6 non si ha significatività statistica. Il diagramma a barre in Figura 6.10 mostra che c'è un lieve aumento della media di accelerazione tra il pre e il post, ma tale differenza non è così netta come dimostra il risultato del test statistico.

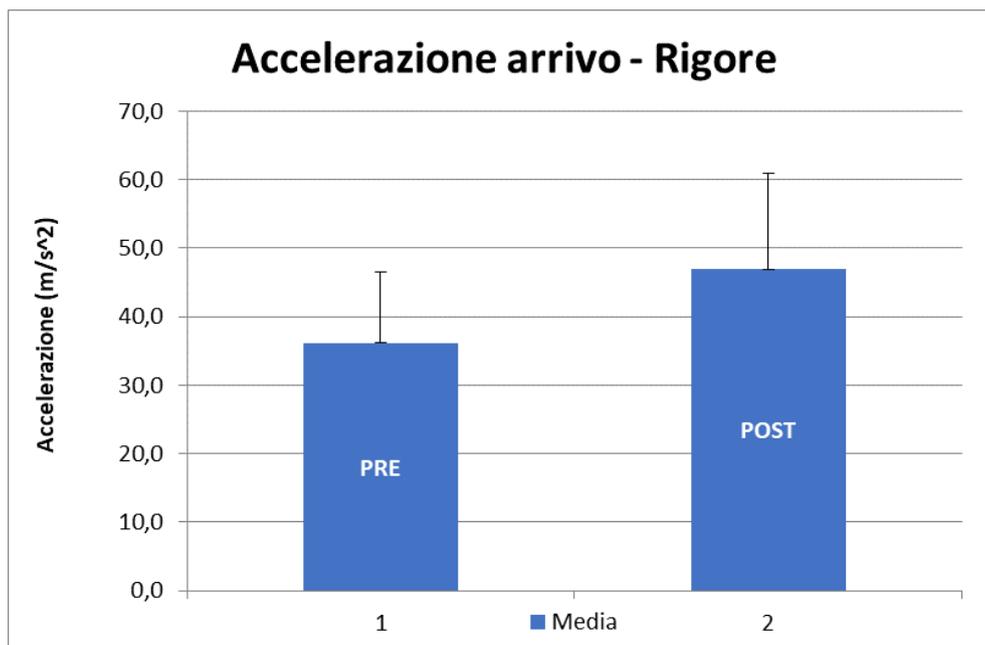


Figura 6.10 Diagramma a barre dell'accelerazione di arrivo del tiro di rigore

## TIRO AL VOLO

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre dell'accelerazione per il tiro al volo.

Dato che p\_value è pari a 0.6 la distribuzione è normale. Si può applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.29 è riportata la statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post del tiro al volo.

STATISTICA DESCRITTIVA			
	N soggetti	Media (m/s <sup>2</sup> )	SD (m/s <sup>2</sup> )
<b>Accelerazione PRE</b>	11	39.7	47.6
<b>Accelerazione POST</b>	11	44.3	35.6

Tabella 6.29 Statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post del tiro al volo

In Tabella 6.30 è riportato il risultato del test statistico.

<b>T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI</b>	
<b>t</b>	<b>p</b>
-0.25	0.8

Tabella 6.30 Risultato del t-test sull'accelerazione pre e post del tiro al volo

Il  $t_{score}$  è pari a -0.25 il che significa che i valori di accelerazione all'arrivo pre e post allenamento del tiro al volo sono molto simili. Dato che  $p\_value$  vale 0.8 non si ha significatività statistica.

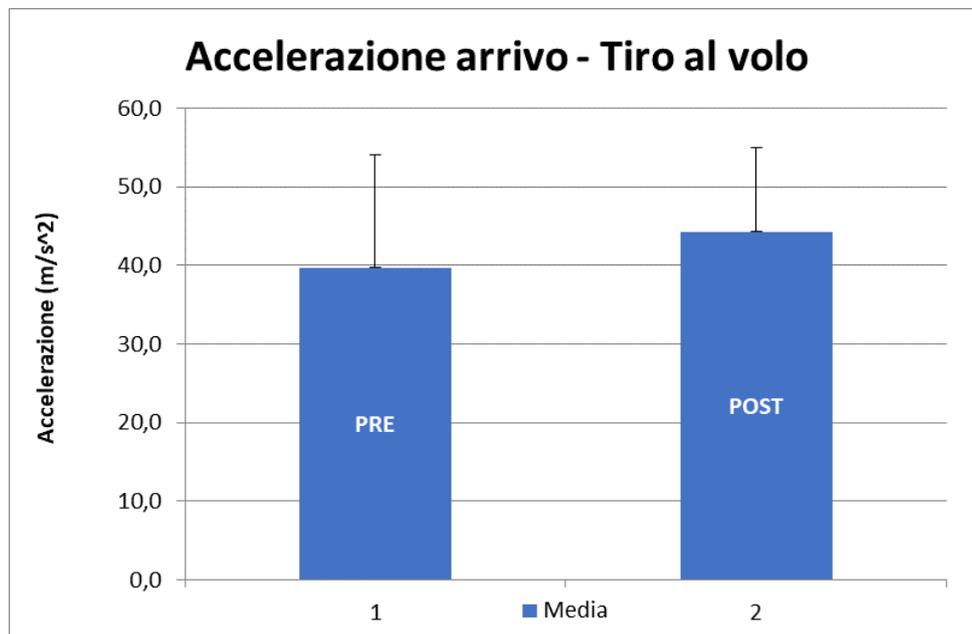


Figura 6.11 Diagramma a barre dell'accelerazione di arrivo del tiro al volo

Il diagramma a barre in Figura 6.11 mostra che c'è un lieve aumento della media di accelerazione tra il pre e il post, ma tale differenza non è così netta come dimostra il risultato del test statistico.

## **FINTA**

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre dell'accelerazione per il tiro con la finta.

Dato che  $p\_value$  è pari a 0.4 la distribuzione è normale. Si può applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.31 è riportata la statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post del tiro con finta.

STATISTICA DESCRITTIVA			
	N soggetti	Media (m/s <sup>2</sup> )	SD (m/s <sup>2</sup> )
<b>Accelerazione PRE</b>	11	67.8	37
<b>Accelerazione POST</b>	11	57.2	37.3

Tabella 6.31 Statistica descrittiva dell'accelerazione pre e post del tiro con finta

In Tabella 6.32 è riportato il risultato del test statistico.

T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI	
t	p
-0.75	0.5

Tabella 6.32 Risultato del t-test dell'accelerazione pre e post del tiro con finta

Il t<sub>score</sub> è pari a -0.75 il che significa che i valori di accelerazione all'arrivo pre e post allenamento per il tiro con finta sono leggermente diversi. Dato che p<sub>value</sub> vale 0.5 non si ha significatività statistica.

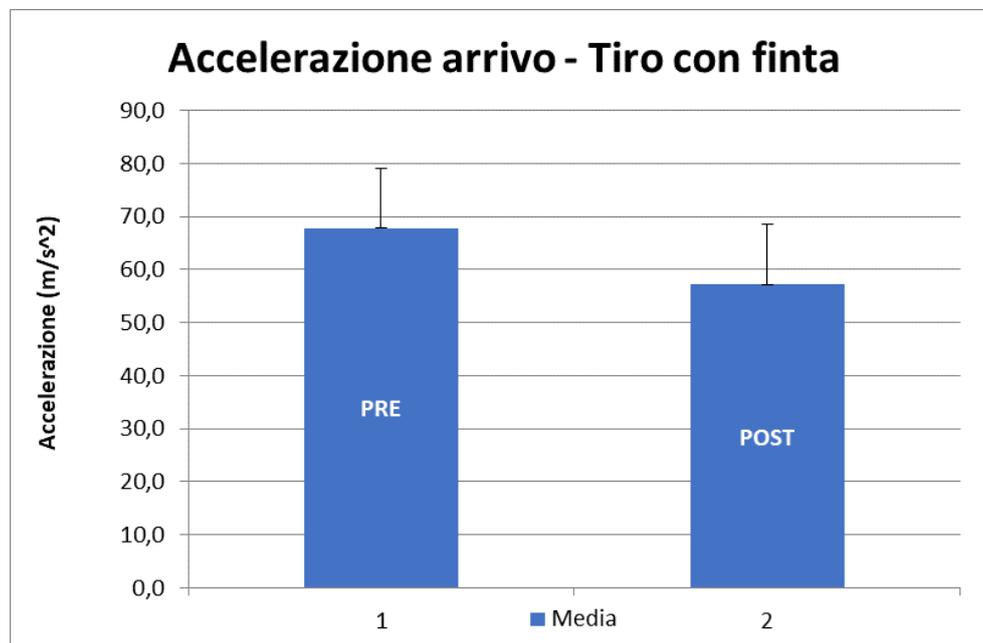


Figura 6.12 Diagramma a barre dell'accelerazione di arrivo del tiro con finta

Il diagramma a barre in Figura 6.12 mostra che c'è una lieve diminuzione della media di accelerazione tra il pre e il post, ma tale differenza non è così netta come dimostra il risultato del test statistico.

## 6.3 Potenza

È stata valutata la potenza nella fase pre e post allenamento per vedere se ci sia stato un cambiamento a fronte degli esercizi proposti. Per l'analisi sono stati considerati i valori di potenza mediati sui tre tentativi eseguiti da ogni atleta per ogni tipologia di tiro, per cui si hanno 33 tiri pre e 33 tiri post su cui eseguire l'analisi.

I valori di potenza sono stati considerati in due istanti, all'istante di stacco della palla dalla mano e all'istante di arrivo in porta della palla.

Inizialmente è stata fatta un'analisi generale considerando tutte le tipologie di tiro assieme.

- **Istante di stacco dalla mano**

Si effettua il test di normalità, applicando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre della potenza della palla allo stacco dalla mano.

Dato che il valore di  $p\_value$  è  $<0.001$  si deduce che la distribuzione non sia normale.

Per cui si procede con il test non parametrico a campioni correlati (Wilcoxon) per comparare la potenza pre e post su tutti i tiri.

In Tabella 6.33 è riportata la statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro allo stacco dalla mano.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N tiri</b>	<b>Media (W)</b>	<b>SD (W)</b>
<b>Potenza PRE</b>	33	183.1	167.4
<b>Potenza POST</b>	33	168.4	79.3

Tabella 6.33 Statistica descrittiva della potenza pre e post di stacco

In Tabella 6.34 è riportato il risultato del test statistico.

<b>TEST A 2 CAMPIONI CORRELATI</b>	
<b>Z</b>	<b>p</b>
-0.2	0.9

Tabella 6.34 Risultato del test di Wilcoxon della potenza pre e post di stacco

Dato che lo z\_score è pari a -0.2 c'è somiglianza tra i valori della potenza della palla allo stacco dalla mano pre e post allenamento, inoltre il valore del p\_value è 0.9 per cui non c'è significatività statistica.

- **Istante di arrivo in porta**

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre della potenza della palla all'arrivo in porta.

Dato che p\_value è pari a 0.4, la distribuzione è normale. È possibile applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.35 è riportata la statistica descrittiva della potenza pre e post all'arrivo in porta.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N tiri</b>	<b>Media (W)</b>	<b>SD (W)</b>
<b>Potenza PRE</b>	33	-223.4	204.3
<b>Potenza POST</b>	33	-228.9	186

Tabella 6.35 Statistica descrittiva della potenza pre e post di arrivo in porta

In Tabella 6.36 è riportato il risultato del test statistico.

<b>T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI</b>	
<b>t</b>	<b>p</b>
0.1	0.9

Tabella 6.36 Risultato del t-test sulla potenza pre e post di arrivo

Il t\_score è pari a 0.1 il che significa che i valori di potenza della palla all'arrivo in porta pre e post allenamento sono praticamente identici, dato che p\_value vale 0.9 non si ha significatività statistica.

Successivamente si verifica se l'andamento complessivo è influenzato allo stesso modo da tutte le tipologie di tiro oppure se ci sono delle differenze apprezzabili tra di esse.

- **Istante di stacco dalla mano**

**RIGORE**

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre della potenza allo stacco per il tiro di rigore. Dato che il  $p\_value$  è pari a 0.001 la distribuzione non è normale. Si deve applicare la statistica non parametrica, si effettua un T-Test a 2 campioni correlati (Wilcoxon).

In Tabella 6.37 è riportata la statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro di rigore.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N soggetti</b>	<b>Media (W)</b>	<b>SD (W)</b>
<b>Potenza PRE</b>	11	211.7	224.1
<b>Potenza POST</b>	11	172.8	92.4

*Tabella 6.37 Statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro di rigore*

In Tabella 6.38 è riportato il risultato del test statistico.

<b>T-TEST A 2 CAMPIONI CORRELATI</b>	
<b>Z</b>	<b>p</b>
-0.2	0.8

*Tabella 6.38 Risultato del test di Wilcoxon della potenza del tiro di rigore*

Lo  $z\_score$  è pari a -0.2 il che significa che i valori di potenza della palla allo stacco pre e post allenamento nel tiro di rigore sono praticamente identici. Dato che  $p\_value$  vale 0.8 non si ha significatività statistica.

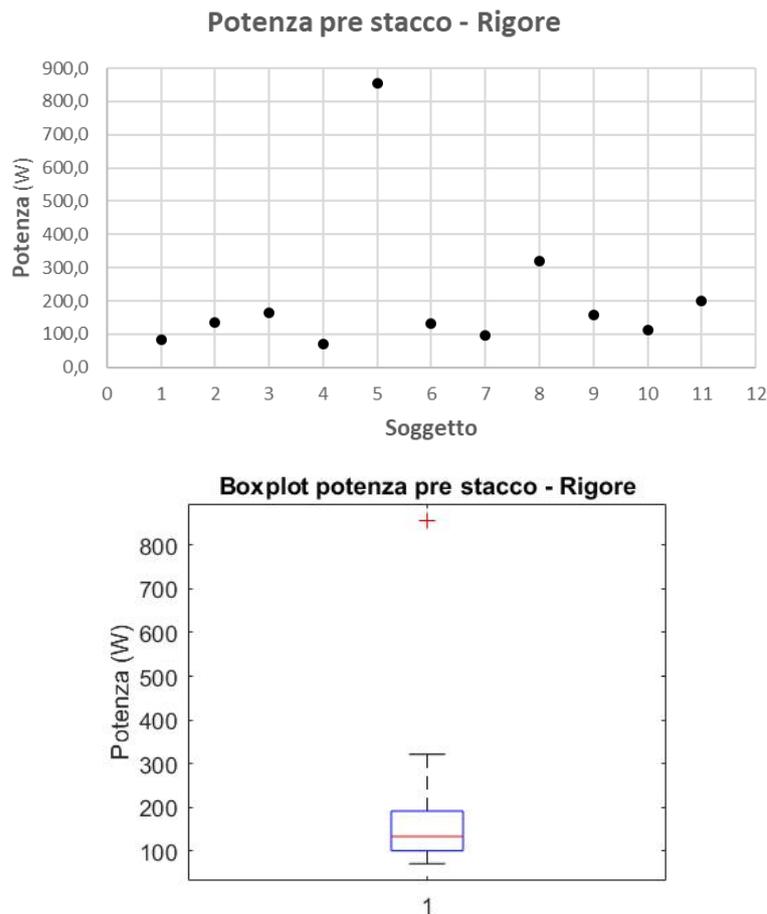


Figura 6.13 Rappresentazione dell'outlier della potenza pre di stacco del tiro con finta

Come si può notare dai grafici in Figura 6.13 il soggetto 5 rappresenta un outlier nella fase di pre allenamento allo stacco dalla mano, in particolare ha una potenza molto superiore a quella degli altri soggetti.

Dal diagramma a barre in Figura 6.14 invece si nota che la potenza tra il pre e il post diminuisce ma che effettivamente non c'è una netta differenza come è stato dimostrato dal test statistico.

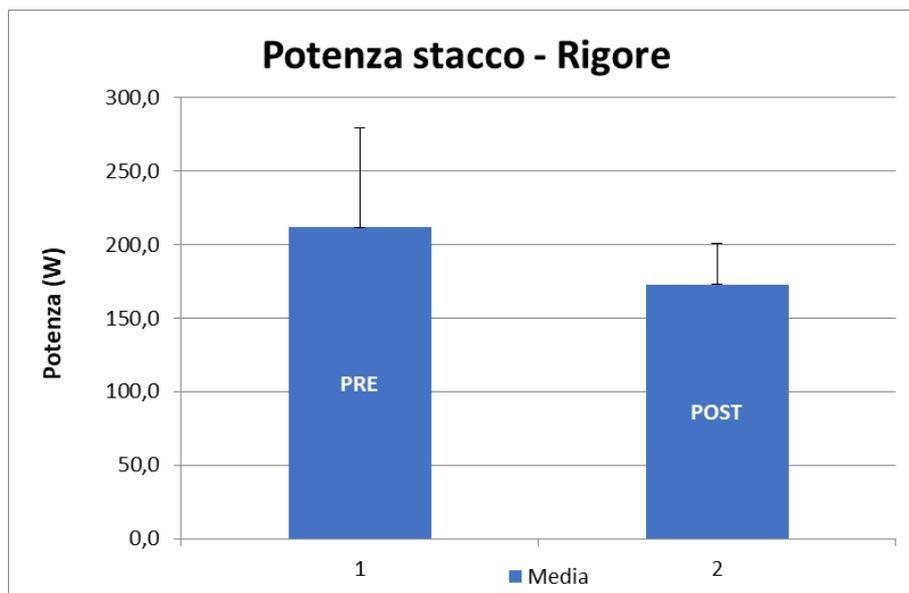


Figura 6.14 Diagramma a barre della potenza di stacco del tiro di rigore

## TIRO AL VOLO

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre della potenza allo stacco per il tiro al volo.

Dato che  $p\_value$  è pari a 0.005 la distribuzione non è normale. Si deve applicare la statistica non parametrica, si effettua un T-Test a campioni correlati (Wilcoxon).

In Tabella 6.39 è riportata la statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro al volo.

STATISTICA DESCRITTIVA			
	N soggetti	Media (W)	SD (W)
<b>Potenza PRE</b>	11	183.8	173.2
<b>Potenza POST</b>	11	167.4	72.2

Tabella 6.39 Statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro al volo

In Tabella 6.40 è riportato il risultato del test statistico.

T-TEST A 2 CAMPIONI CORRELATI	
Z	p
-0.36	0.7

Tabella 6.40 Risultati del test di Wilcoxon della potenza pre e post del tiro al volo

Lo  $z\_score$  è pari a  $-0.36$  il che significa che i valori di potenza della palla allo stacco pre e post allenamento nel tiro al volo sono praticamente identici. Dato che  $p\_value$  vale  $0.7$  non si ha significatività statistica.

