



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
PADOVA**

**Dipartimento di Psicologia Generale**

**Corso di laurea in psicologia  
cognitiva applicata**

**Elaborato finale**

**L'influenza della decelerazione cardiaca e delle illusioni ottiche  
sulla prestazione sportiva: un'indagine su atleti di tiro a segno**

**Influence of cardiac deceleration and  
visual illusions in sport performance:  
an investigation in shooting athletes**

***Relatore***

**Prof. Christian Agrillo**

***Correlatore esterno***

**Dott.ssa Alessandra Pecunioso**

***Laureando/a: Jennifer Giocondi***

***Matricola: 2081091***

**Anno Accademico 2023/2024**



# Indice

<b>Introduzione .....</b>	<b>1</b>
<b>Capitolo 1. Studio delle illusioni ottiche in ambito sportivo.....</b>	<b>4</b>
1.1 Illusioni ottiche: definizione e classificazione.....	4
1.2 Illusioni ottiche nello sport.....	10
1.2.1 Illusione di Muller–Lyer nel ruolo del portiere.....	14
1.2.2 Illusione di Ebbinghaus nei giocatori di golf.....	18
<b>Capitolo 2. Pattern cardiaci negli sport di precisione.....</b>	<b>27</b>
2.1 Decelerazione cardiaca negli sport di precisione.....	28
2.2. Il ruolo funzionale della decelerazione cardiaca nella prestazione sportiva.....	31
<b>Capitolo 3. La ricerca .....</b>	<b>47</b>
3.1.Introduzione e obiettivi della ricerca.....	47
3.2.Metodi.....	48
3.2.1.Partecipanti.....	48
3.2.2.Stimoli.....	51
3.2.3.Procedura.....	52
3.2.4. Analisi del segnale cardiaco.....	53
3.2.5.Variabili considerate.....	54
3.2.5.1. Prestazioni di tiro.....	54

3.2.5.2. Frequenza cardiaca.....	54
3.2.5.3. Tipo di bersaglio.....	54
3.2.5.4. Anni di pratica.....	55
3.2.5.5. Stanchezza e tensione.....	55
3.2.6. Analisi statistiche.....	55
3.3. Risultati .....	56
3.4. Discussione.....	59
3.4.1. Limiti dello studio e prospettive future.....	62
3.4.2. Conclusioni.....	64
<b>Bibliografia.....</b>	<b>65</b>



## **Introduzione**

Ci sono numerosi fattori che concorrono a determinare prestazioni sportive di alto livello. La preparazione fisica dell'atleta è importante per migliorare la prestazione tecnica, fisica e gli aspetti percettivo-sensoriali, ma è necessario anche un allenamento di tipo mentale. I pensieri che un atleta ha prima di una competizione possono influenzare le emozioni e queste, a loro volta, possono compromettere l'esito di una gara (Singer, 1986). L'importanza di una preparazione mentale ha portato alla nascita della psicologia dello sport, che studia comportamenti e processi mentali in ambito sportivo e interviene lavorando su aspetti quali motivazione, attenzione, concentrazione, fiducia mentale e controllo dell'eccitazione (Brewer, 2009).

Wulf e Lewthwaite (2016), con la teoria ottimale, hanno indagato l'apprendimento motorio e come esso sia influenzato da variabili motivazionali e attenzionali. Un apprendimento efficace è promosso da aspettative di esiti positivi e autonomia, ovvero la percezione di poter agire senza controllo da parte di terzi. Un metodo per incrementare le aspettative di prestazione sono le manipolazioni a livello percettivo, quali le illusioni ottiche che possono modificare, illusoriamente le dimensioni di bersagli a cui mirare. Una maggiore aspettativa di riuscita può, di conseguenza, portare a un miglioramento nella prestazione finale (Marchant et al., 2019).

L'emergere della psicologia dello sport è andata di pari passo con l'aumento dell'interesse verso la componente fisiologica. Intorno agli anni '70 gli accademici hanno studiato con grande interesse i meccanismi alla base del comportamento sportivo, ovvero l'interazione tra cervello e comportamento, tramite le neuroscienze, con l'obiettivo di introdurre nuovi metodi per migliorare le prestazioni sportive. Una disciplina che rientra nell'approccio neuroscientifico è la psicofisiologia, che pone l'accento sulla relazione tra

psicologico e fisico, sull'interazione tra sistemi e sull'evidenziare processi psicologici di livello superiore. Alcune delle risposte psicofisiologiche più comunemente studiate sono i potenziali elettrici nel cervello, misurati tramite elettroencefalografia (EEG), l'attività muscolare (elettromiografia), le risposte prodotte dalle ghiandole sudoripare (attività elettrodermica), i movimenti oculari (elettrooculografia), la respirazione (pneumografia), la frequenza cardiaca (elettrocardiografia) e il volume sanguigno (pletismografia) (Mancevska et al., 2016). Tali parametri fisiologici forniscono un quadro istantaneo dei processi cognitivi, sensoriali e motori durante l'esecuzione di gesti sportivi ed evidenziano, dunque, i processi psicologici in atto in quel preciso momento.

Il primo capitolo del presente elaborato analizza la letteratura sulle illusioni ottiche e come queste possano essere utilizzate in ambito sportivo per "ingannare" la percezione, modificare il livello di difficoltà percepita del compito e sviluppare dei *training* per migliorare la prestazione sportiva.

Il secondo capitolo riguarda l'analisi delle risposte psicofisiologiche degli atleti durante la fase di preparazione all'azione. In particolare, è stato approfondito il ruolo dell'attività cardiaca negli sport di precisione. Gli studi in questo ambito hanno osservato in modo consistente una decelerazione cardiaca prima dell'esecuzione del gesto motorio e che questa decelerazione era maggiore in funzione dell'expertise dell'atleta e del livello della prestazione (Boutcher & Zinsser, 1990; Keast & Elliott, 1990; Neumann & Thomas, 2009,2011; Radlo et al., 2002). Ne deriva che allenare gli atleti a modificare la frequenza cardiaca potrebbe portare benefici in termini di risultati sportivi. Nel capitolo vengono analizzate anche le possibili interpretazioni sulla funzione della decelerazione cardiaca per la prestazione sportiva.

Nel terzo ed ultimo capitolo viene presentato il mio progetto di ricerca in cui viene indagata la relazione tra la risposta cardiaca prima dell'azione e la prestazione nel tiro a segno. Si valuta anche una possibile influenza dei pattern cardiaci e della prestazione da parte delle illusioni ottiche. L'illusione ottica utilizzata nell'indagine è stata l'illusione di Delboeuf, adatta ad essere applicata su un bersaglio di tiro a segno. Per quanto riguarda il tiro a segno, essendo uno sport di precisione, richiede molta stabilità da parte dell'atleta ed è quindi adatto alla registrazione degli indici fisiologici con un ridotto numero di artefatti di movimento.