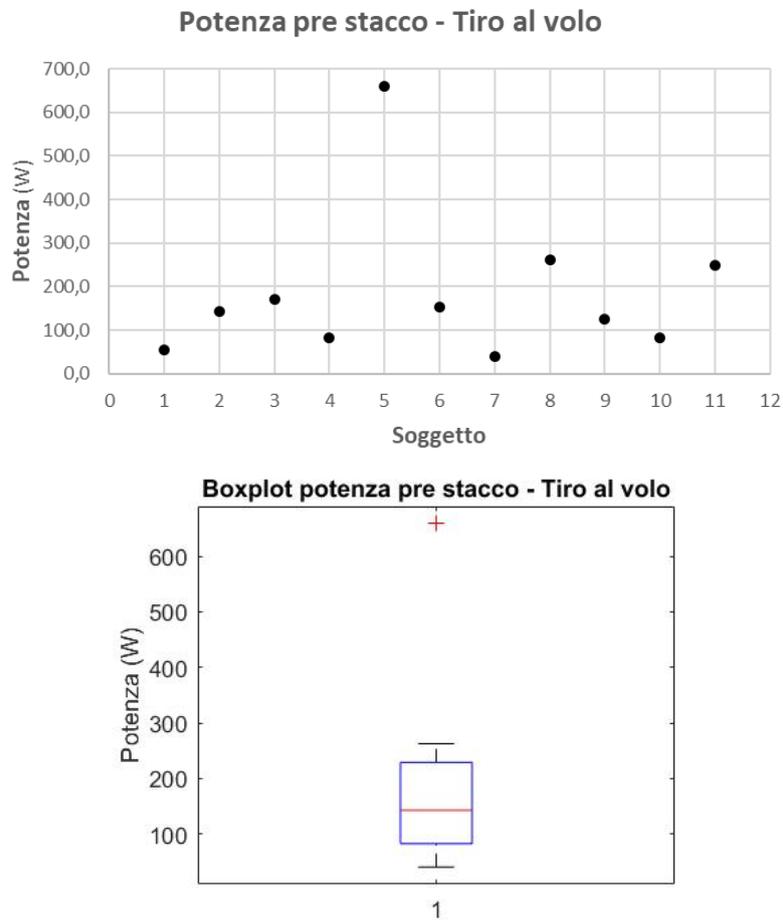


Figura 6.15 Rappresentazione grafica dell'outlier della potenza pre di stacco nel tiro al volo

Anche in questo caso il soggetto 5 è un outlier ed ha una potenza all'istante di stacco dalla mano nella fase pre molto maggiore rispetto a quella degli altri soggetti (Figura 6.15).

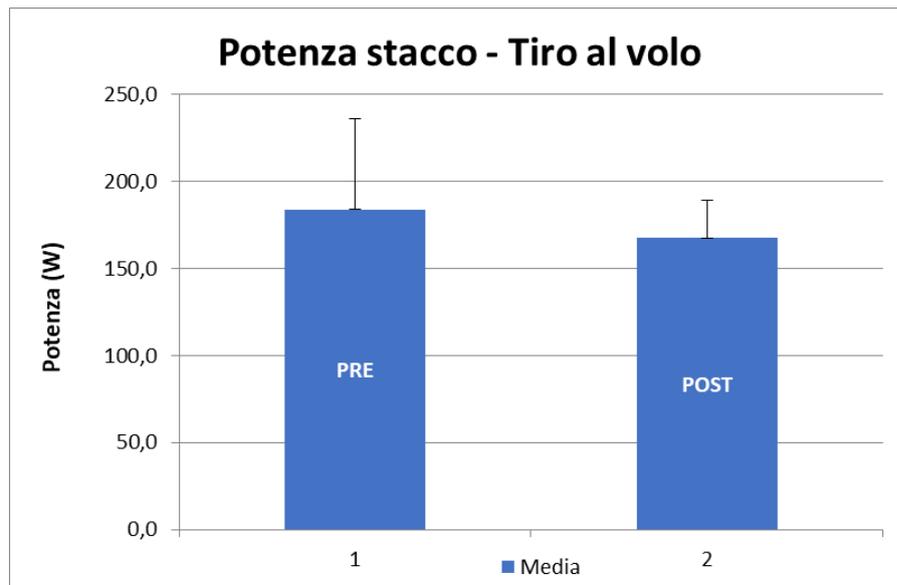


Figura 6.16 Diagramma a barre della potenza di stacco del tiro al volo

Dal diagramma a barre in Figura 6.16 si evince che la potenza tra il pre e il post anche in questo caso diminuisce ma che effettivamente non c'è una sostanziale differenza come è stato dimostrato dal test statistico.

## FINTA

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre della potenza allo stacco per il tiro con la finta.

Dato che  $p\_value$  è pari a 0.9 la distribuzione è normale. Si può applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.41 è riportata la statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro con finta.

STATISTICA DESCRITTIVA			
	N soggetti	Media (W)	SD (W)
<b>Potenza PRE</b>	11	153.9	87.2
<b>Potenza POST</b>	11	165.1	79.5

Tabella 6.41 Statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro con finta

In Tabella 6.42 è riportato il risultato del test statistico.

T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI	
t	p
-0.4	0.7

Tabella 6.42 Risultato del t-test della potenza pre e post del tiro con finta

Il t\_score è pari a -0.4 il che significa che i valori di potenza della palla allo stacco pre e post allenamento nel tiro con finta sono piuttosto simili. Dato che p\_value vale 0.7 non si ha significatività statistica.

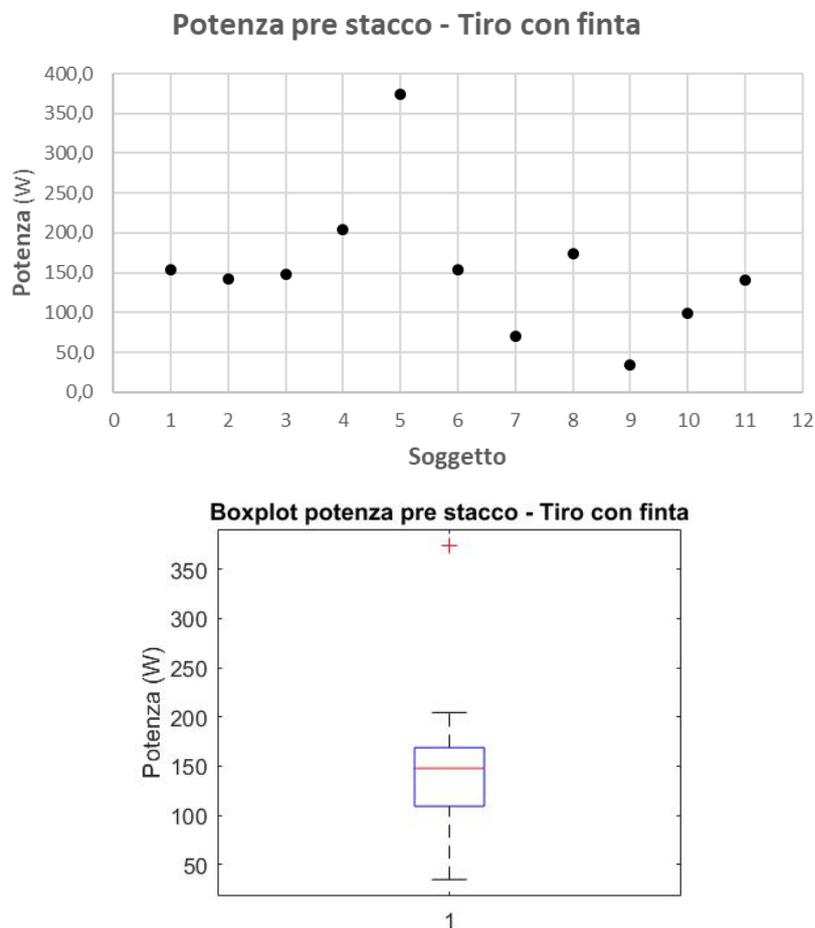


Figura 6.17 Rappresentazione grafica dell'outlier della potenza pre di stacco del tiro con finta

Anche in questo caso il soggetto 5 è un outlier ed ha una potenza all'istante di stacco dalla mano nella fase pre molto maggiore rispetto a quella degli altri soggetti (Figura 6.17).

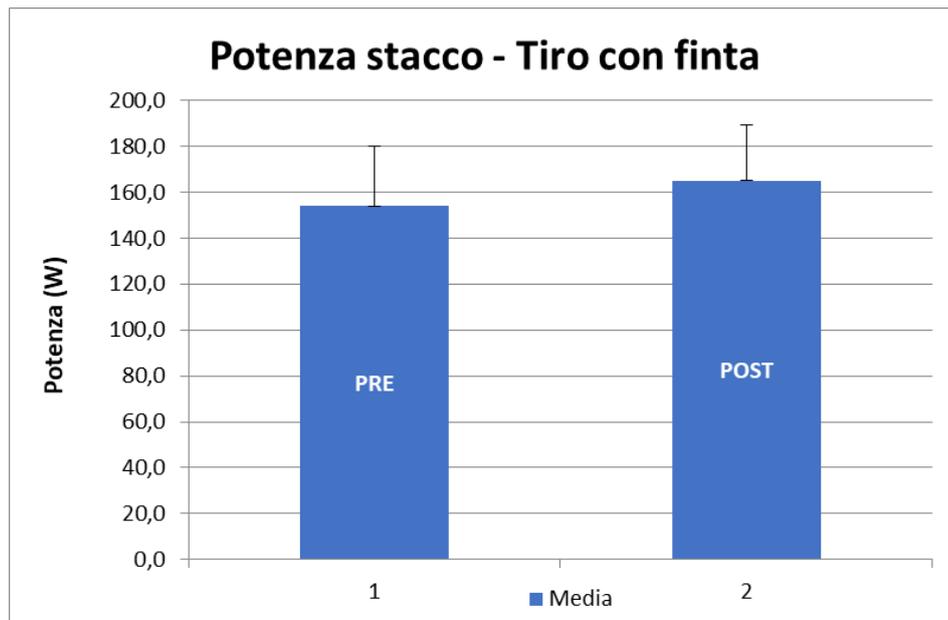


Figura 6.18 Diagramma a barre della potenza di stacco del tiro con finta

Dal diagramma a barre in Figura 6.18 si evince che la potenza tra il pre e il post aumenta, ma che effettivamente non c'è una sostanziale differenza come è stato dimostrato dal test statistico.

- **Istante di arrivo in porta**

### **RIGORE**

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre della potenza all'arrivo in porta per il tiro di rigore.

Dato che p\_value è pari a 0.8 la distribuzione è normale. Si può applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.43 è riportata la statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro di rigore.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N soggetti</b>	<b>Media (W)</b>	<b>SD (W)</b>
<b>Potenza PRE</b>	11	-184.7	180.5
<b>Potenza POST</b>	11	-188.5	184.7

Tabella 6.43 Statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro di rigore

In Tabella 6.44 è riportato il risultato del test statistico.

T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI	
t	p
0.04	0.97

Tabella 6.44 Risultato del t-test della potenza pre e post del tiro di rigore

Il t\_score è pari a 0.04 il che significa che i valori di potenza della palla all'arrivo pre e post allenamento nel tiro di rigore sono praticamente identici. Dato che p\_value vale 0.97 non si ha significatività statistica.

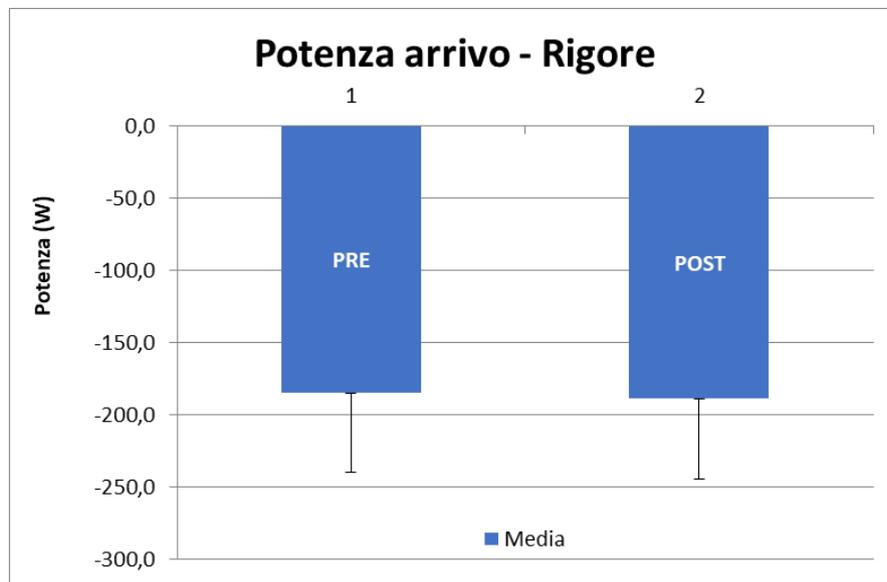


Figura 6.19 Diagramma a barre della potenza di arrivo del tiro di rigore

Dal diagramma a barre in Figura 6.19 si evince che la potenza tra il pre e il post aumenta in modulo ma che effettivamente non c'è una differenza evidente, come è stato dimostrato dal test statistico.

## TIRO AL VOLO

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre della potenza all'arrivo in porta per il tiro al volo.

Dato che  $p\_value$  è pari a 0.4 la distribuzione è normale. Si può applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.45 è riportata la statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro al volo.

STATISTICA DESCRITTIVA			
	N soggetti	Media (W)	SD (W)
<b>Potenza PRE</b>	11	-178.5	227.6
<b>Potenza POST</b>	11	-213	176.4

Tabella 6.45 Statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro al volo

In Tabella 6.46 è riportato il risultato del test statistico.

T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI	
t	p
0.4	0.7

Tabella 6.46 Risultato del t-test della potenza pre e post del tiro al volo

Il  $t\_score$  è pari a 0.4 il che significa che i valori di potenza della palla all'arrivo pre e post allenamento nel tiro al volo sono molto simili. Dato che  $p\_value$  vale 0.7 non si ha significatività statistica.

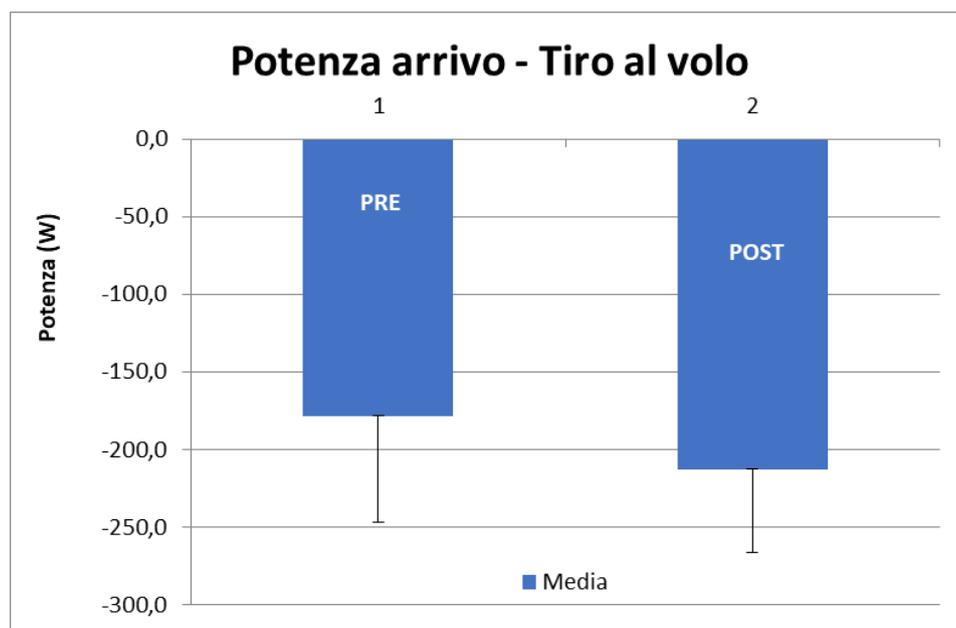


Figura 6.20 Diagramma a barre della potenza di arrivo del tiro al volo

Dal diagramma a barre in Figura 6.20 si evince che la potenza tra il pre e il post anche in questo caso aumenta in modulo ma che effettivamente non c'è una differenza evidente come è stato dimostrato dal test statistico.

## FINTA

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre della potenza all'arrivo in porta per il tiro con finta. Dato che p\_value è pari a 0.14 la distribuzione è normale. Si può applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.47 è riportata la statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro con finta.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N soggetti</b>	<b>Media (W)</b>	<b>SD (W)</b>
<b>Potenza PRE</b>	11	-306.9	194.1
<b>Potenza POST</b>	11	-285.1	199.7

*Tabella 6.47 Statistica descrittiva della potenza pre e post del tiro con finta*

In Tabella 6.48 è riportato il risultato del test statistico.

<b>T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI</b>	
<b>t</b>	<b>p</b>
-0.35	0.7

*Tabella 6.48 Risultati del t-test sulla potenza pre e post del tiro con finta*

Il t\_score è pari a -0.35 il che significa che i valori di potenza della palla all'arrivo pre e post allenamento nel tiro con finta sono molto simili. Dato che p\_value vale 0.7 non si ha significatività statistica.

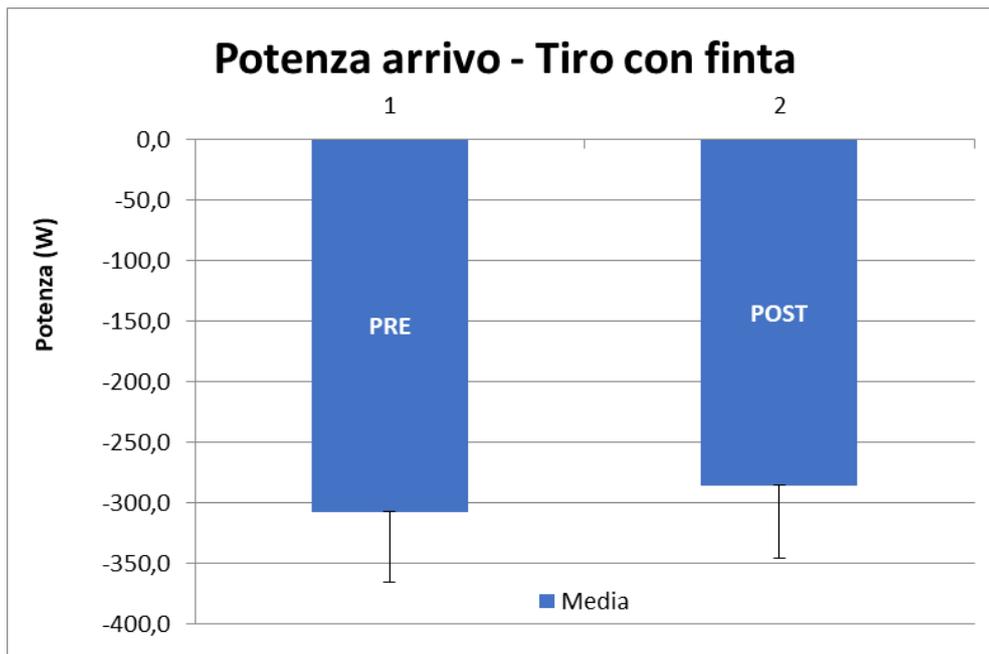


Figura 6.21 Diagramma a barre della potenza di arrivo del tiro con finta

Dal diagramma a barre in Figura 6.21 si evince che la potenza tra il pre e il post diminuisce in modulo ma che effettivamente non c'è una differenza evidente come è stato dimostrato dal test statistico.

## 6.4 Punteggio di precisione

È stata valutata la precisione nella fase pre e post allenamento per vedere se ci sia stato un cambiamento a fronte degli esercizi proposti. Per l'analisi è stato considerato il punteggio totale, somma dei tre tentativi eseguiti da ogni atleta per ogni tipologia di tiro, per cui si hanno 33 campioni pre e 33 campioni post su cui eseguire l'analisi.

Inizialmente è stata fatta un'analisi generale considerando tutte le tipologie di tiro assieme.

Si effettua il test per valutare la normalità, applicando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre del punteggio di precisione.

Il valore del  $p\_value$  è pari a 0.3 per cui si ha una distribuzione normale. Si applica quindi la statistica parametrica effettuando il T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.49 è riportata la statistica descrittiva del punteggio di precisione pre e post.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N tiri</b>	<b>Media</b>	<b>SD</b>
<b>Precisione PRE</b>	33	9.9	3.6
<b>Precisione POST</b>	33	11.1	3

*Tabella 6.49 Statistica descrittiva del punteggio di precisione pre e post*

In Tabella 6.50 è riportato il risultato del test statistico.

<b>T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI</b>	
<b>t</b>	<b>p</b>
-1.8	0.07

*Tabella 6.50 Risultato del t-test del punteggio di precisione pre e post*

Il t\_score è pari a -1.8, il p\_value è pari a 0.07 per cui non c'è significatività statistica.

Successivamente si verifica se l'andamento complessivo sia influenzato allo stesso modo da tutte le tipologie di tiro oppure se ci sono delle differenze apprezzabili tra di esse.

## **RIGORE**

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre del punteggio di precisione per il tiro di rigore.

Dato che p\_value è pari a 0.4 la distribuzione è normale. Si può applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.51 è riportata la statistica descrittiva del punteggio di precisione pre e post del tiro di rigore.

STATISTICA DESCRITTIVA			
	N soggetti	Media	SD
<b>Punteggio PRE</b>	11	11	3.2
<b>Punteggio POST</b>	11	11.2	4.2

Tabella 6.51 Statistica descrittiva del punteggio di precisione pre e post del tiro di rigore

In Tabella 6.52 è riportato il risultato del test statistico.

T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI	
t	p
-0.2	0.8

Tabella 6.52 Risultato dle t-test sul punteggio di precisione pre e post del tiro di rigore

Il t\_score è pari a -0.2 il che significa che il punteggio di precisione pre e post allenamento nel tiro di rigore sono praticamente identici. Dato che p\_value vale 0.8 non si ha significatività statistica.

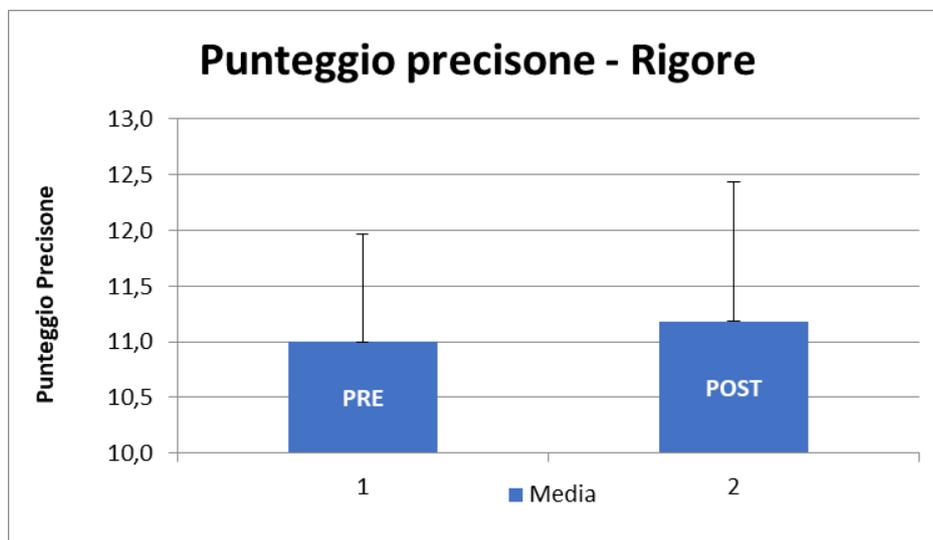


Figura 6.22 Diagramma a barre del punteggio di precisione pre e post del tiro di rigore

Dal diagramma a barre in Figura 6.22 si evince che il punteggio di precisione tra il pre e il post aumenta leggermente ma non c'è una differenza evidente come è stato dimostrato dal test statistico.

## TIRO AL VOLO

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre del punteggio di precisione per il tiro al volo.

Dato che  $p\_value$  è pari a 0.9 la distribuzione è normale. Si può applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.53 è riportata la statistica descrittiva del punteggio di precisione pre e post del tiro al volo.

STATISTICA DESCRITTIVA			
	N soggetti	Media	SD
<b>Punteggio PRE</b>	11	8.4	3.5
<b>Punteggio POST</b>	11	11.1	2.7

Tabella 6.53 Statistica descrittiva del punteggio di precisione del tiro al volo

In Tabella 6.54 è riportato il risultato del test statistico.

T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI	
t	p
-2.2	0.054

Tabella 6.54 Risultati del t-test del punteggio di precisione del tiro al volo

Il  $t\_score$  è pari a -2.2 il che significa che il punteggio di precisione pre e post allenamento nel tiro al volo sono diversi, in particolare si riscontra un sostanziale aumento della precisione nella fase post allenamento. Dato che  $p\_value$  vale 0.054 si è al limite della significatività statistica.

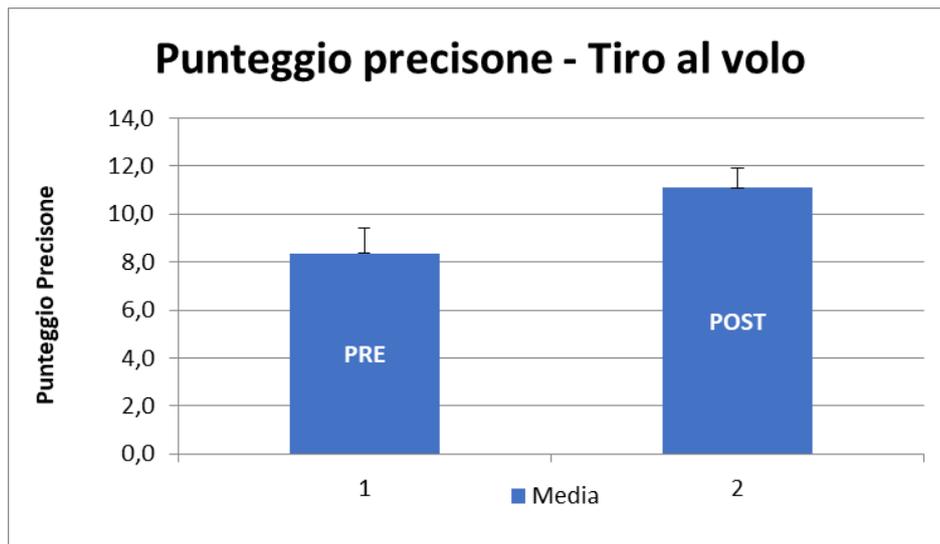


Figura 6.23 Diagramma a barre del punteggio di precisione del tiro al volo

Dal diagramma a barre in Figura 6.23 si evince che il punteggio di precisione tra il pre e il post aumenta e c'è una differenza più evidente rispetto agli altri tiri come è stato dimostrato dal test statistico.

## FINTA

Si effettua il test di normalità, effettuando il test di Shapiro-Wilk, della differenza post-pre del punteggio di precisione per il tiro con finta.

Dato che  $p\_value$  è pari a 0.7 la distribuzione è normale. Si può applicare la statistica parametrica, si effettua un T-Test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.55 è riportata la statistica descrittiva del punteggio di precisione pre e post del tiro con finta.

STATISTICA DESCRITTIVA			
	N soggetti	Media	SD
<b>Punteggio PRE</b>	11	10.3	3.8
<b>Punteggio POST</b>	11	11	2.1

Tabella 6.55 Statistica descrittiva del punteggio di precisione del tiro con finta

In Tabella 6.56 è riportato il risultato del test statistico.

T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI	
t	p
-0.6	0.6

Tabella 6.56 Risultato del t-test sul punteggio di precisione del tiro con finta

Il t\_score è pari a -0.6 il che significa che il punteggio di precisione pre e post allenamento nel tiro con finta sono praticamente identici. Dato che p\_value vale 0.6 non si ha significatività statistica.

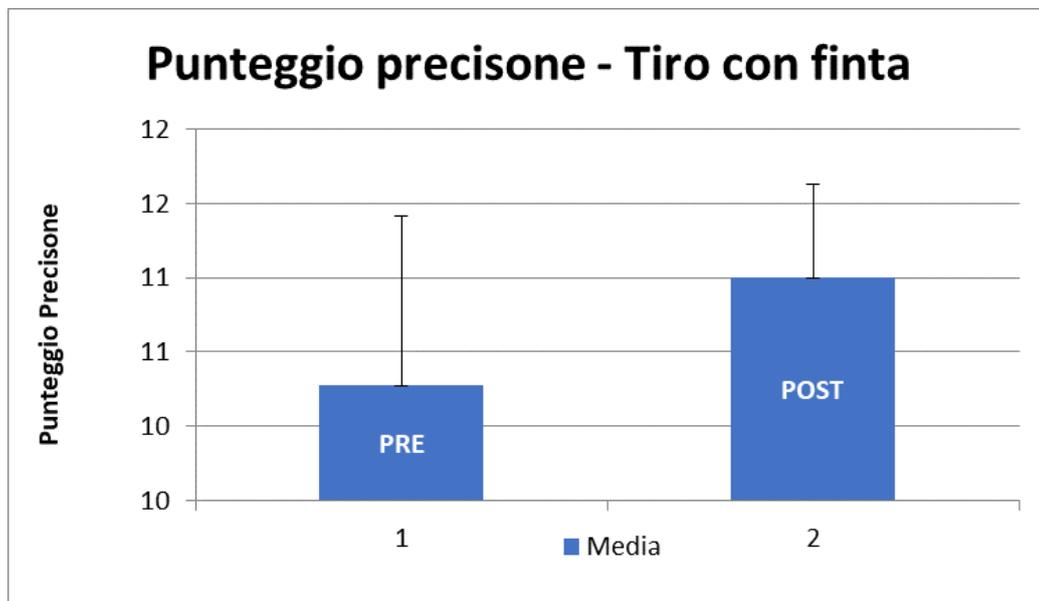


Figura 6.24 Diagramma a barre del punteggio di precisione del tiro con finta

Dal diagramma a barre in Figura 6.24 si evince che il punteggio di precisione tra il pre e il post aumenta leggermente ma non c'è una differenza evidente come è stato dimostrato dal test statistico.

## 6.5 Velocità massima

È stata valutata la velocità massima nella fase pre e post allenamento per vedere se ci sia stato un cambiamento. Per l'analisi sono stati considerati i valori di velocità massima mediati sui tre tentativi eseguiti da ogni atleta per ogni tipologia di tiro, per cui si hanno 33 campioni pre e 33 campioni post su cui eseguire l'analisi.

È stata fatta un'analisi generale considerando tutte le tipologie di tiro assieme.

Si valuta la normalità con il test di Shapiro-Wilk, la distribuzione è normale ( $p=0.1$ ) per cui si può applicare la statistica parametrica, si effettua il T-test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.57 è riportata la statistica descrittiva della velocità massima pre e post allenamento.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N tiri</b>	<b>Media (m/s)</b>	<b>SD (m/s)</b>
<b>Velocità max PRE</b>	33	14	1.5
<b>Velocità max POST</b>	33	13.4	1

*Tabella 6.57 Statistica descrittiva della velocità massima pre e post*

In Tabella 6.58 è riportato il risultato del test statistico.

<b>T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI</b>	
<b>t</b>	<b>p</b>
4.3	<0.001

*Tabella 6.58 Risultato del t-test sulla velocità massima pre e post*

Il  $t_{score}$  è pari a 4.3 quindi tra i valori di velocità massima pre e post allenamento c'è differenza, il  $p_{value}$  è inferiore a 0.001 per cui si può dire che c'è significatività statistica.

## ***6.6 Angolo di gomito***

È stato valutato l'angolo di gomito nella fase pre e post allenamento per vedere se ci sia stato un cambiamento. Per l'analisi sono stati considerati i valori di angolo di gomito mediati sui tre tentativi eseguiti da ogni atleta per ogni tipologia di tiro, per cui si hanno 33 campioni pre e 33 campioni post su cui eseguire l'analisi.

È stata fatta un'analisi generale considerando tutte le tipologie di tiro assieme.

Si valuta la normalità con il test di Shapiro-Wilk, la distribuzione per la differenza dell'angolo di gomito pre e post è normale ( $p=0.9$ ), quindi si può applicare la statistica parametrica. Si effettua il T-test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.59 è riportata la statistica descrittiva dell'angolo di gomito pre e post allenamento.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N tiri</b>	<b>Media (°)</b>	<b>SD (°)</b>
<b>Angolo gomito PRE</b>	33	30.1	9
<b>Angolo gomito POST</b>	33	35.4	10

*Tabella 6.59 Statistica descrittiva dell'angolo di gomito pre e post*

In Tabella 6.60 è riportato il risultato del test statistico.

<b>T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI</b>	
<b>t</b>	<b>p</b>
-2.6	0.01

*Tabella 6.60 Risultato del t-test sull'angolo di gomito pre e post*

Il  $t_{score}$  vale -2.6 per cui i valori dell'angolo di gomito pre e post allenamento sono diversi, il test ha significatività statistica dato che il  $p_{value}$  è pari a 0.01.

## ***6.7 Angolo di spalla***

È stato valutato l'angolo di spalla nella fase pre e post allenamento per vedere se ci sia stato un cambiamento. Per l'analisi sono stati considerati i valori di angolo di spalla mediati sui tre tentativi eseguiti da ogni atleta per ogni tipologia di tiro, per cui si hanno 33 campioni pre e 33 campioni post su cui eseguire l'analisi.

È stata fatta un'analisi generale considerando tutte le tipologie di tiro assieme.

Si valuta la normalità con il test di Shapiro-Wilk, la distribuzione per la differenza dell'angolo di spalla pre e post è normale ( $p=0.8$ ).

Si può applicare la statistica parametrica, si effettua il T-test a campioni accoppiati.

In Tabella 6.61 è riportata la statistica descrittiva dell'angolo di spalla pre e post allenamento.

<b>STATISTICA DESCRITTIVA</b>			
	<b>N tiri</b>	<b>Media (°)</b>	<b>SD (°)</b>
<b>Angolo spalla PRE</b>	33	59.7	9.1
<b>Angolo spalla POST</b>	33	64.9	8.9

*Tabella 6.61 Statistica descrittiva dell'angolo di spalla pre e post*

In Tabella 6.62 è riportato il risultato del test statistico.

<b>T-TEST A CAMPIONI ACCOPPIATI</b>	
<b>t</b>	<b>p</b>
-3.1	0.004

*Tabella 6.62 Risultato del t-test sull'angolo di spalla pre e post*

Il t\_score vale -3.1 per cui i valori dell'angolo di spalla pre e post allenamento sono diversi, il test ha significatività statistica dato che il p\_value è pari a 0.004.

## ***6.8 Correlazione dell'angolo di gomito con la velocità massima e il punteggio di precisione***

Per l'analisi della correlazione sono stati considerati tutti i tentativi separatamente, sia pre che post allenamento, per cui si hanno 194 campioni. Si analizza se complessivamente è presente una relazione tra le grandezze in questione.

Si valuta la normalità della distribuzione di ogni grandezza con il test di Shapiro-Wilk (Tabella 6.63).

<b>TEST DI NORMALITÀ</b>	
	<b>p</b>
<b>Angolo Gomito</b>	0.08
<b>Velocità max y</b>	< 0001
<b>Precisione</b>	< 0.001

Tabella 6.63 Normalità di angolo di gomito, velocità massima e punteggio di precisione

L'angolo di gomito ha andamento normale ( $p\_value=0.08$ ), la velocità massima lungo y non ha andamento normale ( $p\_value<0.001$ ), il punteggio di precisione non ha andamento normale ( $p\_value<0.001$ ).

Per andare a valutare la correlazione dell'angolo di gomito sia con la velocità che con il punteggio di precisione si effettua il test di correlazione di Spearman (non parametrico).

### ***6.8.1 Correlazione dell'angolo di gomito con la velocità massima***

È stata fatta un'analisi generale considerando 194 campioni ovvero tutti i tentativi sia della fase pre che post allenamento. È stato applicato il test di Spearman, statistica non parametrica.

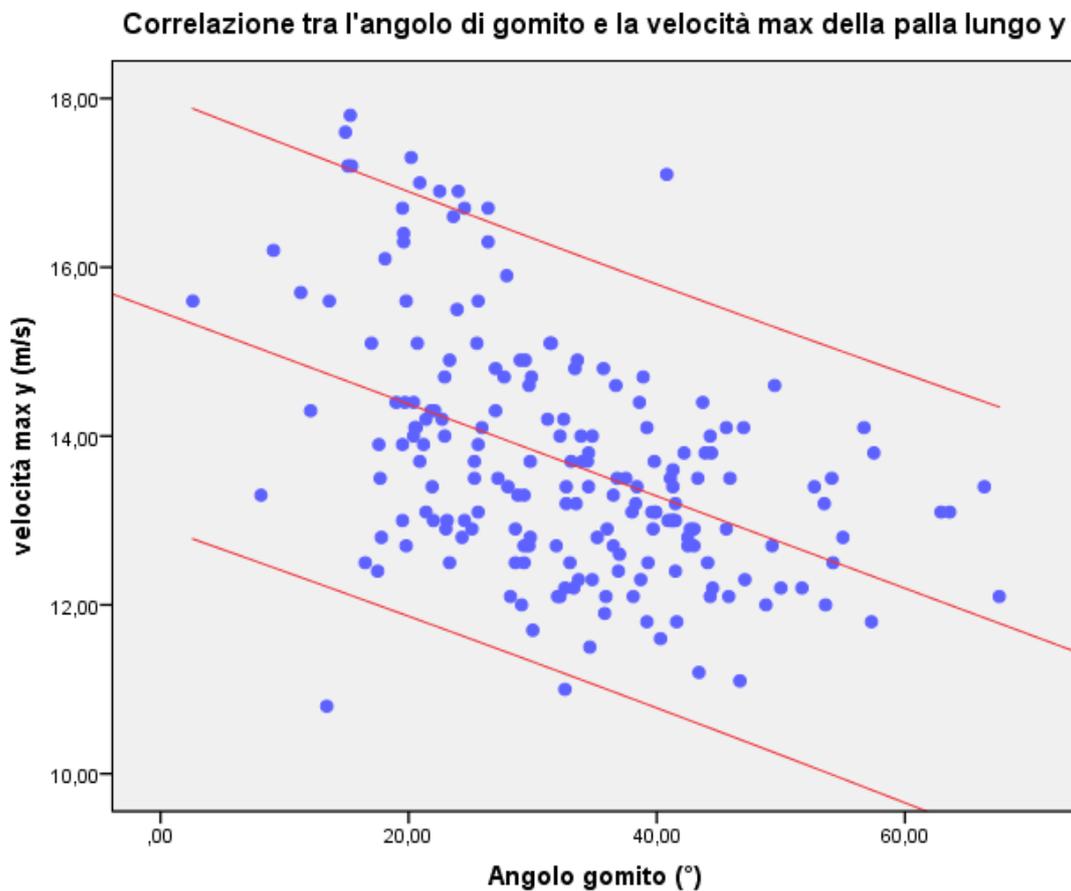
In Tabella 6.64 è riportato il risultato del test statistico.