# **Capitolo 1: studio delle illusioni ottiche in ambito sportivo**

## **1.1 Illusioni ottiche: definizione e classificazione**

Le illusioni ottiche sono rappresentazioni errate di oggetti da parte del cervello, degli occhi e degli organi di senso. La causa del manifestarsi di tali illusioni è da ricercare nei segnali fisiologici elaborati erroneamente dall'occhio o dal cervello oltre all'accettazione da parte dell'uomo di conoscenze fuorvianti utilizzate per interpretare segnali sensoriali (R. Gregory, 2008)

Von Helmholtz (1866), fondatore della scienza moderna in materia di percezione, spiegò un dilemma cruciale nel campo della visione: gli oggetti sono elementi solidi esistenti nello spazio e nel tempo ma possono apparire ai nostri occhi come immagini diverse rispetto alla realtà. La causa di ciò risiede tanto nella componente fisiologica quanto nella sfera percettiva; dunque, un malfunzionamento a carico del sistema fisiologico o percettivo è da considerarsi causa di errori ed illusioni. Centrale nel suo pensiero è il tema del riconoscimento dell'oggetto. L'immagine dell'oggetto presente nel qui ed ora e l'immagine archiviata in memoria non sembrano coincidere, piuttosto esistono in memoria reti di associazioni di immagini che si creano tramite l'esperienza.

Gregory (1980), per semplificare il principio di Von Helmholtz, ha affermato che gli oggetti vengono percepiti tramite gli occhi e che questa percezione è mediata dalla conoscenza che viene acquisita nel corso delle esperienze passate. L'esperienza crea dunque molteplici collegamenti all'interno della memoria a cui si attinge nel momento in cui viene presentato un oggetto agli occhi di ogni individuo. L'identificazione del medesimo oggetto risulterebbe allora differente per ciascun osservatore (Gregory, 2008)

L'illusione si crea nel momento in cui tali conoscenze derivate dall'esperienza personale vengono associate erroneamente ad un oggetto modificandone la sua interpretazione. Queste sono generalmente chiamate illusioni cognitive (Gregory, 1977). Per un inquadramento delle illusioni cognitive risulta vantaggioso sottolineare la distinzione tra conoscenza specifica degli oggetti e conoscenza generale applicata come regola. Se queste tipologie di conoscenza sono applicate in maniera erronea si crea l'errore. Un esempio emblematico di conoscenza specifica è la maschera o volto cavo (figura 1). Le maschere sono all'interno vuote ma visionandole frontalmente si tende a conferire loro una forma convessa. Ciò risulterebbe da una conoscenza del volto umano come convesso e tale conoscenza potrebbe indurre all'errore di non prendere in considerazione l'ipotesi che tale maschera possa essere in realtà cava (Gregory, 1977). Per comprendere, invece, illusioni generate da regole fuorvianti (conoscenza generale) si ricorre alla psicologia della Gestalt. Questa corrente incentra le proprie idee sui temi di percezione ed esperienza e elabora, in riferimento alla percezione visiva, regole di organizzazione degli elementi quali "chiusura", "prossimità", "continuità" e "destino comune" (Wertheimer, 1923, -1938). Nel momento in cui un elemento incarna i principi della Gestalt si genera l'illusione.



**Figura 1.** Maschera cava (Gregory, 1977).

Le illusioni cognitive si differenziano dalle illusioni cosiddette “fisiche” proprio in termini di cause, pur dando vita non raramente a effetti illusori simili quali distorsioni di lunghezza o curvatura.

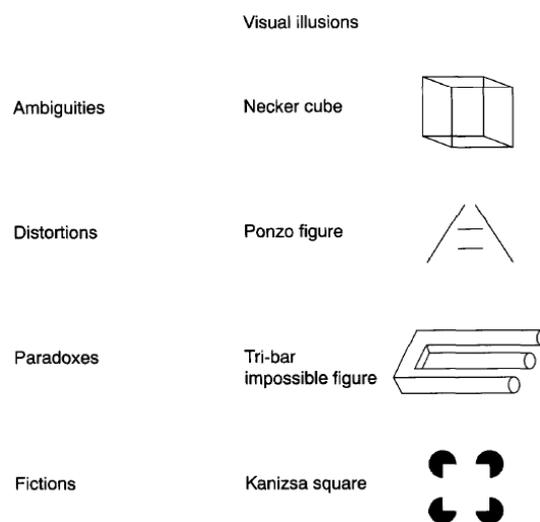
Gregory (1977), dunque, ha identificato, quattro tipologie di cause delle illusioni, due classificate come “fisiche” e due come “cognitive”. Le cause fisiche riguarderebbero disturbi ottici che intervengono tra oggetto visualizzato e occhio dell’osservatore (prima causa), ma anche segnali fisiologici elaborati erroneamente da occhio o cervello (seconda causa). Nelle cause cognitive si riconosce un’applicazione della conoscenza errata da parte dell’uomo (terza causa) così come l’attuazione di regole generali, come i principi della Gestalt, agli oggetti (quarta causa).

Partendo dalle cause descritte da Gregory (1977), Coon et al., (2020), hanno classificato le illusioni in tre categorie:

1. Ottiche: fanno riferimento alla prima causa fisica di Gregory, dunque imputabile a fenomeni puramente ottici, lontani dalla fisiologia umana.
2. Percettive: fanno riferimento alla seconda causa fisica di Gregory, dunque dipendente da malfunzionamenti nella fisiologia dell’occhio.

3. Cognitive: inglobano la terza e la quarta causa di Gregory e sono determinate di fatto da errori umani nell'applicazione della conoscenza dovuta alla propria esperienza.

Le illusioni sono classificate da Gregory anche in termini di apparenze, cioè in base a come esse appaiono: ambiguità, distorsioni, paradossi e finzioni (figura 2, Gregory, 1997).



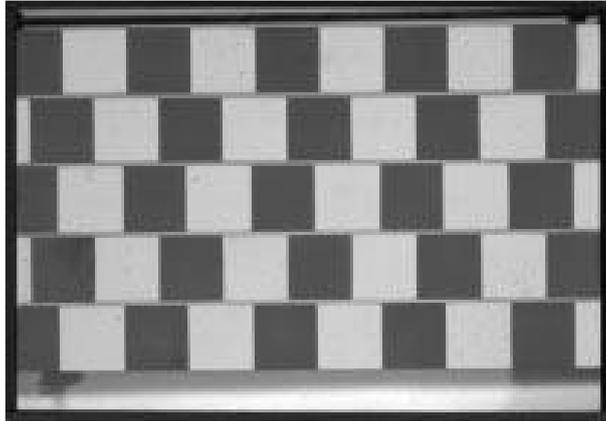
**Figura 2.** Classificazione delle illusioni ottiche in termini di apparenza. Figura adattata da Gregory (1977).

Nel tentativo di creare un quadro completo delle illusioni ottiche conosciute, Gregory propose alcuni esempi di illusioni integrando le cause che le generano e come esse appaiono, giungendo così a ciò che può essere visionato nella tabella 1. Nella parte alta della tabella compaiono le cause di tali illusioni suddivise tra fisiche e cognitive. Nel lato sinistro della tabella troviamo le tipologie di illusioni per come esse appaiono.