<b>TEST DI CORRELAZIONE DI SPEARMAN</b>	
<b>r</b>	<b>p</b>
-0.45	< 0.001

Tabella 6.64 Risultato del test di correlazione di Spearman tra angolo di spalla e velocità massima

Il coefficiente di correlazione di Spearman  $r$  è -0.45, il  $p\_value$  è minore di 0.05 per cui si ha significatività statistica.

In Figura 6.25 si può osservare la rappresentazione grafica della correlazione tra l'angolo di gomito e la velocità massima di tiro lungo y, si riporta inoltre la curva di adattamento lineare e l'intervallo di confidenza al 95%.



*Figura 6.25 Scatter plot e correlazione fra angolo di gomito e velocità massima*

Successivamente è stata fatta un'analisi considerando separatamente la fase pre e la fase post allenamento, per valutare la correlazione nelle due fasi separate.

- **Fase pre allenamento**

L'analisi è stata eseguita su 95 campioni perché nella fase pre allenamento 4 tentativi non sono andati a buon fine e non sono stati ripetuti.

Si verifica la normalità delle due variabili con il test di Shapiro-Wilk (Tabella 6.65).

<b>TEST DI NORMALITÀ</b>	
	<b>p</b>
<b>Angolo Gomito</b>	0.7
<b>Velocità max y</b>	< 0.001

Tabella 6.65 Test di normalità dell'angolo di gomito e della velocità pre allenamento

L'angolo di gomito ha andamento normale ( $p=0.7$ ) mentre la velocità massima lungo y non ha andamento normale ( $p<0.001$ ). Per cui si esegue il test di correlazione di Spearman (non parametrico).

In Tabella 6.66 è riportato il risultato del test statistico.

<b>TEST DI CORRELAZIONE DI SPEARMAN</b>	
<b>r</b>	<b>p</b>
-0.47	<0.001

Tabella 6.66 Risultato del test di correlazione di Spearman tra angolo di gomito e velocità massima nella fase pre

Il coefficiente di correlazione di Spearman r è pari a -0.47 e il p\_value è minore di 0.001 per cui si ha significatività statistica.

- **Fase post allenamento**

L'analisi è stata eseguita su 99 campioni, in questa fase i tentativi non andati a buon fine sono stati ripetuti.

Si valuta la normalità della distribuzione con il test di Shapiro-Wilk (Tabella 6.67).

<b>TEST DI NORMALITÀ</b>	
	<b>p</b>
<b>Angolo Gomito</b>	0.1
<b>Velocità max y</b>	0.09

Tabella 6.67 Normalità di angolo di gomito e velocità massima post

Entrambe le variabili hanno distribuzione normale, per cui si utilizza la statistica parametrica e si esegue il test di correlazione di Pearson.

In Tabella 6.68 è riportato il risultato del test statistico.

<b>TEST DI CORRELAZIONE DI PEARSON</b>	
<b>r</b>	<b>p</b>
-0.4	<0.001

Tabella 6.68 Risultato del test di correlazione di Pearson su angolo di gomito e velocità massima post

Il coefficiente di correlazione di Pearson  $r$  è pari a -0.4 e il  $p$ \_value è minore di 0.001 per cui si ha significatività statistica.

### ***6.8.2 Correlazione dell'angolo di gomito con il punteggio di precisione***

L'analisi è stata eseguita su 195 campioni in quanto sono stati considerati tutti i tentativi sia pre che post allenamento.

È stato eseguito il test di correlazione di Spearman, statistica non parametrica.

In Tabella 6.69 è riportato il risultato del test statistico.

<b>TEST DI CORRELAZIONE DI SPEARMAN</b>	
<b>r</b>	<b>p</b>
-0.18	0.01

Tabella 6.69 Risultato del test di correlazione di Spearman di angolo di gomito e punteggio precisione

Il valore del coefficiente di correlazione di Spearman  $r$ \_score è pari a -0.18 per cui non c'è correlazione tra le due variabili, il valore di  $p$ \_value è 0.01 quindi si ha significatività statistica.

## ***6.9 Correlazione dell'angolo di spalla con la velocità massima e il punteggio di precisione***

Per l'analisi della correlazione sono stati considerati tutti i tentativi separatamente, sia pre che post allenamento, per cui si hanno 194 campioni. Si analizza se complessivamente è presente una relazione tra le grandezze in questione.

Si valuta la normalità della distribuzione con il test di Shapiro-Wilk (Tabella 6.70).

<b>TEST DI NORMALITÀ</b>	
	<b>P</b>
<b>Angolo Spalla</b>	0.8
<b>Velocità max y</b>	< 0.001
<b>Precisione</b>	< 0.001

*Tabella 6.70 Normalità di angolo di spalla, velocità massima e punteggio di precisione*

L'angolo di spalla ha andamento normale ( $p\_value=0.8$ ), la velocità massima lungo y non ha andamento normale ( $p\_value<0.001$ ), il punteggio di precisione non ha andamento normale ( $p\_value<0.001$ ).

Per andare a valutare la correlazione dell'angolo di spalla sia con la velocità massima lungo y che con il punteggio di precisione si effettua il test di correlazione di Spearman (non parametrico).

### ***6.9.1 Correlazione dell'angolo di spalla con la velocità massima***

È stata fatta un'analisi generale considerando 194 campioni ovvero tutti i tentativi sia della fase pre che post allenamento. È stato applicato il test di Spearman, statistica non parametrica.

In Tabella 6.71 è riportato il risultato del test statistico.

TEST DI CORRELAZIONE DI SPEARMAN	
r	p
-0.3	< 0.001

Tabella 6.71 Risultato del test di correlazione di Spearman di angolo di spalla e velocità massima

Il coefficiente di correlazione di Spearman  $r$  è pari a -0.3, il  $p$ \_value è minore di 0.05 per cui si ha significatività statistica.

In Figura 6.26 si può osservare la rappresentazione grafica della correlazione tra angolo di spalla e velocità massima del tiro lungo  $y$ , inoltre si riporta la curva di adattamento lineare e l'intervallo di confidenza al 95%.

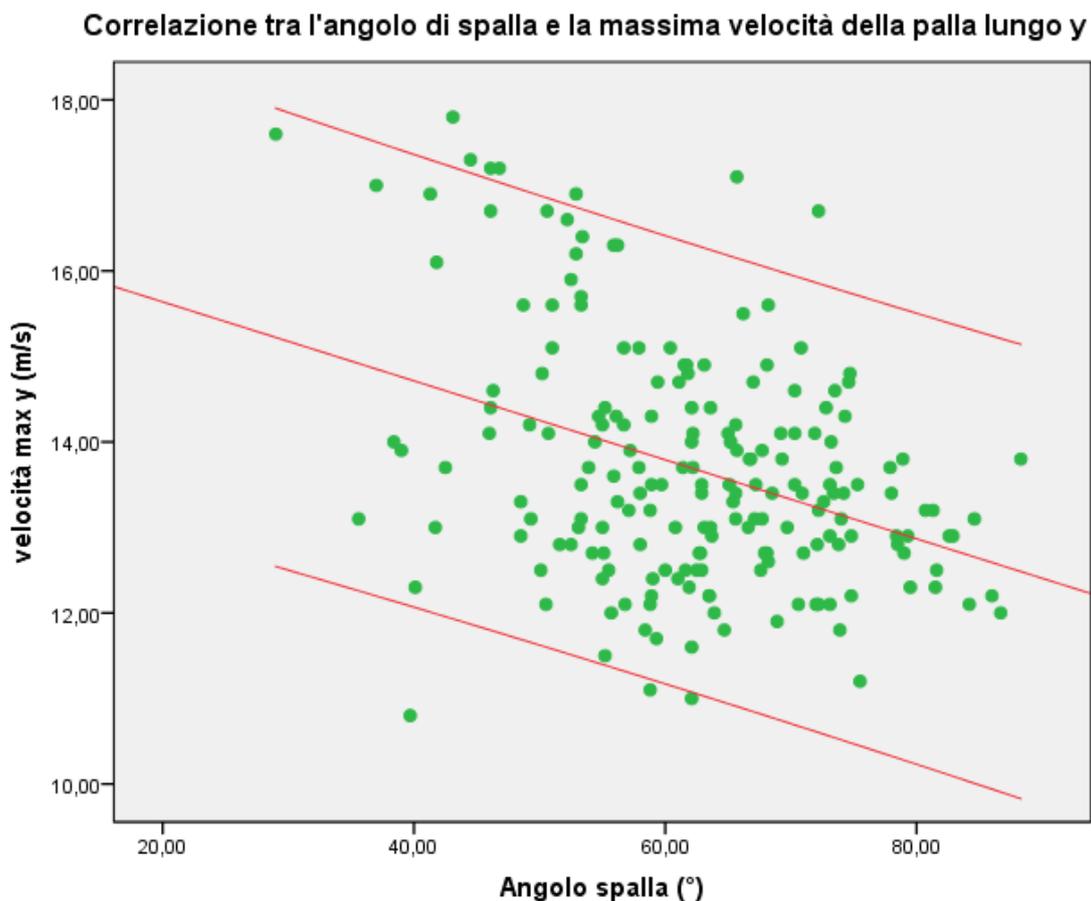


Figura 6.26 Scatter plot e correlazione dell'angolo di spalla con velocità massima

### ***6.9.2 Correlazione dell'angolo di spalla con il punteggio di precisione***

L'analisi è stata eseguita su 195 campioni in quanto sono stati considerati tutti i tentativi sia pre che post allenamento.

È stato eseguito il test di correlazione di Spearman, statistica non parametrica.

In Tabella 6.72 è riportato il risultato del test statistico.

<b>TEST DI CORRELAZIONE DI SPEARMAN</b>	
<b>r</b>	<b>p</b>
-0.2	0.01

*Tabella 6.72 Risultato del test di correlazione di Spearman dell'angolo di spalla e punteggio di precisione*

Il valore del coefficiente di correlazione di Spearman  $r$  è pari a -0.2 per cui la correlazione tra le due variabili è molto bassa, il valore di  $p\_value$  è 0.01 quindi si ha significatività statistica.

### ***6.10 Correlazione della velocità massima con il punteggio di precisione***

Per l'analisi della correlazione sono stati considerati tutti i tentativi separatamente, sia pre che post allenamento, per cui si hanno 194 campioni.

Si valuta la normalità della distribuzione di ogni grandezza con il test di Shapiro-Wilk (Tabella 6.73).

<b>TEST DI NORMALITÀ</b>	
	<b>p</b>
<b>Precisione</b>	<0.001
<b>Velocità max y</b>	<0.001

*Tabella 6.73 Normalità del punteggio di precisione e della velocità massima*

Entrambe le variabili non hanno distribuzione normale, per cui si applica la statistica non parametrica e si esegue il test di correlazione di Spearman.

In Tabella 6.74 è riportato il risultato del test statistico.

<b>TEST DI CORRELAZIONE DI SPEARMAN</b>	
<b>r</b>	<b>p</b>
0.1	0.35

*Tabella 6.74 Risultato del test di correlazione di Spearman di velocità massima e punteggio precisione*

Il valore del coefficiente di correlazione di Spearman  $r$  è pari a 0.1, il  $p\_value$  è pari a 0.35 per cui non si ha significatività statistica.

Successivamente è stata fatta un'analisi considerando separatamente la fase pre e la fase post allenamento, per valutare la correlazione nelle due fasi separate.

- **Fase pre allenamento**

L'analisi è stata eseguita su 95 campioni perché nella fase pre allenamento 4 tentativi non sono andati a buon fine e non sono stati ripetuti.

Si verifica la normalità delle due variabili con il test di Shapiro-Wilk.

La distribuzione delle due variabili non è normale ( $p < 0.001$ ) per cui si applica la statistica non parametrica e si effettua il test di correlazione di Spearman.

In Tabella 6.75 è riportato il risultato del test statistico.

<b>TEST DI CORRELAZIONE DI SPEARMAN</b>	
<b>r</b>	<b>p</b>
0.1	0.4

*Tabella 6.75 Risultato del test di correlazione di Spearman di velocità massima e punteggio di precisione pre*

Il valore del coefficiente di correlazione di Spearman  $r\_score$  è pari a 0.1 e il valore di  $p\_value$  è pari a 0.4 per cui non si ha significatività statistica.

- **Fase post allenamento**

L'analisi è stata eseguita su 99 campioni, in questa fase i tentativi non andati a buon fine sono stati ripetuti.

Si valuta la normalità della distribuzione con il test di Shapiro-Wilk.

La normalità è presente solo per la velocità massima ( $p=0.08$ ) mentre il punteggio di precisione non ha distribuzione normale ( $p<0.001$ ). Si applica la statistica non parametrica e si esegue il test di correlazione di Spearman.

In Tabella 6.76 è riportato il risultato del test statistico.

<b>TEST DI CORRELAZIONE DI SPEARMAN</b>	
<b>r</b>	<b>p</b>
0.1	0.5

*Tabella 6.76 Risultato del test di correlazione di Spearman della velocità massima e del punteggio di precisione post*

Il valore del coefficiente di correlazione di Spearman  $r\_score$  è pari a 0.1 e il  $p\_value$  è pari a 0.5 per cui non si ha significatività statistica.

## ***6.11 Correlazione della velocità di arrivo in porta con il punteggio di precisione***

Per l'analisi della correlazione sono stati considerati tutti i tentativi separatamente, sia pre che post allenamento, per cui si hanno 194 campioni.

Si valuta la normalità della distribuzione di ogni grandezza con il test di Shapiro-Wilk (Tabella 6.77).

<b>TEST DI NORMALITÀ</b>	
	<b>p</b>
<b>Precisione</b>	<0.001
<b>Velocità arrivo y</b>	0.08

*Tabella 6.77 Normalità della velocità di arrivo in porta e del punteggio di precisione*

La precisione non ha distribuzione normale ( $p < 0.001$ ) mentre la velocità ha distribuzione normale. Si applica la statistica non parametrica e si esegue il test di correlazione di Spearman.

In Tabella 6.78 è riportato il risultato del test statistico.

<b>TEST DI CORRELAZIONE DI SPEARMAN</b>	
<b>r</b>	<b>p</b>
0.1	0.3

*Tabella 6.78 Risultato del test di correlazione di Spearman di velocità di arrivo in porta e punteggio di precisione*

Il valore del coefficiente di correlazione di Spearman  $r$  è pari a 0.1, il  $p\_value$  è pari a 0.3 per cui non si ha significatività statistica.

## ***7 Discussioni***

Di seguito si discutono i risultati ottenuti dall'analisi statistica effettuata sui dati.

### ***7.1 Velocità e accelerazione***

L'analisi statistica è stata eseguita separatamente su velocità e accelerazione. Entrambe sono state analizzate sia nel caso più generale, considerando tutte le tipologie di tiro, sia prendendo in esame ogni singola tipologia e facendo un confronto tra i dati nella fase pre e post allenamento.

#### ***7.1.1 Velocità***

Per confrontare la velocità di stacco dalla mano della palla nelle due fasi è stato eseguito un t-test a campioni accoppiati, essendo la distribuzione normale.

Il risultato ottenuto ha mostrato una grande differenza della velocità nelle due fasi ( $t\_score=6$ ), in particolare è stata registrata una diminuzione tra il pre e il post allenamento. Si è passati da  $13.3\pm 1.3$  m/s a  $12.3\pm 1$  m/s.

Sono state considerate le singole tipologie di tiro separatamente per vedere come ognuna influisce sul risultato generale. In tutti tre i casi si evidenzia una diminuzione della velocità dal pre al post allenamento, ciò conferma quindi l'andamento generale.

Inoltre si può affermare che tutte le tipologie influiscono allo stesso modo sul risultato complessivo in quanto il  $t\_score$  dei t-test effettuati risulta compreso tra 3 e 3.8, perciò la differenza tra i valori del pre e post allenamento è comparabile in tutti tre i casi.

Per ogni t-test eseguito sulla velocità di stacco è stata ottenuta significatività statistica ( $p<0.05$ ), per cui si può concludere che tra la fase pre e post allenamento si assiste ad una diminuzione della velocità.

Per quanto concerne la velocità di arrivo in porta è stato nuovamente effettuata una comparazione tra i valori pre e post allenamento eseguendo un t-test a campioni accoppiati ed è emerso che non c'è differenza tra i due valori.

Difatti si passa da  $12.2 \pm 1.7$  m/s nella fase pre allenamento a  $12.19 \pm 1.3$  m/s nella fase post allenamento. In questo caso il test non ha significatività statistica ( $p > 0.05$ ).

Analizzando la velocità di arrivo per le singole tipologie di tiro non si registrano differenze evidenti tra i valori nelle due fasi, si nota un differente andamento per il tiro di rigore rispetto agli altri due tipi di tiro, in quanto nel rigore la velocità di arrivo diminuisce leggermente mentre nel tiro al volo e tiro con finta c'è un leggero aumento della media tra le due fasi.

Complessivamente si può affermare che queste differenze siano molto contenute e che quindi tutte le tipologie di tiro influiscono allo stesso modo sull'andamento generale e che ne rispecchiano il risultato, difatti non si registrano differenze sostanziali tra le due fasi. Per i t-test effettuati sulla velocità di arrivo non si ha significatività statistica ( $p > 0.05$ ).

Si può concludere dicendo che nonostante la velocità di stacco subisca una diminuzione non si riscontra lo stesso andamento per la velocità di arrivo in porta, per cui la palla arriva sulla linea di porta sempre con la stessa velocità media nelle due fasi analizzate.

### ***7.1.2 Accelerazione***

Il confronto tra l'accelerazione di stacco pre e post allenamento, effettuato applicando il test di Wilcoxon, ha dimostrato che c'è elevata somiglianza tra i valori nelle due fasi. Lo stesso tipo di risultato è stato ottenuto anche dal t-test a campioni accoppiati effettuato per l'accelerazione di arrivo. In entrambi i casi non si ottiene significatività statistica ( $p > 0.05$ ).

Andando a valutare singolarmente le tipologie di tiro per l'accelerazione di stacco si ottengono sempre dei valori di z\_score (per il tiro di rigore e per il tiro al volo) e di t\_score (per il tiro con finta) che dimostrano la somiglianza tra l'accelerazione nelle due fasi.

Per l'accelerazione di arrivo per tutte le tipologie di tiro il valore di  $t\_score$  è sempre molto piccolo, comprese tra -0.75 e -0.25, per cui anche in questo caso non si hanno differenze evidenti nelle due fasi.

Anche per i test condotti sulle singole tipologie di tiro sia all'istante di stacco che a quello di arrivo non si ha significatività statistica ( $p > 0.05$ ).

I risultati ottenuti sia sull'accelerazione pre allenamento che su quella post allenamento non sorprendono in quanto ai valori medi sono associate delle deviazioni standard molto alte. Questo è indice di un'elevata dispersione dei dati intorno alla media.

## ***7.2 Potenza***

Il confronto della potenza all'istante di stacco sia nel caso più generale sia considerando le tipologie di tiro singolarmente non mostra differenze tra i valori pre e post allenamento. Osservando i valori della media della potenza pre e post in tutti i test, potrebbe sembrare che il test statistico non sia corretto perché i valori risultano diversi ma bisogna tenere conto delle deviazioni standard molto elevate per tutti i valori di media calcolati. Per i test eseguiti non si ottiene significatività statistica ( $p > 0.05$ ).