**Tabella 1.** Classificazione delle illusioni in base ad apparenza e cause. Tabella adattata da Gregory (1997).

kinds	physics		knowledge	
	optics	signals	rules	objects
ambiguity	1 mist	5 retinal rivalry	9 figure-ground	13 hollow face
distortion	2 mirage	6 Café wall	10 Müller-Lyer	14 size-weight
paradox	3 looking-glass	7 rotating spiral	11 Penrose triangle	15 Magritte mirror
fiction	4 rainbow	8 after-images	12 Kanizsa triangle	16 faces in the fire

L'effetto della nebbia (*mist*) si crea nel momento in cui si ha perdita di informazioni con conseguente confusione ed equivocità. Il miraggio (*mirage*) comporta uno slittamento di oggetti o parti di essi come esito di un effetto di rifrazione della luce tra l'oggetto osservato e gli occhi (ad esempio un cucchiaio che appare piegato nell'acqua). Lo specchio (*looking glass*) mostra l'immagine duplicata attraverso il vetro. C'è la consapevolezza di trovarsi di fronte a uno specchio ma percezione e concezione sembrano separarsi. L'illusione dell'arcobaleno (*rainbow*) consiste nel concretizzare l'arcobaleno come fosse un oggetto. L'illusione svanisce nel momento in cui si realizza che nel tentativo di avvicinarsi ad esso non lo si potrà mai toccare. Nella rivalità retinica (*retinal rivalry*) segmenti orizzontali separati tra loro vengono "fusi" in un'immagine negli occhi creando un effetto di tridimensionalità (visione stereoscopica). Se l'angolo di visione supera i 18° le linee tornano a separarsi generando immagini bizzarre. L'effetto illusorio del caffè wall è generato da più file di tessere in cui c'è un alternarsi tra tessera chiara e scura e in ogni fila le tessere sono spostate di  $\frac{1}{2}$  (figura 3). Non sono utilizzate regole di prospettiva; eppure, la visione delle file appare distorta. Ciò è dovuto agli effetti della luce e del contrasto tra il colore chiaro e scuro delle tessere.



**Figura 3.** Cafè wall illusion. Figura tratta da Gregory (1997).

La spirale rotante (*rotating spiral*) produce un fenomeno illusorio di movimento ed espansione quando in realtà la sua figura rimane immutata. L'immagine residua (*after images*) consta di un'immagine che rimane nel campo visivo anche nel momento in cui lo stimolo viene eliminato, dovuta a stimolazioni prolungate o particolarmente intense. L'effetto figura-sfondo (*figure ground*) fa riferimento al contrasto tra la figura principale e il suo sfondo. L'illusione è generata dalla mancata distinzione tra gli oggetti e gli spazi compresi tra questi oggetti. L'illusione di Muller-Lyer è imputabile ad effetti di prospettiva e segnali di profondità. Nel momento in cui la linea appare come più lontana, apparirà anche come più piccola, nonostante la lunghezza effettiva delle linee sia la medesima. Il triangolo impossibile di Penrose (*Penrose impossibile triangle*) è riconosciuto come figura tridimensionale costituita da elementi che si trovano a diverse distanze. Se osservato da una specifica prospettiva il triangolo appare come una figura chiusa e i suoi lati si uniscono in un'immagine unica o in un'immagine retinica. In questo modo il sistema visivo accredita agli elementi costitutivi la stessa distanza e si crea una percezione paradossale dell'oggetto stesso. Il triangolo di Kanizsa (*Kanizsa triangle*) consta di due triangoli sovrapposti ma che in realtà non sono completi. Tuttavia, si tende

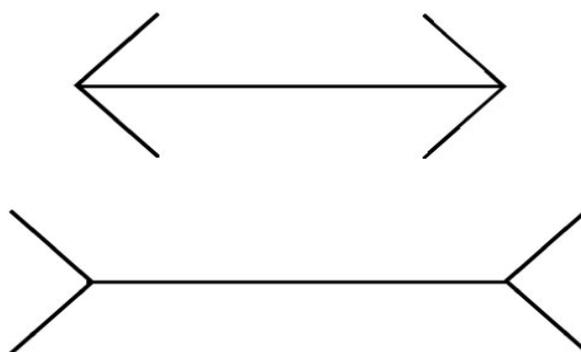
a percepirli come completi a causa della regola della Gestalt di figura-sfondo, dunque dovuto alla necessità di visualizzare sempre un contrasto tra la figura e il suo sfondo. L'illusione della faccia cava (*hollow face*), mostrata in figura 1, consiste nel percepire un volto cavo come convesso. L'illusione è causata dalla conoscenza dei volti come pieni e dunque convessi. L'effetto dimensione-peso (*size-weight illusion*) inganna l'uomo nella percezione degli oggetti. In questo caso oggetti più piccoli vengono valutati come più pesanti di oggetti più grandi aventi, però, la stessa scala di peso. Questa illusione potrebbe essere generata da aspettative secondo cui sarebbe più semplice innalzare l'oggetto grande da terra rispetto all'oggetto più piccolo, anche se non sempre ciò si verifica. L'illusione dello specchio di Magritte (*Magritte mirror*) offre una provocazione alla percezione. Nel dipinto di Renè Magritte è protagonista un uomo osservato alle spalle e di fronte a lui appare uno specchio. Nello specchio è possibile vedere la nuca dell'uomo ed è proprio questa immagine riflessa che crea l'illusione, dal momento che, dalla conoscenza degli specchi, appare impossibile osservare la parte posteriore della testa riflessa nello specchio. L'effetto delle facce nel fuoco (*faces in the fire*) mostra perfettamente le dinamiche della percezione. Nel fuoco, così come nelle macchie d'inchiostro l'uomo riesce a percepire forme e volti che non sono presenti nella realtà, pertanto la fantasia naviga oltre l'evidenza (Gregory, 1997)

## **1.2. Illusioni ottiche nello sport**

Lo studio delle illusioni ottiche è stato negli ultimi decenni esteso anche all'ambito sportivo. Nello specifico le illusioni che più sono state applicate per valutare gli effetti sulla prestazione sportiva sono l'illusione di Muller-Lyer e l'illusione di Ebbinghaus. L'illusione di Muller-Lyer è risultata di interesse scientifico nello sport del calcio (Van Der Kamp & Masters, 2008), mentre l'illusione di Ebbinghaus ha suscitato attenzione

nell'ambito golfistico (Witt et al., 2012). Questa interazione tra mondo sportivo e illusioni aveva lo scopo di indagare come la prestazione sportiva avrebbe subito cambiamenti in relazione a effetti visivi. Questa conoscenza poteva, quindi, essere utilizzata da allenatori ed atleti per sviluppare strategie che migliorassero i risultati sportivi.

L'illusione di Muller-Lyer (figura 4) è generata da una coppia di frecce rivolte internamente ( $><$ ) e da una coppia di frecce rivolte verso l'esterno ( $<>$ ) collegate ad un'asta. La lunghezza dell'asta, in relazione alla configurazione di frecce che viene presentata, viene percepita come più lunga o più corta. La lunghezza dell'asta con le estremità rivolte verso l'interno ( $><$ ) è generalmente sovrastimata rispetto alla configurazione con frecce orientate esternamente ( $<>$ ) (Santacà & Agrillo, 2020).



**Figura 4.** Illusione di Muller-Lyer. Figura tratta da (Gregory, 1963)

Gregory (1963) ha fornito una spiegazione sui meccanismi di funzionamento di questo effetto percettivo non realistico. Egli ha definito la costanza di lunghezza come l'abilità di mantenere la stessa dimensione di un oggetto nonostante si creino diverse configurazioni retiniche dovute allo spostamento dell'oggetto nello spazio.

Dunque, Gregory ha proposto la teoria dell'elaborazione degli indizi di profondità secondo cui gli indizi sulla distanza, in questo caso la configurazione delle frecce,

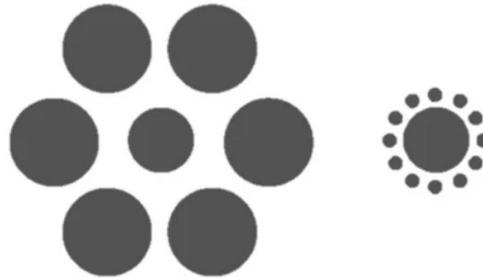
conferiscono una dimensione maggiore all'oggetto percepito come più lontano ( $><$ ) e una dimensione minore all'oggetto che appare più vicino ( $<>$ ). In questo modo, la grandezza percepita degli oggetti subisce variazioni dovute alla profondità percepita erroneamente (Gregory, 1963).