Quello che si può notare è che nella fase pre allenamento per tutti i tiri il soggetto 5 risulta come un outlier (Figura 6.13, Figura 6.15, Figura 6.17) in quanto ha sempre una potenza di stacco di molto superiore a quella degli altri soggetti. Andando a vedere chi tra le atlete corrisponde al soggetto 5 dell'analisi, risulta essere la giocatrice ritenuta più potente anche dal tecnico della squadra per cui questo risultato conferma l'andamento reale.

Per la potenza di arrivo nuovamente sia nel caso più generale che prendendo in considerazione le singole tipologie di tiro, i test di confronto non mostrano differenze dei valori medi di potenza nelle due fasi. Anche per la potenza di arrivo i valori di media ottenuti sono associati a deviazioni standard molto elevate di cui bisogna tenere conto nella valutazione, inoltre anche in questo caso dai test eseguiti non si ottiene significatività statistica ( $p > 0.05$ ).

Per la potenza di arrivo in porta non sono stati riscontrati outlier per cui il soggetto 5 che si era distinto nella potenza di stacco non risulta ottenere lo stesso risultato anche nella potenza di arrivo.

Dato che complessivamente non sono stati ottenuti dei cambiamenti nei valori della potenza pre e post allenamento, si può concludere che gli esercizi mirati allo sviluppo della potenza eseguiti in fase di allenamento non hanno prodotto miglioramenti misurabili nella performance delle atlete. Non è possibile definire se questo risultato sia dovuto al fatto che gli esercizi individuati non sono adeguati ad incrementare la potenza dei tiri oppure se il tempo dedicato alla fase di allenamento in questo studio sia stato troppo limitato per apprezzare dei miglioramenti.

### ***7.3 Punteggio di precisione***

Dall'analisi di confronto sul punteggio di precisione di tutte le tipologie di tiro, effettuata con un t-test a campioni accoppiati, si riscontra che tra la fase pre e post allenamento c'è una differenza apprezzabile ( $t\_score = -1.8$ ).

Considerando il valor medio del punteggio si passa da  $9.9 \pm 3.6$  nella fase pre a  $11.1 \pm 3$  nella fase post allenamento, per cui si nota un miglioramento, seppur moderato, della precisione dei tiri. Il test ha restituito un  $p\_value$  pari a 0.07 che è ai limiti della significatività statistica per cui un risultato incoraggiante.

Andando a considerare separatamente il tiro di rigore, il tiro al volo e il tiro con finta si ottiene un andamento concorde a quello generale ovvero si registra un miglioramento del punteggio in tutti i casi. La differenza maggiore si riscontra per il tiro al volo in cui si passa da  $8.4 \pm 3.5$  a  $11.1 \pm 2.7$  ( $p = 0.054$ ).

Da questa analisi si può dedurre che gli esercizi svolti per migliorare la precisione durante l'allenamento siano stati effettivamente efficaci.

Dato l'incremento contenuto si può ipotizzare che svolgendo tali esercizi per un periodo di tempo maggiore, il miglioramento possa essere più evidente. Inoltre

si ritiene interessante per studi futuri valutare se introducendo tra gli esercizi anche l'utilizzo del telo con i fori la precisione dei tiri possa aumentare ulteriormente.

## ***7.4 Velocità massima***

La velocità massima è stata valutata nel complesso pre e post allenamento, il risultato ottenuto dal t-test a campioni accoppiati mostra una diminuzione della velocità massima ( $t\_score=4.3$ ) tra le due fasi ed ha significatività statistica ( $p<0.001$ ). Si passa da  $14\pm 1.5$  m/s nella fase pre allenamento a  $13.4\pm 1$  m/s nella fase post allenamento. Questo andamento segue quello della velocità lungo la direzione y valutato in precedenza.

Il fatto che la velocità massima e la velocità lungo y sono diminuite mentre il punteggio di precisione è aumentato non è strano in quanto un tiro non è tanto più preciso quanto più è veloce, è possibile effettuare tiri estremamente precisi ma che non abbiano velocità estremamente elevate. Il vantaggio di avere un tiro veloce è che il portiere ha meno tempo per intercettare il pallone indipendentemente dalla precisione del tiro [22].

## ***7.5 Angolo di gomito***

Effettuando un confronto tra il pre e il post del valore dell'angolo di gomito, mediante un t-test a campioni accoppiati, si è ottenuto che c'è differenza tra le due fasi ( $t\_score=-2.6$ ) e dato che il valore del  $p\_value$  è pari a 0.01 si ha significatività statistica. Nello specifico si verifica un aumento dell'angolo di gomito, si passa da  $30.1\pm 9^\circ$  nella fase pre allenamento a  $35.4\pm 10^\circ$  nella fase post allenamento.

## ***7.6 Angolo di spalla***

Effettuando un confronto tra il pre e il post del valore dell'angolo di spalla, mediante un t-test a campioni accoppiati, si è ottenuto che c'è differenza tra le due fasi ( $t\_score = -3.1$ ) e dato che il valore del  $p\_value$  è pari a 0.004 si ha significatività statistica. Nello specifico si verifica un aumento dell'angolo di spalla, si passa da  $59.7 \pm 9.7^\circ$  nella fase pre allenamento a  $64.9 \pm 8.9^\circ$  nella fase post allenamento.

## ***7.7 Correlazione dell'angolo di gomito con velocità massima e punteggio di precisione***

### ***7.7.1 Correlazione tra angolo di gomito e velocità massima***

È stata valutata la correlazione tra l'angolo di gomito e la velocità massima della palla effettuando il test di correlazione di Spearman. Il coefficiente di correlazione di Spearman  $r$  vale -0.45 e il risultato del test ha significatività statistica ( $p < 0.001$ ).

Ciò indica che tra l'angolo di gomito e la velocità massima di tiro lungo  $y$  c'è correlazione negativa, al diminuire dell'angolo di gomito aumenta la velocità massima lungo  $y$ . Il valore fornisce l'entità della correlazione per cui in questo caso la correlazione è moderata.

Il risultato ottenuto lo si confronta con dati trovati in letteratura.

Da letteratura (Van den Tillaar & Ettema, 2007) per giocatori professionisti di pallamano si legge che per la correlazione tra l'angolo di gomito e la velocità massima di tiro sono stati ottenuti il coefficiente di correlazione  $r$  pari a -0.64, con un  $p\_value$  pari a 0.035. Dato che il gesto del tiro nella pallanuoto e nella pallamano viene ritenuto molto simile i valori ottenuti sono paragonabili [26].

Si ha correlazione negativa in entrambi i casi, il valore della correlazione trovato in letteratura è leggermente più elevato ma bisogna considerare che si tratta di

atleti professionisti mentre nel presente studio i soggetti sono atlete semi-professioniste.

La correlazione negativa tra velocità massima lungo y e l'angolo di gomito conferma i risultati trovati in precedenza sulla valutazione pre e post di velocità massima e angolo di gomito. L'aumento del valore dell'angolo di gomito nella fase post allenamento è concorde con la diminuzione della velocità massima lungo y nella stessa fase, entrambi i risultati avevano riportato significatività statistica ( $p < 0.05$ ).

La correlazione è stata valutata anche singolarmente nella fase pre allenamento e nella fase post allenamento. In fase di pre allenamento si ottiene il coefficiente di correlazione r pari a -0.47 ( $p < 0.001$ ), in fase di post allenamento si ottiene il coefficiente di correlazione pari a -0.4 ( $p < 0.001$ ).

Entrambi i risultati confermano la correlazione trovata a livello più generale, quindi si può dire che in entrambi le fasi si ha moderata correlazione negativa tra angolo di gomito e velocità massima della palla lungo y.

### ***7.7.2 Correlazione tra angolo di gomito e punteggio di precisione***

È stata analizzata la correlazione tra l'angolo di gomito e il punteggio di precisione applicando il test di correlazione di Spearman. È stato ottenuto un valore del coefficiente di correlazione r pari a -0.18 ( $p = 0.01$ ) questo dimostra che tra le due grandezze c'è correlazione molto bassa.

## ***7.8 Correlazione dell'angolo di spalla con velocità massima e punteggio di precisione***

### ***7.8.1 Correlazione tra l'angolo di spalla e la velocità massima***

È stata valutata la correlazione tra l'angolo di gomito e la velocità massima della palla effettuando il test di correlazione di Spearman. Il coefficiente di correlazione di Spearman r vale -0.3 e il risultato del test ha significatività statistica ( $p < 0.001$ ).

Il valore del coefficiente di correlazione dimostra una correlazione molto bassa tra l'angolo di spalla e la velocità massima.

Andando a confrontare il risultato ottenuto con lo studio in letteratura di Van den Tillaar & Ettema, condotto su degli atleti professionisti di pallamano si nota un risultato simile per quanto riguarda la correlazione tra l'angolo di spalla e la velocità massima. Anche nel caso di atleti professionisti di pallamano il coefficiente di correlazione  $r$  è pari a  $-0.21$  ( $p > 0.05$ ) il che dimostra una correlazione molto bassa. Data la somiglianza della cinematica del tiro in diversi sport tra cui anche la pallanuoto e la pallamano si può ritenere valido il confronto effettuato dei valori ottenuti con quelli trovati in letteratura [26].

### ***7.8.2 Correlazione tra angolo di spalla e punteggio di precisione***

È stata analizzata la correlazione tra l'angolo di spalla e il punteggio di precisione applicando il test di correlazione di Spearman. È stato ottenuto un valore del coefficiente di correlazione  $r$  pari a  $-0.2$  ( $p = 0.01$ ) questo dimostra che tra le due grandezze c'è correlazione molto bassa.

### ***7.9 Correlazione tra velocità massima e punteggio di precisione***

È stata valutata la correlazione tra la massima velocità e il punteggio di precisione tramite il test di correlazione di Spearman. È stato ottenuto il coefficiente di correlazione  $r$  pari a  $0.1$  ( $p > 0.05$ ) questo dimostra che tra le due grandezze non c'è correlazione. Lo stesso risultato è stato ottenuto per il test di correlazione effettuato separatamente per la fase pre allenamento e per la fase post allenamento.

Questo risultato conferma ciò che è stato affermato in precedenza ovvero che un tiro non è tanto più preciso quanto più è veloce, difatti tra precisione e velocità massima non c'è correlazione.

## ***7.10 Correlazione tra velocità di arrivo in porta e punteggio di precisione***

Per maggiore completezza è stata valutata anche la correlazione tra la velocità di arrivo in porta e il punteggio di precisione. È stato effettuato il test di correlazione di Spearman ed è stato ottenuto il coefficiente di correlazione  $r$  pari a 0.1 ( $p > 0.05$ ) questo dimostra che non c'è correlazione come era prevedibile dato il risultato ottenuto per la velocità massima.

Si può concludere dicendo che in questo studio non è stata trovata correlazione in generale tra velocità e punteggio di precisione, si deve precisare che la mancata correlazione potrebbe essere dovuta alla modalità di attribuzione dei punteggi che è stata effettuata. Si consiglia per studi futuri di verificare se identificando diverse zone di precisione e utilizzando un criterio diverso di attribuzione del punteggio si possa trovare correlazione tra velocità e precisione.



## ***8 Conclusioni***

La pallanuoto nasce come sport prettamente maschile ed incentrato principalmente su caratteristiche di potenza ed aggressività. Nel corso degli anni si è ampliato grazie alla fondazione di numerose squadre femminili. Negli ultimi decenni, la pallanuoto ha suscitato interesse non solo da un punto di vista sportivo, ma anche biomeccanico ed ingegneristico, con il principale intento di quantificare i principali parametri caratterizzanti le performance di gioco. In base alla metodologia di misura ed alle variabili di interesse, la pallanuoto può essere studiata per la valutazione di parametri fisiologici degli atleti, in termini di attivazione e affaticamento muscolare, ed infine per l'analisi della cinematica del gesto sportivo.

Principalmente, nei lavori che sono stati svolti in passato, i soggetti sui quali sono eseguiti gli studi risultano essere atleti maschi professionisti. Pochi studi presentano casistiche in cui sono state analizzate le performance di atlete femmine professioniste. Questa differenza è dovuta anche al fatto che la pallanuoto femminile è stata inserita solo nel 2000 ai Giochi Olimpici. Per questo motivo, fino ad allora questo sport era considerato prettamente maschile.

Data la notevole diffusione anche nel settore femminile in tutte le categorie, è stato ritenuto interessante effettuare uno studio su una squadra femminile semi-professionista, per verificare la presenza di parametri da poter tenere in considerazione per la valutazione sportiva.

In particolare, in questo lavoro di tesi è stato eseguito uno studio biomeccanico sul gesto del tiro in porta nella pallanuoto. Quest'ultimo, infatti, è una tecnica di gioco fondamentale in quanto permette di raggiungere lo scopo finale durante una partita, ovvero quello di eseguire un goal. Per questo motivo l'analisi del tiro da un punto di vista biomeccanico e la quantizzazione delle variabili che lo caratterizzano risulta di particolare interesse.

Grazie all'integrazione degli attuali programmi di allenamento con specifici esercizi finalizzati all'incremento di potenza e precisione di tiro, si è verificata la presenza di eventuali miglioramenti delle prestazioni di tiro delle atlete dopo un periodo di training di un mese e mezzo. Nel dettaglio, sono state effettuate delle prove pre e post allenamento e sono state messi a confronto i parametri di potenza e precisione di tipologie di tiro differenti.

Inoltre è stata anche valutata la correlazione di due angoli anatomici riferiti all'arto superiore, coinvolto nell'esecuzione del tiro, con la velocità massima di tiro e la precisione ottenuta.

A seguito di una post elaborazione delle acquisizioni video fatte sia nella fase pre allenamento che nella fase post allenamento, sono stati ricavati i dati utili per eseguire un'analisi statistica. Tale analisi ha permesso di effettuare un confronto dei valori di potenza, precisione, angolo di flessione del gomito e angolo di rotazione interna della spalla tra la fase pre e post allenamento per verificare l'evoluzione dei dati.

Per quanto riguarda la potenza non sono state ottenute delle differenze sostanziali tra le due fasi. Infatti, i valori della potenza in entrambe le fasi sono rimasti piuttosto simili, sia all'istante di stacco della palla dalla mano ( $z\_score = -0.2$ ,  $p=0.9$ ) che all'arrivo in porta ( $t\_score = 0.1$ ,  $p=0.9$ ).

Il punteggio di precisione ha riscontrato un miglioramento nella fase post allenamento, passando da un punteggio di  $9.9 \pm 3.6$  a  $11.1 \pm 3$  nella fase finale. Il risultato del test statistico applicato è inoltre ai limiti della significatività statistica ( $p=0.07$ ). Si deduce quindi che gli esercizi volti al miglioramento della precisione dei tiri in porta siano stati complessivamente efficaci. Il moderato incremento del valore del punteggio di precisione può essere riconducibile al fatto che il periodo di allenamento non è stato sufficientemente lungo per apprezzare differenze più evidenti. La ripetizione del test e del confronto dei parametri dopo una sessione di training con durata maggiore potrebbe confermare con maggior robustezza l'efficacia degli esercizi. In caso di prosecuzione con l'analisi, si consiglia di effettuare un maggior numero di trial

di acquisizione o di incrementare il totale dei soggetti, così da migliorare l'analisi anche da un punto di vista di significatività statistica.

Il test di correlazione eseguito su l'angolo di flessione del gomito e la velocità massima del tiro ha dimostrato la presenza di una moderata correlazione negativa tra le due grandezze ( $r = -0.45$ ). Ciò significa che alla diminuzione dell'angolo di gomito corrisponde un aumento della velocità della palla. Il test ha ottenuto significatività statistica ( $p < 0.001$ ) questo ha confermato quanto trovato in letteratura.

È stata inoltre dimostrata l'assenza di correlazione tra l'angolo di rotazione interna della spalla e la velocità massima della palla ( $r = -0.2$ ,  $p = 0.01$ ) e anche questo risultato conferma i dati sperimentali trovati in letteratura.

Si tiene a precisare che gli esercizi proposti in questo lavoro non sono volti né al miglioramento degli angoli anatomici né al miglioramento della velocità massima. La valutazione effettuata su questi parametri elude la bontà degli esercizi svolti.

Il risultato ottenuto è stato ritenuto incoraggiante anche perché i dati in letteratura sono riferiti ad atleti professionisti, per cui questo dimostra che condurre le stesse analisi per atleti professionisti e semi-professionisti possa fornire informazioni utili ai tecnici delle squadre per potenziare e migliorare le performance atletiche dei giocatori in ogni categoria.

Infine non è stata trovata correlazione tra gli angoli anatomici dell'arto superiore e la precisione del tiro. Ciò potrebbe essere connesso alla modalità con cui è stata valutata la precisione in questo lavoro e all'attribuzione del punteggio di precisione. In studi futuri sarebbe interessante valutare se, applicando una metodologia diversa di valutazione della precisione, si possa ottenere un risultato differente.

Infine, potrebbe essere di forte interesse incrementare il numero di soggetti ed il numero delle acquisizioni nel corso del tempo, in modo da poter effettuare un'analisi statistica dei risultati più robusta. Il prolungamento della fase di

training potrebbe rivelarsi cruciale nella valutazione di differenze e miglioramenti dei parametri.

Questo studio potrebbe quindi rivelarsi una fase preliminare di analisi biomeccanica della pallanuoto, introducendo una strategia di misura e di verifica delle prestazioni e dei miglioramenti degli atleti attraverso variabili cinematiche e dinamiche del gesto sportivo.

## 9 Appendice A

Di seguito si riportano tabelle e grafici che integrano quelle contenute all'interno di questo elaborato.

Si riporta subito la legenda relativa alle tabelle riportate successivamente.