(Pressey, 2014) ha ulteriormente approfondito i meccanismi tramite cui l'illusione di Muller-Lyer inganni la percezione umana. Pressey ha proposto la teoria dell'assimilazione secondo la quale l'uomo tende a percepire la figura nella sua interezza, senza riuscire a separare le sue parti interne. Nello specifico, la figura con le frecce rivolte internamente ( $><$ ) produrrebbe un effetto estensivo facendo apparire l'asta come più lunga rispetto alla figura con frecce rivolte esternamente ( $<>$ ).

Una spiegazione alternativa è stata fornita dalla teoria probabilistica di Howe e Purves, (2005), i quali hanno indagato, non solo la configurazione classica dell'illusione di Muller-Lyer, ma anche delle configurazioni alternative. Nello specifico gli autori hanno osservato la presenza dell'effetto illusorio anche modificando la figura, cioè, introducendo quadrati al posto di frecce, eliminando l'asta centrale e creando una figura di soli puntini. Avendo notato una distorsione di lunghezza in tutte le configurazioni proposte, gli autori hanno concluso che gli indizi di profondità e la percezione della figura come intera non fossero elementi sufficienti per spiegare l'illusione. Alla base dell'effetto di Muller-Lyer risiederebbe, dunque, una strategia probabilistica dell'elaborazione visiva: nell'ambiente appare più probabile riscontrare linee più lunghe nelle estremità rivolte internamente ( $><$ ), viceversa per frecce che indicano l'esterno.

L'illusione di Ebbinghaus, o illusione di Titchener, è un effetto percettivo prodotto tramite un cerchio centrale circondato da cerchi che possono assumere dimensioni più grandi o più piccole. Nel momento in cui le forme circolari intorno sono di grandi

dimensioni, la figura centrale tende ad apparire come più piccola rispetto alla configurazione che presenta cerchi piccoli intorno (figura 5).



**Figura 5.** Illusione di Ebbinghaus. Figura tratta da Saneyoshi (2018).

Helmholtz, negli anni 60 del 1800, aveva già notato come l'accostamento tra figure di differenti dimensioni generasse percezioni distorte nella grandezza delle immagini stesse. L'illusione di Ebbinghaus rappresenta l'esempio più famoso di ciò che Helmholtz aveva postulato decenni prima. L'effetto che si ottiene con tale illusione può essere ricondotto a diversi meccanismi, quali ad esempio la differenza di dimensione tra i cerchi o la distanza tra essi (Kirsch & Kunde, 2021)

Massaro e Anderson (1971) hanno attribuito l'illusione di Ebbinghaus a una differenza di grandezza tra il cerchio interno e la configurazione esterna, tale per cui la figura con una corona di cerchi di grandi dimensioni genera un effetto riduttivo nella forma interna. Al contrario, cerchi esterni più piccoli esaltano l'interno facendolo apparire più grande.

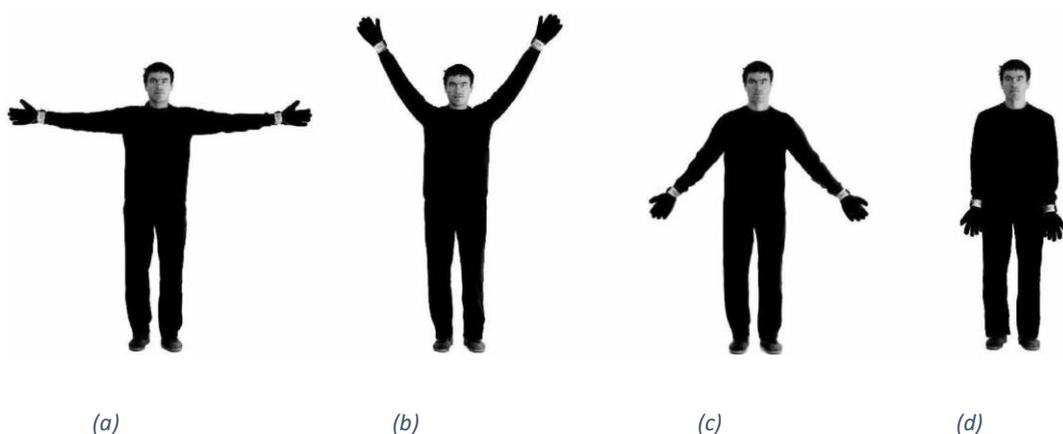
Un'ipotesi alternativa per comprendere questo errore percettivo riguarda le rappresentazioni neurali della circonferenza. L'illusione di Ebbinghaus risulterebbe da un processo di interazione dei contorni dei cerchi. Unità corticali che codificano per contorni

ravvicinati tra loro hanno la tendenza ad attrarsi vicendevolmente; dunque, la vicinanza tra cerchi piccoli e il cerchio centrale produrrebbero una estensione. D'altro canto, aree corticali che codificano per circonferenze lontane tra loro spazialmente interagiscono in maniera inibitoria, così cerchi grandi posti a maggiore distanza dal cerchio centrale produrrebbero una riduzione della dimensione percepita (Jaeger, 1978).

Gregory (1963) ha applicato la costanza di grandezza all'illusione di Ebbinghaus, spiegando l'effetto percettivo come conseguenza di indizi di profondità riscontrati nella figura. Il cerchio centrale viene così percepito come di piccole (o grandi) dimensioni, quando circondato da corone di forme circolari grandi (o piccole), poiché avvertito come più vicino (o lontano).

### 1.2.1. Illusione di Muller–Lyer nel ruolo del portiere

Alcuni studi hanno indagato l'illusione di Muller–Lyer in ambito sportivo, in particolare la configurazione nello spazio che il portiere, prevalentemente nello sport del calcio, può assumere. I portieri possono posizionare le braccia lungo il perimetro del corpo (figura 6) assumendo delle configurazioni che richiamano all'illusione di Muller–Lyer.



**Figura 6.** Illusione di Muller–Lyer applicata ai portieri. In (a) è rappresentata la condizione con le braccia parallele al corpo; in (b) è raffigurata la condizione con le braccia rivolte verso l'alto. In (c) la condizione con le braccia rivolte verso il basso; in (d) la condizione con le braccia parallele al corpo. Figura tratta da Van Der Kamp e Masters, (2008).

La configurazione dell'illusione con frecce orientate internamente ( $><$ ) corrisponderebbe alla condizione in cui l'atleta porta le braccia in alto (figura 6b). In questo caso l'altezza percepita del portiere dovrebbe essere maggiore rispetto all'altezza effettiva. Nella condizione in cui il portiere tiene le braccia verso il basso (figura 6c), replicando la configurazione dell'illusione con le frecce rivolte esternamente ( $<>$ ), si dovrebbe sottostimare l'altezza effettiva dell'atleta.