Fuori
Dentro
Palo/Traversa
Non eseguito
7-dentro

ACCELERAZIONE PALLA - ISTANTE STACCO MANO										
	Soggetto	Rigore			Tiro al Volo			Finta e Tiro		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
V <sub>x</sub>	1	52,16	24,31	39,48	26,93	15,38	54,62	51,68	10,28	42,26
	2	-5,91	5,63	25,08	28,06	0,97	17,28	26,62	-3,54	7,99
	3	63,80	34,01	16,28	33,66	-5,57	29,27	-14,42	-2,99	0,00
V <sub>y</sub>	1	-143,27	-152,59	-207,22	-102,00	-161,40	-149,00	-68,48	-66,85	-60,69
	2	-43,84	-18,03	-26,34	-54,77	-21,75	-37,79	1,90	-24,01	-33,02
	3	-76,66	-62,61	-52,75	-95,49	-60,06	-62,32	-57,54	-75,46	0,00
V <sub>z</sub>	1	-33,89	-18,75	-21,62	-19,91	-25,14	-19,91	-22,76	-43,06	-32,26
	2	-38,06	-29,44	-33,63	-47,89	-31,50	-14,97	-10,14	-30,15	-38,59
	3	-43,24	-42,41	-52,08	-29,69	-30,32	-29,75	-45,44	-45,19	0,00
V	1	156,67	156,26	213,41	107,68	164,28	160,04	89,93	83,22	81,57
	2	61,45	37,09	51,26	78,87	40,54	44,63	32,03	40,82	52,01
	3	109,69	83,78	76,28	106,06	67,78	75,64	77,61	88,21	0,00

Tabella 9.1 Valori dell'accelerazione di stacco dalla mano lungo le componenti e in valore assoluto per media±1

VELOCITÀ PALLA - ISTANTE ARRIVO IN PORTA										
	Soggetto	Rigore			Tiro al Volo			Finta e Tiro		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
V <sub>x</sub>	1	4,68	-1,81	1,44	3,34	-1,94	2,45	2,94	-3,33	2,68
	2	2,36	-2,89	1,71	3,31	-2,10	2,04	3,76	-2,09	2,33
	3	4,30	2,37	2,16	1,99	-3,43	1,36	1,50	0,36	0,00
V <sub>y</sub>	1	-16,35	-16,34	-16,14	-14,56	-15,21	-12,58	-12,16	-15,02	-14,48
	2	-13,24	-13,25	-13,30	-13,71	-13,96	-12,31	-11,49	-12,62	-13,37
	3	-13,11	-12,99	-13,41	-12,27	-12,14	-12,03	-12,47	-12,78	0,00
V <sub>z</sub>	1	-3,11	-1,33	-2,31	-2,84	-2,35	-0,35	-0,64	-1,36	-2,05
	2	-2,63	-3,00	-2,95	-2,99	-3,13	-1,11	-1,14	-3,06	-3,36
	3	-2,56	-2,84	-2,12	-0,45	-1,63	-1,79	-2,67	-0,08	0,00
V	1	17,29	16,50	16,37	15,21	15,52	12,87	12,55	15,44	14,87
	2	13,70	13,90	13,75	14,43	14,47	12,54	12,16	13,16	13,98
	3	14,03	13,52	13,76	12,44	12,75	12,25	12,84	12,82	0,00

Tabella 9.2 Valori della velocità di arrivo in porta lungo le componenti e in valore assoluto per media±1

ACCELERAZIONE PALLA - ISTANTE ARRIVO IN PORTA										
	Soggetto	Rigore			Tiro al Volo			Finta e Tiro		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
V <sub>x</sub>	1	1,77	12,88	-9,14	-27,06	-22,04	106,04	-1,58	-11,09	15,16
	2	26,91	15,82	-11,81	-10,88	-4,16	-0,90	3,83	-33,54	43,55
	3	31,27	27,14	-1,82	-27,69	44,80	-35,55	-8,04	14,10	0,00
V <sub>y</sub>	1	49,77	16,40	26,90	19,75	24,90	234,80	340,84	36,48	48,21
	2	-15,77	-5,93	0,31	-3,95	-4,83	0,85	29,70	40,34	7,73
	3	73,79	49,16	15,75	249,75	-47,87	130,77	-6,39	41,25	0,00
V <sub>z</sub>	1	-17,43	-9,11	3,01	-0,04	11,20	111,85	36,63	-10,71	4,57
	2	-4,36	11,40	13,52	-9,71	-9,98	4,26	-40,94	-38,50	-29,60
	3	0,06	-27,26	34,89	12,70	-8,15	-24,61	-9,03	91,06	0,00
V	1	59,34	34,47	29,18	33,74	38,41	283,94	342,95	40,94	52,42
	2	31,65	31,55	19,33	18,50	24,47	12,48	52,50	66,65	56,54
	3	80,77	64,17	45,60	251,79	67,10	140,18	23,55	103,50	0,00

Tabella 9.3 Valori dell'accelerazione di arrivo in porta lungo le componenti e in valore assoluto per media $\pm$ 1

VELOCITÀ PALLA - ISTANTE STACCO MANO										
	Soggetto	Rigore			Tiro al Volo			Finta e Tiro		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
V <sub>x</sub>	1	3,97	-2,76	0,87	1,80	-3,41	2,56	2,33	-4,16	2,45
	2	2,62	-3,02	2,29	2,22	-2,39	1,85	2,94	-2,56	2,19
	3	2,94	2,26	2,53	1,75	-3,81	1,59	2,25	0,65	0,00
V <sub>y</sub>	1	-15,06	-14,43	-13,23	-13,76	-12,22	-12,59	-14,64	-14,75	-14,87
	2	-13,23	-13,39	-13,78	-13,76	-14,35	-12,61	-12,91	-13,21	-13,40
	3	-12,97	-12,99	-13,12	-12,94	-13,34	-12,95	-11,71	-12,31	0,00
V <sub>z</sub>	1	0,89	0,37	1,08	0,73	0,84	-0,16	2,34	1,40	1,36
	2	1,50	1,13	0,94	2,26	1,46	2,55	3,65	1,97	1,63
	3	1,85	1,78	1,66	2,57	1,38	1,92	1,22	0,63	0,00
V	1	15,62	14,73	13,33	13,91	12,78	12,86	15,04	15,44	15,16
	2	13,60	13,79	14,02	14,16	14,64	13,01	13,75	13,61	13,70
	3	13,49	13,34	13,50	13,34	13,96	13,21	12,04	12,37	0,00

Tabella 9.4 Valori della velocità di stacco dalla mano lungo tutte le componenti e in valore assoluto per media $\pm$ 3

ACCELERAZIONE PALLA - ISTANTE STACCO MANO										
	Soggetto	Rigore			Tiro al Volo			Finta e Tiro		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Vx	1	58,35	12,88	45,50	31,46	14,48	57,41	-63,11	-73,36	-60,90
	2	2,72	7,28	15,94	32,58	2,13	25,39	-11,38	-28,20	-30,28
	3	47,25	25,81	18,73	26,00	-8,35	22,29	-3,62	2,67	0,00
Vy	1	-135,08	-149,53	-188,05	-98,57	-149,80	-136,09	-68,48	-66,85	-60,69
	2	-43,19	-21,94	-35,82	-53,10	-30,73	-40,28	1,90	-24,01	-33,02
	3	-78,18	-68,21	-50,34	-90,49	-63,47	-67,40	-56,20	-69,13	0,00
Vz	1	-27,84	-18,28	-17,66	-19,13	-22,88	-19,34	-22,06	-34,82	-30,85
	2	-34,17	-32,07	-35,88	-37,02	-27,40	-10,18	-12,03	-28,47	-37,88
	3	-33,37	-32,83	-51,79	-26,89	-28,10	-28,10	-24,23	-42,64	0,00
V	1	153,50	152,71	199,75	106,85	153,06	149,30	96,87	89,72	92,49
	2	59,53	44,21	57,85	77,63	48,50	52,11	39,05	44,82	57,12
	3	103,66	83,98	79,88	101,80	72,39	79,35	67,20	82,16	0,00

Tabella 9.5 Valori dell'accelerazione di stacco dalla mano lungo le componenti e in valore assoluto per media $\pm$ 3

VELOCITÀ PALLA - ISTANTE ARRIVO IN PORTA										
	Soggetto	Rigore			Tiro al Volo			Finta e Tiro		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Vx	1	4,35	-1,99	1,61	2,99	-2,38	1,81	2,73	-3,46	3,12
	2	2,02	-2,88	1,54	2,88	-1,98	1,81	3,22	-1,70	2,46
	3	4,07	2,32	2,51	1,65	-3,30	0,62	1,43	0,64	0,00
Vy	1	-16,17	-16,44	-16,05	-14,39	-15,16	-11,09	-10,13	-14,93	-14,44
	2	-13,22	-13,05	-13,29	-13,59	-13,81	-12,32	-11,52	-12,57	-13,10
	3	-12,80	-12,85	-13,39	-10,53	-12,49	-11,51	-12,63	-12,17	0,00
Vz	1	-2,73	-1,76	-2,27	-2,94	-2,60	-0,58	-0,35	-1,58	-2,36
	2	-2,48	-3,13	-2,86	-2,88	-2,92	-1,18	-1,10	-2,74	-3,27
	3	-2,38	-2,44	-2,26	-0,55	-1,74	-1,64	-2,69	-0,35	0,00
V	1	16,98	16,67	16,29	15,00	15,59	11,58	11,04	15,42	14,98
	2	13,62	13,74	13,69	14,21	14,26	12,52	12,05	13,03	13,76
	3	13,67	13,33	13,83	10,68	13,07	11,71	12,99	12,31	0,00

Tabella 9.6 Valori della velocità di arrivo in porta lungo le componenti e in valore assoluto per media $\pm$ 3

ACCELERAZIONE PALLA - ISTANTE ARRIVO IN PORTA										
	Soggetto	Rigore			Tiro al Volo			Finta e Tiro		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Vx	1	-1,60	15,46	-5,72	-11,82	-5,53	-102,02	-10,82	-3,33	8,30
	2	7,93	17,82	-14,68	-9,16	-3,98	-6,09	-12,13	-16,24	17,37
	3	36,92	16,10	-6,80	-14,63	22,28	-64,81	-9,04	11,65	0,00
Vy	1	64,94	30,16	28,93	28,67	20,37	228,68	311,08	24,75	57,17
	2	-5,24	4,41	5,69	8,65	7,77	1,21	17,47	19,09	4,36
	3	56,80	49,83	26,13	236,82	-24,06	115,33	4,24	45,96	0,00
Vz	1	-11,89	0,58	-8,52	-1,05	7,56	78,84	33,59	-16,08	13,99
	2	4,11	14,87	6,65	-6,71	-6,85	0,00	-30,73	-24,68	-19,92
	3	1,58	-7,82	15,63	1,11	-6,62	-10,55	-8,22	61,68	0,00
V	1	80,52	53,74	35,31	40,22	39,55	273,36	314,63	36,86	65,50
	2	26,46	38,68	25,87	38,40	36,06	16,36	59,84	52,91	42,04
	3	71,58	61,85	50,80	239,82	57,20	142,96	21,72	92,83	0,00

Tabella 9.7 Valori dell'accelerazione di arrivo in porta lungo le componenti e in valore assoluto per media $\pm$ 3

VELOCITÀ PALLA - ISTANTE STACCO MANO										
	Soggetto	Rigore			Tiro al Volo			Finta e Tiro		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Vx	1	3,45	-2,84	0,82	1,55	-3,58	2,28	1,91	-4,40	1,99
	2	2,33	-3,21	2,18	2,14	-2,45	1,63	2,74	-2,52	1,98
	3	2,58	2,15	2,49	1,72	-3,68	1,40	2,14	0,56	0,00
Vy	1	-14,01	-13,40	-12,05	-12,99	-11,55	-11,78	-13,92	-14,01	-14,23
	2	-12,97	-13,12	-13,38	-13,31	-13,89	-12,28	-12,62	-12,82	-13,14
	3	-12,37	-12,33	-12,55	-12,24	-12,71	-12,41	-11,30	-11,87	0,00
Vz	1	0,87	0,44	0,87	0,79	0,81	-0,02	2,21	1,56	1,36
	2	1,62	1,38	1,20	2,28	1,55	2,57	3,61	2,02	1,83
	3	1,81	1,84	1,91	2,53	1,54	1,95	1,18	0,83	0,00
V	1	14,54	13,81	12,23	13,15	12,32	12,07	14,32	14,85	14,54
	2	13,34	13,62	13,67	13,75	14,22	12,68	13,43	13,25	13,49
	3	12,86	12,72	13,06	12,69	13,37	12,70	11,60	12,00	0,00

Tabella 9.8 Valori della velocità di stacco dalla mano lungo le componenti e in valore assoluto per media $\pm$ 5

ACCELERAZIONE PALLA - ISTANTE STACCO MANO										
	Soggetto	Rigore			Tiro al Volo			Finta e Tiro		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
V <sub>x</sub>	1	61,86	3,15	46,94	32,86	13,23	53,52	51,07	4,00	51,95
	2	7,60	14,25	15,62	32,54	7,63	27,31	16,48	-2,55	28,57
	3	31,55	17,77	16,35	16,35	-8,51	16,54	6,18	6,67	0,00
V <sub>y</sub>	1	-120,44	-138,03	-162,70	-92,29	-130,99	-119,73	-60,08	-74,05	-62,79
	2	-43,26	-22,60	-41,60	-52,51	-37,28	-42,20	-25,48	-35,51	-31,75
	3	-76,63	-70,67	-51,20	-85,02	-64,23	-69,26	-47,82	-61,15	0,00
V <sub>z</sub>	1	-22,97	-15,98	-15,33	-16,89	-20,58	-18,32	-20,19	-23,29	-22,67
	2	-30,59	-36,80	-32,61	-27,68	-22,80	-7,12	-19,58	-22,19	-35,74
	3	-26,57	-23,07	-42,18	-20,52	-24,48	-24,99	-13,69	-36,33	0,00
V	1	149,96	147,45	180,30	108,10	134,45	134,43	100,79	96,63	100,21
	2	60,72	51,07	60,13	76,55	57,18	56,07	53,54	50,69	61,38
	3	100,72	86,82	82,32	99,36	77,03	82,33	66,10	74,26	0,00

Tabella 9.9 Valori dell'accelerazione di stacco dalla mano lungo le componenti e in valore assoluto per media±5

VELOCITÀ PALLA - ISTANTE ARRIVO IN PORTA										
	Soggetto	Rigore			Tiro al Volo			Finta e Tiro		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
V <sub>x</sub>	1	4,06	-2,34	1,76	2,84	-2,66	1,07	2,51	-3,47	3,24
	2	2,05	-2,40	1,63	2,62	-2,14	1,86	2,82	-1,57	2,14
	3	4,10	2,40	2,92	1,50	-3,26	-0,20	1,28	0,68	0,00
V <sub>y</sub>	1	-15,68	-16,19	-16,03	-14,06	-15,06	-9,41	-8,10	-15,04	-14,09
	2	-13,12	-12,93	-13,21	-13,36	-13,40	-12,35	-11,61	-12,52	-12,95
	3	-12,56	-12,62	-13,28	-8,77	-12,77	-11,03	-12,64	-11,87	0,00
V <sub>z</sub>	1	-2,33	-2,11	-2,26	-2,87	-2,69	-0,82	0,02	-1,75	-2,49
	2	-2,49	-2,96	-2,79	-2,85	-2,76	-1,22	-1,00	-2,47	-3,00
	3	-2,32	-2,19	-2,42	-0,74	-2,09	-1,53	-2,72	-0,64	0,00
V	1	16,39	16,52	16,29	14,64	15,55	11,15	11,29	15,55	14,70
	2	13,53	13,51	13,61	13,93	13,86	12,56	12,06	12,91	13,51
	3	13,50	13,07	13,84	10,08	13,39	11,50	12,99	12,04	0,00

Tabella 9.10 Valori della velocità di arrivo in porta lungo le componenti e in valore assoluto per media±5

ACCELERAZIONE PALLA - ISTANTE ARRIVO IN PORTA										
	Soggetto	Rigore			Tiro al Volo			Finta e Tiro		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Vx	1	-13,60	10,03	-2,99	-5,89	8,72	-90,74	-15,85	9,73	-6,04
	2	-2,56	28,37	-12,53	-1,51	2,65	1,75	-20,12	-6,02	0,73
	3	34,10	10,57	-11,74	-3,73	1,58	-81,50	-12,13	6,56	0,00
Vy	1	84,93	49,35	36,56	39,59	17,32	204,47	261,39	13,44	65,29
	2	5,37	16,91	13,83	23,05	24,50	3,84	8,64	11,20	11,16
	3	39,75	59,32	32,00	206,60	6,66	96,58	8,32	46,35	0,00
Vz	1	-6,21	4,92	-16,84	-0,70	3,72	49,31	21,24	-16,54	13,96
	2	8,79	20,42	1,69	-3,57	-0,24	-2,81	-22,05	-12,09	-9,22
	3	4,68	2,94	0,83	-13,81	-1,86	-1,00	-2,89	36,46	0,00
V	1	99,49	69,48	45,27	51,42	40,33	239,66	272,81	39,43	75,49
	2	30,88	53,69	33,21	51,41	51,30	19,64	59,85	49,30	49,43
	3	59,79	70,42	52,95	211,93	65,49	137,97	25,35	79,07	0,00

Tabella 9.11 Valori dell'accelerazione di arrivo in porta lungo le componenti e in valore assoluto per media $\pm$ 5

Accelerazione stacco mano										
	Soggetto	Rigore			Tiro al Volo			Finta		
valore istantaneo	1	156,55	156,21	216,34	107,32	166,60	162,81	89,66	80,17	78,84
	2	62,70	35,50	48,67	80,76	39,69	43,73	27,97	37,90	53,21
	3	112,31	83,75	75,52	107,59	66,89	74,53	83,74	92,09	0,00
Mean $\pm$ 1	1	156,67	156,26	213,41	107,68	164,28	160,04	89,93	83,22	81,57
	2	61,45	37,09	51,26	78,87	40,54	44,63	32,03	40,82	52,01
	3	109,69	83,78	76,28	106,06	67,78	75,64	77,61	88,21	0,00
Mean $\pm$ 3	1	153,50	152,71	199,75	106,85	153,06	149,30	96,87	89,72	92,49
	2	59,53	44,21	57,85	77,63	48,50	52,11	39,05	44,82	57,12
	3	103,66	83,98	79,88	101,80	72,39	79,35	67,20	82,16	0,00
Mean $\pm$ 5	1	149,96	147,45	180,30	108,10	134,45	134,43	100,79	96,63	100,21
	2	60,72	51,07	60,13	76,55	57,18	56,07	53,54	50,69	61,38
	3	100,72	86,82	82,32	99,36	77,03	82,33	66,10	74,26	0,00

Tabella 9.12 Confronto tra il valore vero e i valori mediati dell'accelerazione di stacco dalla mano

Velocità arrivo in porta										
	Soggetto	Rigore			Tiro al Volo			Finta		
valore istantaneo	1	17,39	16,43	16,38	15,24	15,46	13,21	13,07	15,45	14,77
	2	13,92	13,90	13,90	14,59	14,46	12,64	12,34	13,15	13,91
	3	14,12	13,60	13,77	12,93	12,62	12,43	13,03	12,80	0,00
Mean ±1	1	17,29	16,50	16,37	15,21	15,52	12,87	12,55	15,44	14,87
	2	13,70	13,90	13,75	14,43	14,47	12,54	12,16	13,16	13,98
	3	14,03	13,52	13,76	12,44	12,75	12,25	12,84	12,82	0,00
Mean ±3	1	16,98	16,67	16,29	15,00	15,59	11,58	11,04	15,42	14,98
	2	13,62	13,74	13,69	14,21	14,26	12,52	12,05	13,03	13,76
	3	13,67	13,33	13,83	10,68	13,07	11,71	12,99	12,31	0,00
Mean ±5	1	16,39	16,52	16,29	14,64	15,55	11,15	11,29	15,55	14,70
	2	13,53	13,51	13,61	13,93	13,86	12,56	12,06	12,91	13,51
	3	13,50	13,07	13,84	10,08	13,39	11,50	12,99	12,04	0,00

Tabella 9.13 Confronto tra il valore vero e i valori mediati della velocità di arrivo in porta

Accelerazione arrivo in porta										
	Soggetto	Rigore			Tiro al Volo			Finta		
valore istantaneo	1	49,18	21,65	29,14	37,55	36,25	284,70	347,95	41,78	48,04
	2	46,24	33,21	12,61	17,38	13,09	10,62	55,44	77,29	70,32
	3	81,87	67,32	43,20	253,60	72,16	138,53	14,57	114,95	0,00
Mean ±1	1	59,34	34,47	29,18	33,74	38,41	283,94	342,95	40,94	52,42
	2	31,65	31,55	19,33	18,50	24,47	12,48	52,50	66,65	56,54
	3	80,77	64,17	45,60	251,79	67,10	140,18	23,55	103,50	0,00
Mean ±3	1	80,52	53,74	35,31	40,22	39,55	273,36	314,63	36,86	65,50
	2	26,46	38,68	25,87	38,40	36,06	16,36	59,84	52,91	42,04
	3	71,58	61,85	50,80	239,82	57,20	142,96	21,72	92,83	0,00
Mean ±5	1	99,49	69,48	45,27	51,42	40,33	239,66	272,81	39,43	75,49
	2	30,88	53,69	33,21	51,41	51,30	19,64	59,85	49,30	49,43
	3	59,79	70,42	52,95	211,93	65,49	137,97	25,35	79,07	0,00