L'obiettivo dello studio era quello di verificare se gli effetti illusori della Muller-Lyer influenzassero anche l'altezza percepita di un portiere. A un campione di 15 studenti universitari è stato chiesto di stimare l'altezza del portiere osservando delle fotografie. Gli atleti erano raffigurati con quattro differenti posture che variavano in relazione alla posizione delle braccia. Nella prima immagine le braccia erano disposte perpendicolarmente al corpo, all'altezza delle spalle (figura 6a); nella seconda immagine le braccia erano sollevate oltre il capo andando a riprodurre la configurazione di Muller-Lyer con le ali rivolte internamente ( $><$ , figura 6b); la terza immagine raffigurava il portiere con le braccia rivolte verso il basso per replicare la configurazione con le frecce rivolte esternamente ( $<>$ , figura 6c); nell'ultima, le braccia erano in posizione parallela al corpo appoggiate ad esso (figura 6d). Ciascuna immagine è stata presentata a ciascun partecipante per cinque volte in maniera randomizzata, con l'obiettivo di stimare l'altezza del portiere paragonandola ad una linea raffigurata su di un altro foglio. I risultati hanno confermato l'ipotesi iniziale: di fatto gli studenti hanno sovrastimato di circa 0,24 cm l'altezza del portiere con le braccia rivolte verso l'alto ( $><$ ), mentre hanno sottostimato di 0,35 cm l'altezza del portiere con le braccia rivolte verso il basso ( $<>$ ).

Alla luce di tali conclusioni, gli autori hanno ritenuto opportuno testare se gli effetti illusori osservati sui portieri influenzassero anche la traiettoria di mira di un pallone in un calcio di rigore. A 24 studenti universitari di sesso maschile è stato chiesto di lanciare una palla (di 12 cm di diametro) contro una porta di pallamano proiettata su uno schermo distante circa 5 m. Ai partecipanti veniva detto di lanciare all'interno dei pali della porta senza che il portiere potesse parare il tiro. Inoltre, veniva chiesto di immaginare i movimenti del portiere come se fossero limitati al movimento di braccia e gambe per bloccare la palla. Le posizioni del portiere erano le medesime della prova precedente. L'immagine proiettata allo schermo era, inoltre, rimpicciolita al 68% rispetto alle reali dimensioni della porta e all'altezza media di un portiere. Il punto esatto in cui la palla atterrava era individuato rispetto alla linea mediana del corpo del portiere. Per determinare se ci fosse effettivamente una differenza nella traiettoria della palla tra le posture presentate, è stata calcolata la differenza tra la posizione di atterraggio della palla nella configurazione con le braccia perpendicolari al corpo (figura 6a) e la postura del portiere nelle altre condizioni. L'ipotesi era quella di osservare un risultato coerente con l'effetto illusorio di Muller-Lyer. Qualora l'illusione avesse effetto, si dovrebbero osservare dei lanci più lontani dal portiere nella condizione in cui le braccia erano rivolte verso l'alto (sovrastima dell'altezza del portiere). Al contrario, si dovrebbero osservare lanci più vicini al corpo del portiere se le braccia erano rivolte verso il basso (sottostima dell'altezza del portiere). I risultati hanno evidenziato come la postura con le braccia alzate spingesse i partecipanti a tirare la palla più lontano dal corpo, rispetto alla condizione di controllo, di circa 3,9 cm e prevalentemente verso il basso. Inoltre, la percentuale di palloni lanciati sopra la traversa è stata molto bassa nella configurazione con le braccia alzate rispetto a quella con le braccia rivolte in basso.

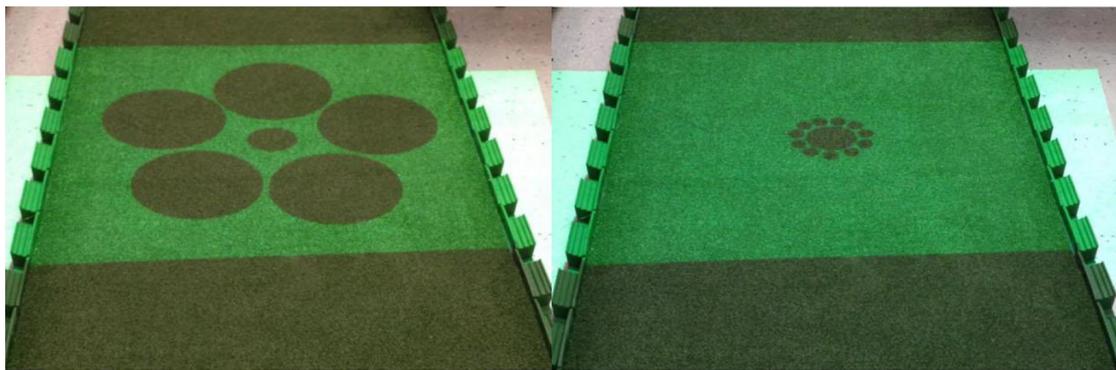
In conclusione, i dati emersi dallo studio di Van der Kamp e Masters (2008) hanno suggerito un'influenza dell'illusione di Muller-Lyer nel direzionare il lancio di un pallone durante un rigore. In termini applicativi, si può suggerire ai portieri di mantenere le braccia abbassate in modo tale che la loro altezza venga sottostimata e che quindi la traiettoria del tiro sia più vicina al corpo. Ciò consentirebbe una maggiore possibilità di parare il tiro (Van Der Kamp & Masters, 2008).

Alla luce dei risultati osservati da Van der Kamp e Masters (2008), Shim e colleghi (2014) hanno approfondito lo studio della Muller-Lyer nei portieri su un campione di 34 studenti universitari. I partecipanti dovevano lanciare una pallina da tennis, ad una distanza di circa cinque metri, o puntare con un puntatore laser, in un punto in cui il portiere avrebbe potuto afferrare la palla solo allungando le braccia. Sono state mostrate tre posture del portiere, con le braccia perpendicolari al corpo (figura 6a), con le braccia in basso ( 6c) e con le braccia in alto ( 6b). Il portiere era proiettato su una parete ma senza la porta dietro di sé. La traiettoria di tiro non era influenzata dalla posizione delle mani rispetto ai pali della porta, né della traversa o del terreno. La scelta di questa procedura è dipesa dalla volontà di eliminare il fattore “direzionalità del tiro” (dunque tirare con l'obiettivo di fare gol) e verificare che i risultati dipendessero esclusivamente da una percezione distorta dell'altezza del portiere. Si ipotizza, infatti, che se l'illusione di Muller-Lyer fosse stata realmente percepita, allora la palla, dopo il lancio, sarebbe caduta più lontana o più vicina al corpo del portiere rispettivamente per la postura con le braccia in alto e con le braccia in basso, rispetto alla postura con le braccia perpendicolari al corpo (figura 6 a).

I risultati di questo studio sono in linea con i risultati ottenuti da Van der Kamp e Masters (2008), evidenziando una sottostima dell'altezza del portiere e direzione di lancio più vicina al corpo quando le braccia erano rivolte verso il basso (Shim et al., 2014).

### 1.2.2. Illusione di Ebbinghaus nei giocatori di golf

L'illusione di Ebbinghaus è stata studiata nel golf (Witt et al., 2012). Le configurazioni con cerchi grandi e piccoli (5 grandi, 11 piccoli) sono state proiettate, tramite un proiettore rivolto verso il basso, attorno alle buche da golf (figura 7). Una buca aveva un diametro 5,08 cm e una di 10,16 cm. L'obiettivo era comprendere se l'illusione di Ebbinghaus producesse un effetto distorsivo nella grandezza della buca e se, di conseguenza, influisse sulla prestazione. Qualora le configurazioni proiettate avessero prodotto l'effetto illusorio di Ebbinghaus, allora si sarebbe potuto osservare un miglioramento della prestazione per la buca percepita come più grande, in quanto genererebbe nel golfista una sensazione di sicurezza. Tuttavia, una percezione distorta del diametro della buca potrebbe portare ad un peggioramento prestazionale dal momento che la mira del golfista si potrebbe spostare in un punto non corrispondente all'obiettivo reale.