Tabella 9.14 Confronto tra il valore vero e i valori mediati dell'accelerazione di arrivo in porta

<b>TIRI OUT- velocità di stacco (m/s)</b>				
	<b>valore vero</b>	<b>media</b>	<b>std</b>	<b>differenza(vv-m)</b>
<b>1</b>	13,34	13,25	0,32	0,09
		13,01	0,68	0,33
		12,68	1,22	0,66
<b>2</b>	14,02	13,92	0,69	0,10
		13,49	1,52	0,52
		12,86	2,40	1,15
<b>3</b>	13,84	13,87	0,04	0,03
		13,75	0,20	0,09
		13,43	0,65	0,41

*Tabella 9.15 Confronto tra il valore vero e i valori mediati per tiri che non entrano in porta*

<b>TIRI PALO-velocità di stacco (m/s)</b>				
	<b>valore vero</b>	<b>media</b>	<b>std</b>	<b>differenza(vv-m)</b>
<b>1</b>	13,56	13,44	1,41	0,12
		12,86	2,92	0,70
		12,07	4,10	1,49
<b>2</b>	15,71	15,57	0,67	0,14
		15,04	1,41	0,68
		14,32	2,07	1,39

*Tabella 9.16 Confronto tra il valore vero e i valori mediati per tiri che colpiscono palo/traversa*

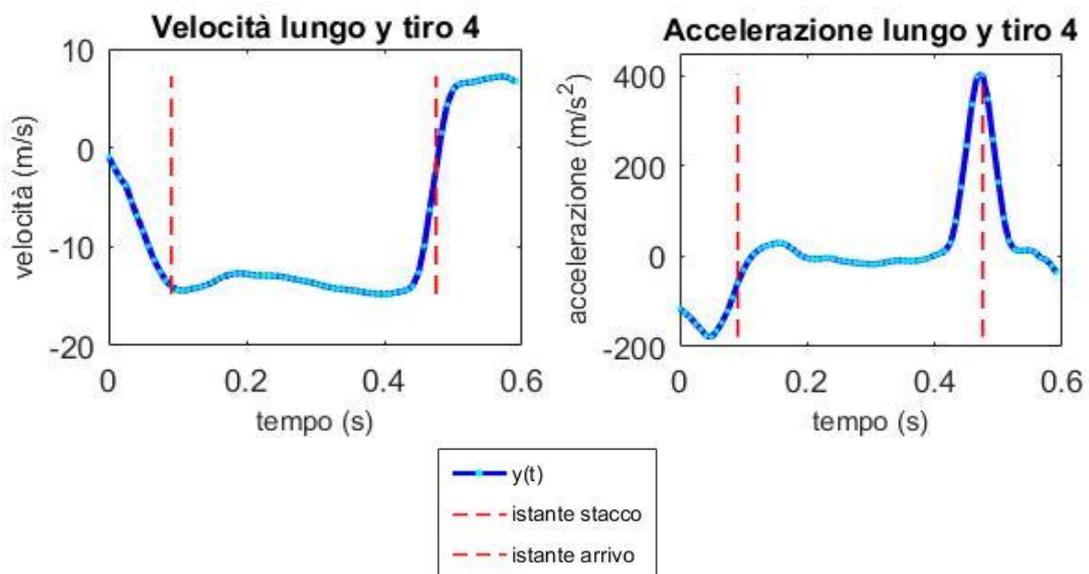


Figura 9.1 Velocità e accelerazione lungo y per un tiro su palo/traversa

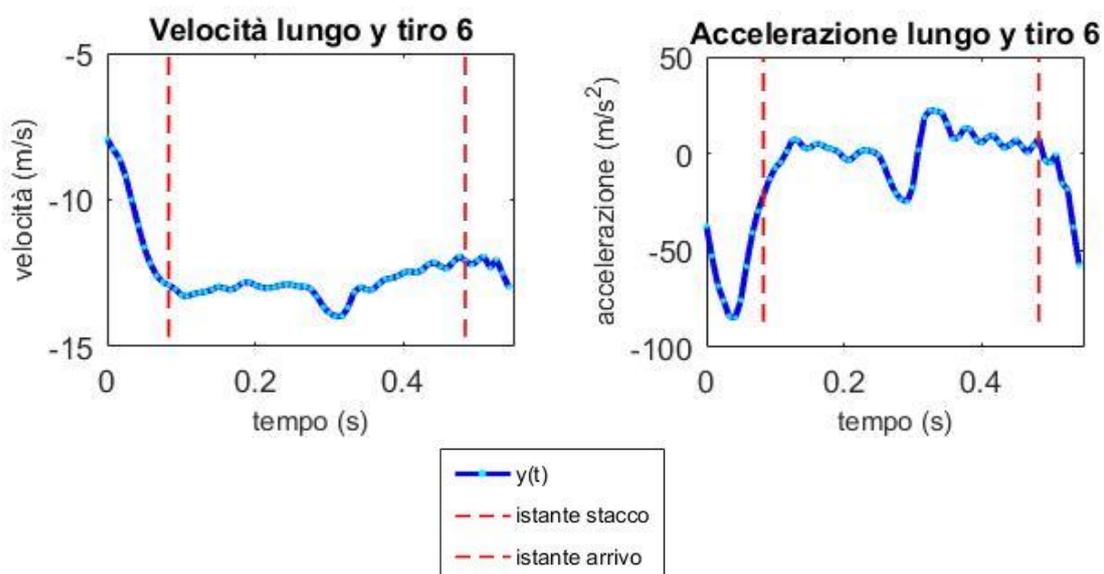


Figura 9.2 Velocità e accelerazione lungo y per un tiro out

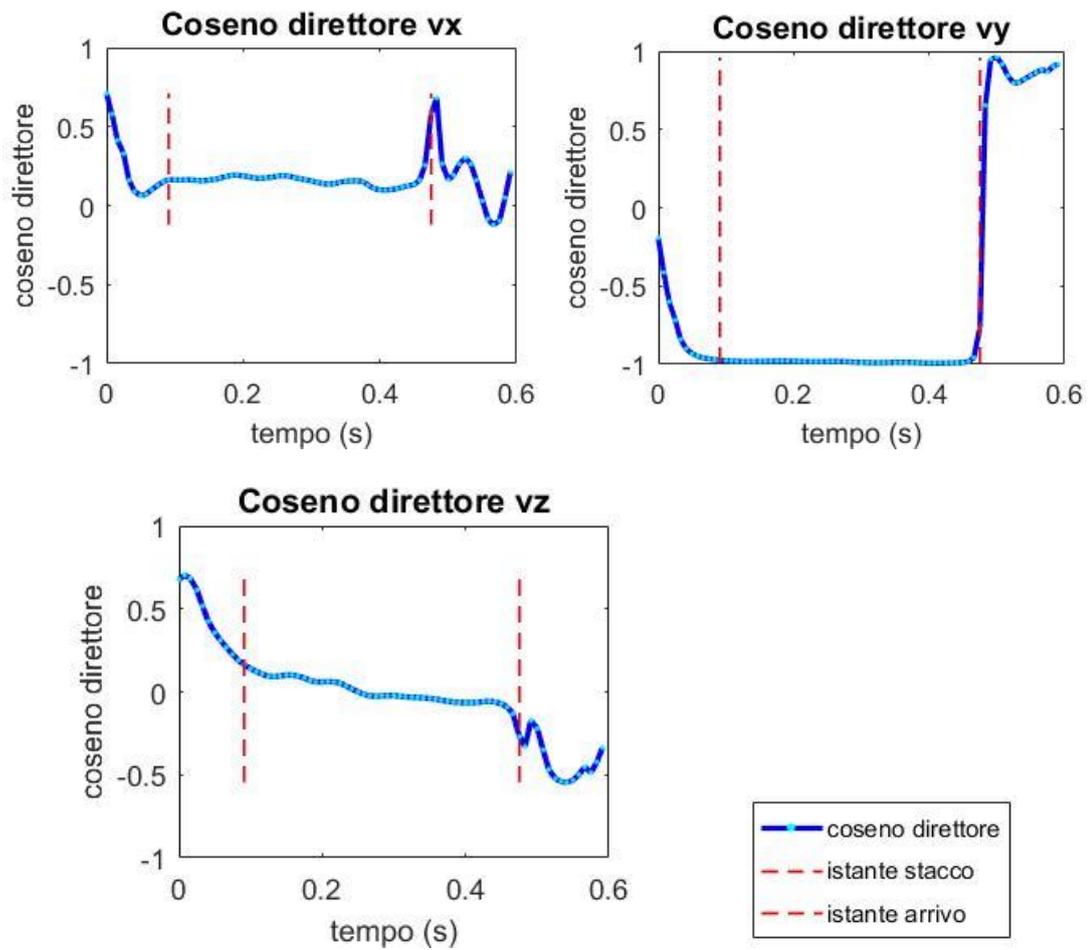


Figura 9.3 Coseni direttori per un tiro su palo/traversa

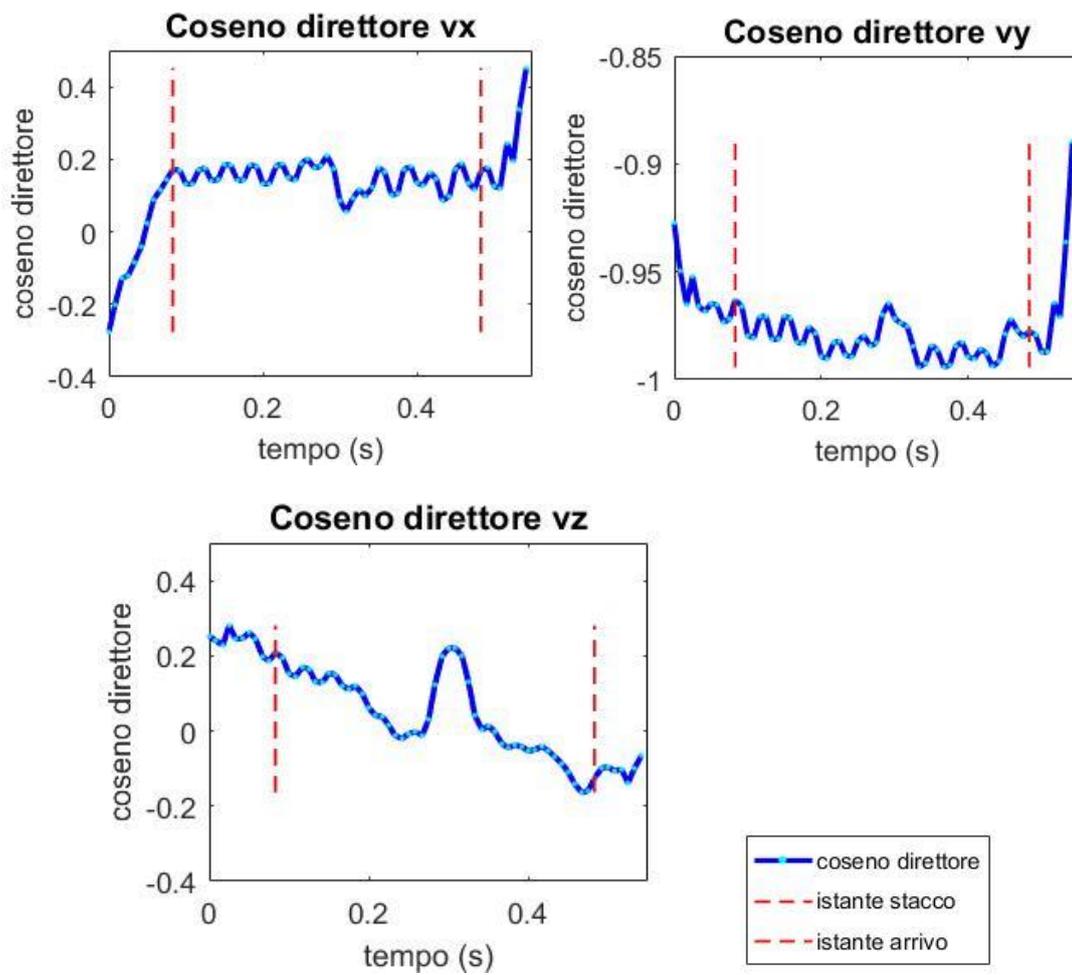


Figura 9.4 Coseni direttori per un tiro out

STACCO MANO			
tiro	soggetto	velocità media PRE (m/s)	velocità media POST (m/s)
V	1	12,8±7.4	11,9±0.3
	2	11,3±0.2	11,8±0.4
	3	12,5±0.1	11,7±0.4
	4	12,0±0.4	11,5±0.1
	5	13,7±1	13,1±0.4
	6	12,7±0.2	11,6±0.8
	7	11,9±6.9	11,7±0.4
	8	13,8±0.2	13,3±0.6
	9	14,0±0.4	12,8±0.5
	10	13,2±0.5	11,8±0.6
	11	14,4±0.8	12,2±0.1
<b>MEDIA</b>		<b>12,9</b>	<b>12,1</b>
<b>STD</b>		<b>1,0</b>	<b>0,6</b>

Tabella 9.17 Velocità istante stacco mano pre e post per tiro al volo

STACCO MANO			
tiro	soggetto	velocità media PRE (m/s)	velocità media POST (m/s)
F	1	12,7±0.4	12,2±0.5
	2	11,8±0.5	11,0±0.6
	3	12,7±0.3	12,0±0.5
	4	12,8±0.5	13,0±0.4
	5	15,4±0	13,6±0.6
	6	12,0±0.6	11,6±0.3
	7	12,1±0.9	11,7±0.9
	8	12,9±0.2	13,2±0.5
	9	13,5±0.4	12,6±0.6
	10	14,2±0.5	12,4±0.3
	11	16,1±0.3	13,9±0.3
<b>MEDIA</b>		<b>13,3</b>	<b>12,5</b>
<b>STD</b>		<b>1,4</b>	<b>0,9</b>

Tabella 9.18 Velocità istante stacco mano pre e post per tiro con finta

ARRIVO IN PORTA			
tiro	soggetto	velocità media PRE (m/s)	velocità media POST (m/s)
R	1	11,2±1.5	10,3±1.7
	2	11,5±0.6	10,9±0.6
	3	11,4±1.2	13,1±1.4
	4	11,9±1	11,6±2.2
	5	15,8±0.7	16,2±0.5
	6	11,9±0.8	10,0±1.9
	7	11,3±1.5	12,2±2
	8	12,9±0.7	13,7±0.5
	9	13,3±0.1	10,5±3.4
	10	13,4±1.5	13,5±0.1
	11	15,1±1	12,1±4.8
<b>MEDIA</b>		<b>12,7</b>	<b>12,2</b>
<b>STD</b>		<b>1,6</b>	<b>1,8</b>

Tabella 9.19 Velocità istante arrivo in porta pre e post per il tiro di rigore

ARRIVO IN PORTA			
tiro	soggetto	velocità media PRE (m/s)	velocità media POST (m/s)
V	1	12,2±7	11,4±0.9
	2	11,0±0.9	11,2±1.3
	3	12,4±0	12,4±0.2
	4	10,8±1.3	11,4±0.3
	5	14,1±0.4	13,8±0.3
	6	11,6±2	12,3±0.2
	7	7,4±6.4	11,6±0.3
	8	11,0±3	13,0±0.4
	9	13,2±1	10,9±4.5
	10	12,5±0.9	12,0±0.6
	11	12,7±2.5	13,0±0.2
<b>MEDIA</b>		<b>11,7</b>	<b>12,1</b>
<b>STD</b>		<b>1,8</b>	<b>0,9</b>

Tabella 9.20 Velocità di arrivo in porta pre e post per il tiro al volo

ARRIVO IN PORTA			
tiro	soggetto	velocità media PRE (m/s)	velocità media POST (m/s)
F	1	8,6±2.2	12,3±0.5
	2	11,8±0.3	11,1±0.3
	3	12,3±0.4	11,8±1.1
	4	12,5±0	11,2±1.1
	5	14,7±0.7	13,7±0.2
	6	12,0±0.5	12,1±0.3
	7	9,5±3.6	11,8±1.1
	8	13,3±0.4	13,3±1.2
	9	11,9±1.8	12,0±1
	10	12,3±2.4	11,6±0.2
	11	15,1±1.2	14,5±1
<b>MEDIA</b>		<b>12,2</b>	<b>12,3</b>
<b>STD</b>		<b>1,9</b>	<b>1,1</b>

Tabella 9.21 Velocità di arrivo pre e post per il tiro con finta

STACCO MANO			
tiro	soggetto	accelerazione media PRE (m/s <sup>2</sup> )	accelerazione media POST (m/s <sup>2</sup> )
R	1	17,0±10.4	21,6±9.6
	2	28,2±17.3	19,0±7.2
	3	29,8±18.1	12,5±25
	4	13,9±3	23,9±11
	5	134,3±17.9	55,8±10.9
	6	26,6±11.7	45,1±4.7
	7	19,8±11.4	29,5±5.2
	8	57,4±17.3	46,4±11.1
	9	27,8±19.7	18,6±7.1
	10	19,2±15	30,5±6.8
	11	31,5±11.7	55,3±11.3
<b>MEDIA</b>		<b>36,9</b>	<b>32,6</b>
<b>STD</b>		<b>34,3</b>	<b>15,5</b>

Tabella 9.22 Accelerazione di stacco pre e post del tiro di rigore

STACCO MANO			
tiro	soggetto	accelerazione media PRE (m/s <sup>2</sup> )	accelerazione media POST (m/s <sup>2</sup> )
V	1	11,0±11.1	39,6±10.5
	2	31,5±13.6	16,8±7.9
	3	34,1±12.4	46,6±16.8
	4	17,6±10.1	21,7±4.5
	5	121,8±34.3	59,1±11.2
	6	30,2±3.7	38,5±1.5
	7	8,5±6.7	18,1±3.4
	8	47,5±15.1	31,2±3.2
	9	22,2±1.9	30,0±3.6
	10	15,1±19.7	24,7±15
	11	43,2±5.7	49,9±10
<b>MEDIA</b>		<b>34,8</b>	<b>34,2</b>
<b>STD</b>		<b>31,5</b>	<b>13,8</b>

Tabella 9.23 Accelerazione di stacco pre e post per il tiro al volo

STACCO MANO			
tiro	soggetto	accelerazione media PRE (m/s <sup>2</sup> )	accelerazione media POST (m/s <sup>2</sup> )
F	1	30,4±5.9	28,2±12.5
	2	30,2±10.1	26,4±15.7
	3	28,9±15.3	40,2±13
	4	39,8±9.9	20,9±8.2
	5	60,8±24.4	42,7±7.9
	6	32,5±12.3	28,1±9.6
	7	14,1±9	26,8±11.8
	8	33,8±14.4	50,7±9
	9	6,2±8.6	18,8±21.2
	10	17,3±18.5	15,7±3.4
	11	22,2±24.7	58,8±14.1
<b>MEDIA</b>		<b>28,7</b>	<b>32,5</b>
<b>STD</b>		<b>14,5</b>	<b>13,8</b>