**Figura 7.** Illusione di Ebbinghaus applicata ad una buca da golf. Figura tratta da Chauvel et al., (2015).

I ricercatori hanno reclutato 36 volontari (19 donne, 17 uomini) a cui è stato chiesto di riprodurre la dimensione della buca da golf utilizzando il software MS Paint per verificare che l'illusione di Ebbinghaus avesse avuto un effetto distorsivo nella grandezza della buca. Ciascun partecipante era disposto a 1,7 metri di distanza dalla buca da golf. La seconda parte dell'esperimento consisteva nel lanciare la pallina (golf *putting*) per un totale di dieci volte ad una distanza di 3, 5 metri. La prestazione veniva misurata calcolando il numero di volte in cui la pallina sarebbe entrata in buca. Ogni associazione tra buca e illusione (le due buche di dimensioni 5,08 e 10, 6 cm con le due configurazioni dell'illusione di Ebbinghaus), è stata presentata in maniera randomica. I risultati emersi hanno evidenziato che la buca con diametro 5,08 cm, coronata da 11 piccoli cerchi, è stata percepita come più grande rispetto alle sue effettive dimensioni. Per la buca di dimensione maggiore (standard) non sono emersi dati significativi. L'assenza di un effetto manifestatosi con la buca di grandezza 10,6 cm ha permesso di utilizzare i dati raccolti come condizione di controllo per verificare che l'illusione di Ebbinghaus avesse realmente influenzato la prestazione al tiro verso la buca di diametro 5, 08 cm, escludendo possibili fattori interferenti legati ai cerchi circostanti.

I ricercatori hanno, quindi, concluso che i partecipanti hanno percepito la buca circondata da cerchi di piccole dimensioni come più grande. È stato ipotizzato che il percepire la buca come più grande avesse stimolato nei partecipanti una maggiore fiducia in sé stessi migliorandone la prestazione (Witt et al., 2012).

Una ricerca successiva (Chauvel et al., 2015) ha studiato se l'illusione di Ebbinghaus potesse influenzare l'apprendimento del tiro a golf. Gli autori hanno introdotto la variabile dell'autoefficacia dei tiratori, per valutare se questa potesse influenzare il risultato nel tiro e l'apprendimento a lungo termine. Infatti, molti studi hanno evidenziato che percepire un compito come meno complicato può facilitare

l'apprendimento. Ciò sembra dipendere anche dalla tipologia di informazioni che vengono fornite, ad esempio, la presenza di feedback positivi in corrispondenza di compiti eseguiti correttamente possono aumentare la capacità di apprendimento (ad esempio, Badami et al., 2012; Chiviacowsky & Wulf, 2007; Saemi et al., 2012). Effetti simili si hanno se la prestazione del singolo viene paragonata a quella di individui che hanno ottenuto esiti peggiori (ad esempio, Ávila et al., 2012; Lewthwaite & Wulf, 2010; Wulf et al., 2010, 2012). Il denominatore comune di queste condizioni è proprio l'aumento di autoefficacia (Badami et al., 2012; Saemi et al., 2012; Wulf et al., 2012).

Chauvel et al. (2015) hanno reclutato 36 studenti universitari (20 donne e 16 uomini), principianti per quanto riguarda lo sport del golf, e li hanno divisi in due gruppi. Il primo gruppo si sarebbe esercitato sulla buca circondata da piccoli cerchi (percepita come più grande) ed il secondo si sarebbe allenato con la configurazione dell'illusione con i cerchi circostanti grandi. Nella fase preliminare tutti i partecipanti hanno effettuato un pre-test per esercitare le abilità di tiro senza l'influenza dell'illusione di Ebbinghaus. La buca aveva un diametro di 10,4 cm ed era posizionata su erba sintetica. L'illusione veniva proiettata attorno al foro. A seguito dell'attivazione del proiettore, ai partecipanti è stato chiesto di disegnare un cerchio che rappresentasse, nelle sue dimensioni, la buca da golf, per testare gli effetti dell'illusione sulla percezione del diametro del foro. Poi è stato somministrato un questionario per valutare l'autoefficacia su una scala da 1 a 10. Infine, i partecipanti hanno eseguito la prova pratica che prevedeva cinque blocchi da dieci tiri con l'illusione di Ebbinghaus proiettata sulla buca (un gruppo doveva tirare con la configurazione con la buca percepita come più grande e l'altro gruppo nella condizione con la buca percepita come più piccola). L'obiettivo dei partecipanti era quello di lanciare la pallina il più possibile vicina al bersaglio. Dopo ogni tiro è stato dato loro un feedback

per valutare l'impatto sull'autoefficacia. Al termine della prova pratica ai partecipanti è stato chiesto nuovamente di disegnare la buca da golf e di compilare il questionario.

La prova pratica è stata eseguita anche il giorno successivo, eliminando però l'illusione di Ebbinghaus, dunque facendo eseguire ai partecipanti tiri in una buca da golf standard, per valutare se ci fossero differenze di apprendimento tra il gruppo che ha sperimentato la configurazione con cerchi piccoli e quello che ha testato la figura con cerchi grandi. Dai risultati è emerso che la grandezza della buca è stata percepita in maniera differente nei due gruppi: la buca circondata da piccoli cerchietti è apparsa più grande nelle dimensioni, mentre la buca con grandi cerchi intorno è apparsa come più piccola. La sovrastima della dimensione della buca circondata da piccoli cerchi ha favorito anche una maggiore precisione nel lancio della pallina. La pratica di tiri con le due differenti configurazioni illusorie sembra aver avuto un effetto anche a livello di apprendimento, in quanto il gruppo che ha percepito il bersaglio come più grande ha performato meglio il giorno successivo, anche senza effetto illusorio. L'autoefficacia è risultata più elevata nel gruppo che ha percepito la buca con dimensioni maggiori. Tale risultato è emerso prima e dopo la prova. Tuttavia, il numero ridotto di partecipanti ha rappresentato una limitazione nel determinare se l'autoefficacia abbia avuto un ruolo nella percezione del bersaglio e dunque nella fase di apprendimento motorio.

Alla luce dei risultati ottenuti in questo studio, gli autori hanno concluso che le illusioni ottiche possono essere utilizzate, non solo per migliorare la prestazione sportiva, ma anche per consolidare ciò che è stato appreso (Chauvel et al., 2015).

Maquestiax e suoi collaboratori (2021), hanno analizzato ricerche effettuate in precedenza per valutare se l'illusione di Ebbinghaus influenzasse realmente la performance sportiva. Prendendo in esame lo studio condotto da Witt e colleghi (2012), i

risultati mancherebbero di robustezza, in termini di miglioramento della prestazione sportiva dovuta all'effetto di ingrandimento della buca. I risultati si rifanno solamente alla buca di diametro 5 cm, mentre la buca con dimensioni standard (10 cm) non ha generato alcun effetto. Inoltre, il campione di partecipanti è considerato ridotto per generalizzare le conclusioni. Anche la distanza di lancio è risultata essere eccessiva da affrontare per golfisti principianti (3,5 m). Sono stati considerati poco affidabili anche i dati riportati da Chauvel e collaboratori (2015), poiché, essendo state condotte le analisi su due gruppi differenti, gli esiti potrebbero dipendere da differenze individuali piuttosto che da un reale effetto dell'illusione di Ebbinghaus.

In un primo esperimento Maquestiax e colleghi (2021) hanno cercato di replicare fedelmente la condizione sperimentale mostrata nello studio di Witt e collaboratori (2012). Per valutare la validità del compito, l'illusione di Ebbinghaus non è stata mostrata sin da subito. Ventiquattro studenti universitari hanno lanciato dieci palline da golf con l'obiettivo di mandare la palla in buca, posizionati ad una distanza di 3,5 m. Sono state proposte due buche, con dimensioni leggermente maggiori rispetto allo studio di partenza (5,5 cm e 11cm). La distanza è stata considerata eccessiva. In effetti solo uno dei partecipanti è riuscito a mandare la pallina nella buca piccola. Per quanto riguarda la buca di dimensioni standard le prestazioni sono state migliori, ma comunque non soddisfacenti. Questi risultati si discostano molto dallo studio condotto da Witt e collaboratori, i cui golfisti principianti hanno ottenuto una media di 3,8 lanci realizzati con successo alla medesima distanza. Gli autori concludono che una riproduzione diretta dello studio di Witt e colleghi (2012) non sarebbe stata adatta a golfisti principianti data la distanza nel lancio dalla buca. La seconda parte dell'esperimento è stata realizzata facendo lanciare i partecipanti da una distanza inferiore, due metri. La procedura è stata la medesima: 40 partecipanti hanno visualizzato le buche di due dimensioni con l'effetto dell'illusione,

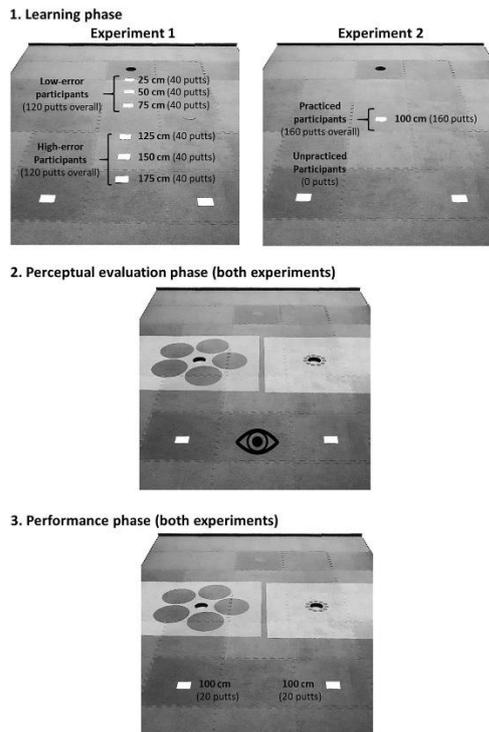
dunque circondati da piccoli cerchi o cerchi grandi, e hanno disegnato in MS Paint la buca secondo la loro percezione di grandezza; successivamente hanno effettuato dieci tiri di golf *putting*. Secondo i risultati, l'illusione di Ebbinghaus non ha sortito effetti né sulla percezione di dimensione della buca, né sulla prestazione dei tiri.

Questi risultati possono scaturire da: 1) una mancanza di effetto dell'illusione stessa e i cerchi che contornano la buca potrebbero non aver generato distorsioni di grandezza; 2) la procedura applicata per la stima delle dimensioni potrebbe non essere stata idonea e sufficientemente sensibile; 3) le due configurazioni non sono state presentate contemporaneamente, ma una alla volta. Quindi le due configurazioni non potevano essere messe a confronto e ciò potrebbe aver portato all'assenza di un effetto sulla percezione e sulla prestazione. Gli esperimenti (Maquestiaux et al., 2021) condotti successivamente hanno cercato di testare la terza ipotesi. In questi esperimenti le configurazioni dell'illusione di Ebbinghaus sono state presentate ai 40 partecipanti dell'esperimento precedente (Maquestiaux et al., 2021) contemporaneamente; dunque, era visibile un foro circondato da cerchi piccoli e uno contornato da grandi cerchi. In un primo momento i partecipanti hanno effettuato 10 lanci per ciascuna configurazione dell'illusione ad una distanza di due metri. Nella seconda parte la procedura è stata la medesima del primo esperimento, con la sola differenza che i partecipanti hanno alternato lanci nella buca che dovrebbe essere percepita come di dimensioni maggiori a lanci nella buca considerata percettivamente più piccola. I risultati hanno mostrato come le dimensioni delle due buche siano state percepite in maniera differente, coerentemente con l'illusione di Ebbinghaus, seppur nella prestazione non ci sia stato l'effetto ipotizzato.

La spiegazione di questa mancanza di influenza dell'illusione di Ebbinghaus nella prestazione potrebbe risiedere in un non adattamento delle strategie di pianificazione

motoria alla prova pratica, data la difficoltà del compito, o alla mancanza di fiducia dei partecipanti viste le prestazioni sportive precedenti non soddisfacenti. Un ultimo esperimento è stato condotto diminuendo la distanza da due metri a un metro, nel tentativo di semplificare il compito e consentire una migliore riuscita nel lancio ai partecipanti. Il campione di 43 studenti è stato selezionato escludendo i partecipanti degli esperimenti precedenti. È stata utilizzata la stessa procedura (10 *putt* per ciascuna configurazione dell'illusione) con la sola differenza della distanza ridotta. I risultati hanno evidenziato un effetto percettivo dell'illusione ma la prestazione di tiro non ha subito miglioramenti conseguenti all'effetto illusorio.

Qualche anno dopo, Maquestiaux e Arexis (2023), hanno proposto un nuovo studio per tentare di conciliare i risultati contrastanti ottenuti nelle ricerche pubblicate in precedenza. Viene effettuata una distinzione tra conoscenza procedurale e conoscenza dichiarativa, in cui l'una rappresenta la consapevolezza del "come" svolgere un'azione, mentre l'altra può essere espressa verbalmente come spiegazione di un processo. Si ipotizza che la conoscenza procedurale di un gesto motorio comporti una maggiore influenza da parte di illusioni visive (ad esempio, Anderson, 1982; Fitts, 1964; Fitts & Posner, 1967). Lo studio è stato suddiviso in due parti. In un primo esperimento 60 studenti universitari sono stati sottoposti a prove di tiro da golf. Per distinguere la conoscenza procedurale dalla conoscenza dichiarativa è stata applicata la tecnica di apprendimento motorio ad alto errore o a basso errore proposta da Maxwell e collaboratori (2001). La conoscenza procedurale si sviluppa in quei partecipanti che esperiscono la condizione di basso errore, ovvero le prestazioni risultano buone in tempi brevi e non hanno necessità di monitorare attivamente il loro movimento per correggersi. Un maggior numero di errori, invece, si traduce in una maggiore conoscenza dichiarativa, in cui si attinge alle esperienze passate per evitare di sbagliare. In questo secondo caso,



**Figura 8.** Procedura sperimentale applicata per verificare un effetto dell'illusione di Ebbinghaus sulla prestazione al tiro di golf e per valutare se una conoscenza procedurale del gesto motorio influisca sulla percezione effettiva dell'illusione. Figura tratta da Arexis e Maquestiaux (2023).

la concentrazione è posta sulla palla e sul lancio e c'è una tendenza a monitorare il proprio comportamento per comprendere come svolgere le azioni nel miglior modo possibile. Coloro che sviluppano una conoscenza procedurale automatizzano il compito e sono in grado di svolgerlo senza uno sforzo attentivo, contrariamente a quanto accade per la conoscenza dichiarativa (Maxwell et al., 2001). I partecipanti sono, quindi, stati suddivisi in un gruppo procedurale e un gruppo dichiarativo.