Tabella 9.24 Accelerazione di stacco pre e post per il tiro con finta

ARRIVO IN PORTA			
tiro	soggetto	accelerazione media PRE (m/s <sup>2</sup> )	accelerazione media POST (m/s <sup>2</sup> )
R	1	-1,0±7.2	44,4±39.9
	2	5,7±18	49,3±41.8
	3	30,0±54.2	-14,1±12
	4	31,4±34.5	40,7±37.7
	5	66,1±51.5	11,3±15
	6	-4,8±21.1	121,6±82.4
	7	77,1±165	78,9±69.6
	8	44,5±34.6	34,6±94.8
	9	-5,9±10.4	117,0±127.1
	10	81,2±80.8	-22,9±19.8
	11	73,4±44.4	55,2±83.7
<b>MEDIA</b>		<b>36,1</b>	<b>46,9</b>
<b>STD</b>		<b>34,5</b>	<b>46,5</b>

Tabella 9.25 Accelerazione di arrivo pre e post per il tiro di rigore

ARRIVO IN PORTA			
tiro	soggetto	accelerazione media PRE (m/s <sup>2</sup> )	accelerazione media POST (m/s <sup>2</sup> )
V	1	9,5±7.9	50,7±42.2
	2	70,0±91.6	12,9±66.8
	3	15,2±6	32,5±63.6
	4	-9,6±18.2	-6,4±44.5
	5	73,7±104.1	83,3±86.5
	6	10,1±59	78,8±84.6
	7	30,1±68.8	61,7±9.7
	8	117,8±116.6	66,4±69.7
	9	1,9±14.4	94,5±89.6
	10	-1,6±31.6	12,6±13.1
	11	119,7±78.5	0,4±20.4
<b>MEDIA</b>		<b>39,7</b>	<b>44,3</b>
<b>STD</b>		<b>47,6</b>	<b>35,6</b>

Tabella 9.26 Accelerazione di arrivo pre e post per il tiro al volo

ARRIVO IN PORTA			
tiro	soggetto	accelerazione media PRE (m/s <sup>2</sup> )	accelerazione media POST (m/s <sup>2</sup> )
F	1	123,7±85.4	46,1±56.4
	2	62,8±120.3	78,5±54.7
	3	64,0±65	76,6±68.4
	4	20,5±46.6	22,3±38.6
	5	81,5±100.9	87,7±102.3
	6	84,6±37.4	-0,4±18.8
	7	94,5±101.2	59,7±60.5
	8	22,2±70	106,2±88.4
	9	42,6±35.2	13,9±39.8
	10	28,4±73.3	30,8±34.9
	11	121,0±104.2	107,7±102.8
<b>MEDIA</b>		<b>67,8</b>	<b>57,2</b>
<b>STD</b>		<b>37,0</b>	<b>37,3</b>

Tabella 9.27 Accelerazione di arrivo pre e post per il tiro con finta

tiro	soggetto	vel max media PRE (m/s)	vel max media POST (m/s)
V	1	13,0±7.5	12,9±0.5
	2	12,4±0.3	12,2±0.3
	3	12,9±0.1	12,9±0.1
	4	12,5±0.5	11,9±0.3
	5	15,8±0.4	14,3±0.5
	6	13,3±0.2	12,6±0.5
	7	12,4±7.2	12,9±0.7
	8	14,4±0.3	13,7±0.3
	9	14,4±0.4	13,8±0.3
	10	13,6±1.2	12,6±0.8
	11	15,3±1.1	13,6±0.2
<b>MEDIA</b>		<b>13,6</b>	<b>13,0</b>
<b>STD</b>		<b>1,2</b>	<b>0,7</b>

Tabella 9.28 Velocità massima pre e post tiro al volo

tiro	soggetto	vel max media PRE (m/s)	vel max media POST (m/s)
F	1	13,0±0.4	12,9±0.9
	2	12,4±0.1	11,8±0.4
	3	13,1±0.5	13,1±0.3
	4	13,5±0.8	13,5±0.7
	5	16,5±0.4	14,8±0.3
	6	12,7±0.6	12,4±0.6
	7	12,8±0.4	12,3±1.2
	8	13,6±0.3	14,0±0.6
	9	13,7±0.2	13,7±0.7
	10	14,6±0.7	12,7±0.2
	11	17,1±0.2	14,9±0.7
<b>MEDIA</b>		<b>13,9</b>	<b>13,3</b>
<b>STD</b>		<b>1,6</b>	<b>1,0</b>

Tabella 9.29 Velocità massima pre e post tiro con finta

STACCO MANO			
tiro	soggetto	potenza media PRE (W)	potenza media POST (W)
V	1	55,7±56.3	189,7±54
	2	142,6±61.7	79,4±36.9
	3	169,9±60.5	220,1±86.6
	4	83,2±46	99,5±20.5
	5	659,0±134.8	311,1±68.3
	6	153,8±19.6	178,7±6.7
	7	40,4±31.6	84,3±14.5
	8	262,6±82.9	166,4±21.9
	9	124,2±14.7	154,2±21.9
	10	82,1±109.7	114,6±66.9
	11	248,7±30.4	243,7±46.6
<b>MEDIA</b>		<b>183,8</b>	<b>167,4</b>
<b>STD</b>		<b>173,2</b>	<b>72,2</b>

Tabella 9.30 Potenza di stacco pre e post tiro al volo

<b>STACCO MANO</b>			
<b> tiro</b>	<b> soggetto</b>	<b> potenza media PRE (W)</b>	<b> potenza media POST (W)</b>
F	1	153,2±26.1	139,4±65.3
	2	141,8±43.2	114,6±63.6
	3	147,7±82	194,6±68.8
	4	204,5±58.4	109,0±45.8
	5	373,9±149.9	231,2±33.9
	6	153,6±52.4	131,3±47.7
	7	70,0±47.3	128,3±64.6
	8	173,9±72.2	267,8±52.3
	9	34,7±47.5	95,5±110.3
	10	98,7±104.7	77,9±16.5
	11	140,7±154.4	326,8±84.8
<b>MEDIA</b>		<b>153,9</b>	<b>165,1</b>
<b>STD</b>		<b>87,2</b>	<b>79,5</b>

*Tabella 9.31 Potenza di stacco pre e post tiro con finta*

<b>ARRIVO IN PORTA</b>			
<b> tiro</b>	<b> soggetto</b>	<b> potenza media PRE (W)</b>	<b> potenza media POST (W)</b>
R	1	1,8±31.3	-178,1±147.8
	2	-27,4±85.6	-228,1±189.4
	3	-236,5±274.6	69,8±59.5
	4	-149,2±171.6	-210,3±199.1
	5	-409,3±301.7	-72,8±97.9
	6	23,3±98.8	-341,3±302.5
	7	176,5±643.2	-341,7±334.9
	8	-222,5±168.9	-97,3±499.7
	9	31,2±55.7	-535,4±373.1
	10	-333,7±428.4	123,9±108.3
	11	-431,2±232	-164,3±222.9
<b>MEDIA</b>		<b>-143,4</b>	<b>-179,6</b>
<b>STD</b>		<b>200,0</b>	<b>188,4</b>

*Tabella 9.32 Potenza di arrivo pre e post tiro di rigore*

ARRIVO IN PORTA			
tiro	soggetto	potenza media PRE (W)	potenza media POST (W)
V	1	46,8±39.3	-224,5±184.1
	2	-310,1±422.6	-33,9±272.6
	3	-75,0±29.7	-163,6±320.2
	4	36,8±70.3	26,3±202.5
	5	-404,5±565.4	-463,8±478.4
	6	-15,6±252.1	-393,3±422.6
	7	-188,8±299.8	-285,9±37.4
	8	-499,4±569.5	-347,1±369.4
	9	-8,8±79.1	-394,3±479.6
	10	15,2±162.2	-62,2±67
	11	-560,4±328.5	-0,8±105.5
<b>MEDIA</b>		<b>-178,5</b>	<b>-213,0</b>
<b>STD</b>		<b>227,6</b>	<b>176,4</b>

Tabella 9.33 Potenza di arrivo pre e post tiro al volo

ARRIVO IN PORTA			
tiro	soggetto	potenza media PRE (W)	potenza media POST (W)
F	1	-378,0±236	-231,8±288.7
	2	-286,2±550.4	-345,2±238.7
	3	-314,2±315	-349,1±321.8
	4	-102,3±232.4	-109,2±173.2
	5	-495,1±614.1	-477,9±561.9
	6	-410,0±189.5	2,7±89.5
	7	-263,2±169.3	-285,0±289.2
	8	-111,9±366.9	-543,1±455.9
	9	-187,0±130.8	-56,6±177.6
	10	-93,4±295.1	-142,6±162
	11	-735,1±668.3	-598,3±577.5
<b>MEDIA</b>		<b>-307,0</b>	<b>-285,1</b>
<b>STD</b>		<b>194,1</b>	<b>199,7</b>

Tabella 9.34 Potenza di arrivo pre e post tiro con finta

<b> tiro</b>	<b> soggetto</b>	<b> precisione totale PRE</b>	<b> precisione totale POST</b>
<b> V</b>	1	6	15
	2	3	10
	3	10	13
	4	3	7
	5	13	11
	6	10	6
	7	8	13
	8	13	13
	9	6	13
	10	11	10
	11	9	11
<b> MEDIA</b>		<b> 8</b>	<b> 11</b>
<b> STD</b>		<b> 4</b>	<b> 3</b>

*Tabella 9.35 Punteggio precisione pre e post per il tiro al volo*

<b> tiro</b>	<b> soggetto</b>	<b> precisione totale PRE</b>	<b> precisione totale POST</b>
<b> F</b>	1	13	13
	2	9	11
	3	13	8
	4	2	11
	5	13	8
	6	9	10
	7	15	13
	8	13	11
	9	6	10
	10	11	15
	11	9	11
<b> MEDIA</b>		<b> 10</b>	<b> 11</b>
<b> STD</b>		<b> 4</b>	<b> 2</b>

*Tabella 9.36 Punteggio di precisione pre e post per il tiro con finta*

tiro	soggetto	angolo gomito medio pre (°)	angolo gomito medio post (°)	angolo spalla medio pre (°)	angolo medio spalla post (°)
V	1	21,3±2,5	54,5±11,7	45,1±4,8	69,5±7,8
	2	45,1±2,4	34±1,6	74,5±4,3	62,6±6,8
	3	25,8±3,9	33,3±7,4	71,4±2,4	81,4±2,4
	4	37,9±11,7	38,1±3	54±16	55,6±13,5
	5	17,7±3,5	33,8±2,3	53,5±2,6	64,7±2,6
	6	39,2±5,7	44,6±5,2	74,4±5,5	78,4±9,6
	7	33,9±2,8	57,5±14,2	59,2±12,3	72±13,2
	8	23,1±3,4	25,9±3,9	66,5±13,7	71,4±2,6
	9	41±7,6	45,1±1,1	66±7,1	69±5,5
	10	18,2±8,8	39,8±13,2	59,8±3,2	77,8±11,3
	11	18,7±22,4	37,4±8,5	55,6±8,6	70±7,5
<b>MEDIA</b>		<b>29,3</b>	<b>40,4</b>	<b>61,8</b>	<b>70,2</b>
<b>STD</b>		<b>10,3</b>	<b>9,4</b>	<b>9,6</b>	<b>7,5</b>

Tabella 9.37 Angolo di gomito e di spalla pre e post per il tiro al volo

tiro	soggetto	angolo gomito medio pre (°)	angolo gomito medio post (°)	angolo spalla medio pre (°)	angolo medio spalla post (°)
F	1	32,5±9,3	39,8±20,2	64,9±2,8	70,2±18,3
	2	39,1±11,7	41,5±13,7	61,3±12,5	62,7±9,9
	3	27,6±10,6	37,1±5,1	59,5±9,8	76,2±4,6
	4	46,3±1	28,2±7,1	72,6±3,2	51,4±4,7
	5	23,3±3,4	25,1±4,5	54±1,6	58,1±8,9
	6	44,7±7,9	41,1±19	77,5±4,7	72,1±13
	7	29,1±10,8	48,4±5,1	59±8,8	65,1±7,3
	8	22,2±6,2	32,1±2,4	65,7±6,8	72,6±2
	9	37,3±3,7	39,2±1,6	56,7±2,7	63,9±9,9
	10	32,7±1,1	20,5±3,4	59,1±2,1	56±1,7
	11	19,3±3,6	25,3±3,8	44,2±2,8	62,1±6,6
<b>MEDIA</b>		<b>32,2</b>	<b>34,4</b>	<b>61,3</b>	<b>64,6</b>
<b>STD</b>		<b>9,0</b>	<b>8,7</b>	<b>9,0</b>	<b>7,7</b>

Tabella 9.38 Angolo di gomito e di spalla pre e post per il tiro con finta

## 10 Bibliografia

- [1] [Online]. Available: <https://collegiatewaterpolo.org/fans/gameinfo/history>.
- [2] [Online]. Available: <https://www.federnuoto.it/federazione/la-storia/la-pallanuoto.html>.
- [3] M. Alexander, J. Hayward e A. Honish, «Water polo: A biomechanical analysis of the shot,» 2010.
- [4] M. Yaghoubi, A. Moghadam, M. Khalilzadeh e S. Shultz, «Electromyographic analysis of the upper extremity in water polo players during water polo shots,» *International Biomechanics*, vol. 1, n. 1, pp. 15-20, 2014.
- [5] [Online]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=-2c\\_dU042wo](https://www.youtube.com/watch?v=-2c_dU042wo).
- [6] FIN. [Online]. Available: <https://www.federnuoto.it>.
- [7] FIN. [Online]. Available: <https://www.federnuoto.it>.
- [8] FIN. [Online]. Available: <https://www.federnuoto.it>.
- [9] C. Ferraresi, *Meccanica applicata ai sistemi biomedici, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Biomedica*, 2011-2012.
- [10] H. Vila, C. Ferragut, F. Argudo, J. Abraldes, N. Rodriguez e F. Alacid, «Relationship between anthropometric parameters and throwing velocity in water polo players,» *Journal of Human Sport and Exercise*, vol. 4, n. 1, pp. 57-68, 2009.
- [11] M. Feltner e G. Taylor, «Three-dimensional Kinetics of the shoulder, elbow and wrist during a penalty throw in water polo,» *Journal of Applied Biomechanics*, vol. 13, pp. 347-372, 1997.
- [12] T. Platanou e E. Varamenti, «Relationships between anthropometric and physiological characteristics with throwing velocity and on water jump of female water polo players,» *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, vol. 51, n. 2, pp. 185-193, 2011.
- [13] R. Van den Tillaar, «Effect of different training programs on the velocity of overarm throwing: a brief review,» *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 18, n. 2, pp. 388-396, 2004.

- [14] N. Oliveira, «Technique and Muscle Activity of the Water Polo Eggbeater Kick at Different Levels of Fatigue,» The University of Edinburgh, 2014.
- [15] I. Stirn, J. Strmecki e V. Strojnik, «The Examination of Different Tests for the Evaluation of the Efficiency of the Eggbeater Kicks,» *Journal of Human Kinetics*, vol. 41, pp. 215-226, 2014.
- [16] N. Oliveira, C. Chiu e R. Sanders, «Kinematic Patterns Associated with the Vertical Force Produced during the Eggbeater Kick,» *Journal of Sports Sciences*, vol. 33, n. 16, pp. 1675-1681, 2015.
- [17] G. Melchiorri, V. Viero, T. Triossi, D. De Sanctis, E. Padua, A. Salvati, C. Galvani, M. Bonifazi, R. Del Bianco e V. Tancredi, «Water polo throwing velocity and kinematics: differences between competitive levels in male players,» *The Journal of Sport Medicine and Physical Fitness*, vol. 55, n. 11, pp. 1265-1271, 2015.
- [18] K. Wende e J. Keogh, «Water poloshots for goal,» Auckland University of Technology, 2008.
- [19] J. Clarys e L. Lewillie, «Description of wrist and shoulder motion of different waterpolo shots using a simple light-trace technique. In biomechanics in swimming, waterpolo and diving,» Université libre de Bruxelles, 1971.
- [20] H. Smith, «Penalty shot importance, success and game context in international water polo,» *Journal of Science and Medicine Sports*, vol. 7, pp. 221-225, 2004.
- [21] T. Platanou, «On water and dryland jump in water polo players,» *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, vol. 44, pp. 00-00, 2004.
- [22] L. McCluskey, S. Lynskey, C. Kei Leung, D. Woodhouse, K. Briffa e D. Hopper, «Throwing velocity and jump height in female water polo players: Performance predictors,» *Journal of Science and Medicine Sport*, vol. 13, pp. 236-240, 2010.
- [23] G. Melchiorri, E. Padua, J. Padulo, S. D'Ottavio, S. Campagna e M. Bonifazi, «Throwing velocity and kinematics in elite male water polo players,» *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, vol. 51, n. 4, pp. 541-546, 2011.
- [24] *SIMI° Motion User Manual*.

- [25] R. Van den Tillaar e M. Marques, «Effect of training on the kinematics and performance in overarm throwing in experienced female handball players,» *Portuguese Journal of Sport Sciences*, vol. 11, 2011.
- [26] R. Van den Tillaar e G. Ettema, «A Three-Dimensional Analysis of Overarm Throwing in,» *Journal of Applied Biomechanics*, vol. 23, pp. 12-19, 2007.



## *Ringraziamenti*

Innanzitutto vorrei ringraziare la professoressa Laura Gastaldi e la professoressa Valentina Agostini per avermi dato l'opportunità di svolgere il lavoro di tesi su un argomento per me molto appassionante e che hanno reso possibile la progettazione del lavoro. Inoltre vorrei ringraziare Elisa per il fondamentale supporto e sostegno sotto tutti i punti di vista durante lo svolgimento di questo progetto.

Vorrei ringraziare i miei genitori Francesco e Cristina e mio fratello Federico per il sostegno che non mi hanno mai fatto mancare durante tutto questo percorso. Mi hanno sempre dato la forza e l'incoraggiamento per guardare oltre le difficoltà e grazie a loro ho avuto la possibilità di raggiungere questo importante traguardo. Vorrei dire grazie a tutta la mia famiglia per l'appoggio e la fiducia che mi hanno dato.

Un particolare ringraziamento vorrei farlo ad Andrea senza il quale questa esperienza non sarebbe stata la stessa. È stato un compagno di viaggio importantissimo, ha saputo supportarmi e sopportarmi in ogni istante. Insieme abbiamo affrontato tutto ciò che di bello e brutto è successo in questi anni e mi auguro di poter condividere insieme ancora tanti successi futuri.

Le mie amiche Nadia, Rossella e Valeria con cui ho vissuto gli anni più belli e faticosi di questa avventura universitaria, sempre con il sorriso sulle labbra. Insieme siamo riuscite a superare ogni ostacolo e abbiamo imparato che nella vita non bisogna mai prendersi troppo sul serio.

Un grazie molto speciale va a tutte le mie compagne di squadra di pallanuoto e a Ionut, senza di loro questo progetto sarebbe stato irrealizzabile. Loro sono la mia seconda famiglia che porterò sempre nel cuore.

Infine vorrei dire grazie a tutte le persone che in modi diversi ma ugualmente importanti mi hanno accompagnato fino a qui. La mia amica Benedetta che nonostante la distanza che ci separa c'è sempre, Federica e Valentina due persone speciali che mi hanno fatto capire che l'amicizia per la vita esiste, Rossella che con il suo fiume in piena di parole ha sempre portato un pizzico di follia nelle mie giornate, i miei coinquilini Peppe e Elisa che hanno vissuto con me questa importante esperienza.