Nel primo esperimento Arexis e Maquestiaux, (2023) hanno chiesto ai partecipanti di effettuare una prima prova di tiri senza la presenza dell'illusione e una seconda

prova in cui le due configurazioni dell'illusione di Ebbinghaus sono state presentate contemporaneamente (a sinistra la buca circondata da cerchi grandi, a destra da cerchi piccoli, figura 8). La distanza scelta per il lancio è stata di un metro. Preliminarmente alla prova pratica è stato chiesto al campione di esplicitare verbalmente le differenze di grandezza dei fori, per poi disegnarle in Microsoft Paint. L'illusione visiva ha influenzato la percezione della dimensione delle buche, sovrastimando la buca circondata da piccoli cerchi. Allo stesso modo, l'illusione ha influenzato la prestazione migliorandola del 9,9%. Come ipotizzato, i partecipanti con conoscenza procedurale hanno migliorato la prestazione al tiro, a differenza del gruppo con conoscenza dichiarativa.

Nel secondo esperimento, Arexis e Maquestiaux (2023), hanno riprodotto i metodi utilizzati nel primo, modificando però la procedura di selezione del gruppo procedurale e dichiarativo. I partecipanti sono stati divisi in due gruppi in maniera casuale e solo un gruppo ha potuto esercitarsi nel lancio. Sulla base dei modelli sequenziali dell'apprendimento (Fitt & Posner, 1967), l'esperienza nello sport dovrebbe aumentare la conoscenza procedurale, mentre i partecipanti non esperti dovrebbero far affidamento alla conoscenza dichiarativa per effettuare i lanci. A seguito dello svolgimento delle prove previste, è emersa una percezione della buca circondata da cerchi piccoli come più grande rispetto alle sue dimensioni effettive. Le prestazioni sono migliorate del 15,4%, con prestazioni superiori per il gruppo procedurale rispetto al gruppo dichiarativo.

In conclusione, lo studio ha mostrato come la prestazione in un lancio nello sport del golf possa essere influenzata dalla rappresentazione dell'illusione di Ebbinghaus. La conoscenza procedurale del compito potrebbe inoltre aumentare la probabilità che tale effetto illusorio sia sperimentato dai partecipanti (Arexis e Maquestiaux, 2023).

## Capitolo 2: Pattern cardiaci negli sport di precisione

Il raggiungimento di prestazioni sportive di alto livello è un obiettivo tutt'altro che semplice per gli atleti, che necessitano quindi di strategie efficaci per ridurre al minimo pensieri ed emozioni interferenti e raggiungere il miglior risultato possibile. Pertanto, è necessario che gli atleti sviluppino meccanismi autoregolativi per quanto riguarda le emozioni e i meccanismi attentivi. Affinché si raggiunga una buona prestazione sportiva è necessario anche conoscere gli indici psicofisiologici sottostanti la prestazione sportiva (di Fronso et al., 2017).

La psicofisiologia è lo studio scientifico della relazione tra mente e corpo. La nascita di questa disciplina risale al 19° secolo con scienziati come Charles Darwin, William James e Walter Cannon, interessati ai cambiamenti fisiologici derivanti dalle differenti emozioni (Cooke & Ring, 2019). L'interesse per il monitoraggio degli indici psicofisiologici in ambito sportivo è nato negli anni '70, parallelamente alla necessità di implementare un allenamento mentale per migliorare la prestazione sportiva (di Fronso et al., 2013). La psicofisiologia riguarda lo studio dei parametri fisiologici come conduttanza cutanea, frequenza cardiaca, parametri derivanti da elettroencefalografia, elettromiografia e unisce questi aspetti alle variabili comportamentali e psicologiche quali l'attenzione e le emozioni. Manipolando misure fisiologiche si può, quindi, ottenere un effetto sul comportamento e dunque sulla prestazione sportiva (di Fronso et al., 2013). Il monitoraggio psicofisiologico comprende anche la valutazione del livello di attivazione e del funzionamento dell'organismo (di Fronso et al., 2017).

Il termine *arousal*, uno dei concetti più studiati in ambito di preparazione atletica e mentale, è stato spesso associato al livello di attivazione e indica una risposta da parte dell'organismo, a livello fisiologico e comportamentale, scaturita da eventi attesi o stimoli

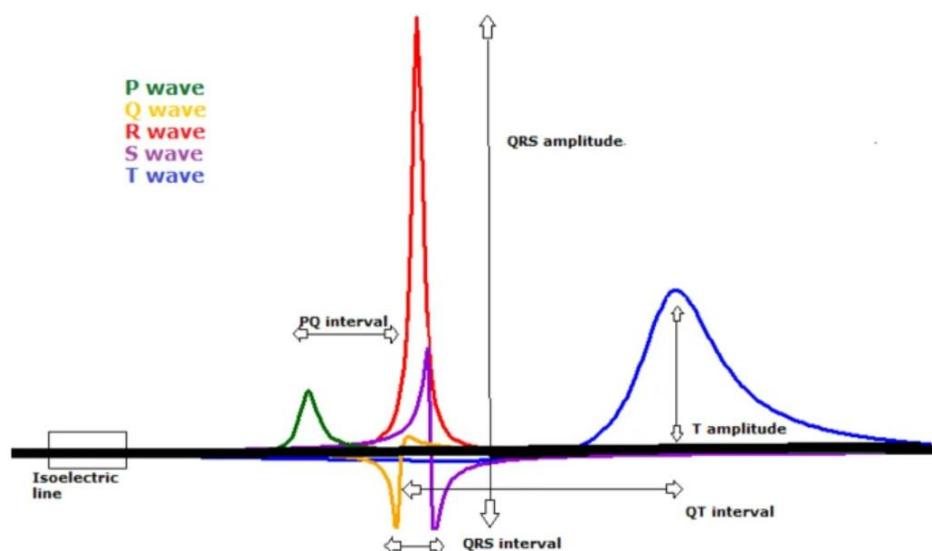
interni ed esterni. Tale risposta può portare ad un miglioramento o a un peggioramento della prestazione dell'atleta in relazione a come viene percepita cognitivamente o all'intensità della stessa (Gould & Krane, 1992). Nel tempo, il concetto di *arousal* è stato differenziato da quello di attivazione. Il primo indicherebbe una differenza tra la conduttanza cutanea a riposo e la conduttanza misurata immediatamente prima del compito, dunque farebbe più riferimento ad una preparazione immediata nello svolgere un'azione. Il secondo corrisponderebbe ad una differenza tra conduttanza cutanea prima e dopo il compito, ovvero un'attivazione generale del sistema nervoso in risposta a stimoli interni o esterni (Barry et al., 2004, 2005; Vaez-Mousavi et al., 2007, 2008, 2011).

## **2.1. Decelerazione cardiaca negli sport di precisione**

La frequenza cardiaca è il numero di battiti che si registrano in un minuto di tempo (bpm). I cambiamenti nella frequenza cardiaca vengono misurati tramite elettrocardiogramma (ECG) che valuta la durata tra battiti cardiaci consecutivi: si ha decelerazione cardiaca nel momento in cui aumenta il tempo che intercorre tra due successivi battiti, al contrario si ha un'accelerazione quando c'è una diminuzione del tempo tra un battito e il successivo (Cooke, 2013).

Le componenti principali del segnale ECG sono le onde P, T e il complesso QRS (figura 9). La prima metà dell'onda P è generata dalla depolarizzazione dell'atrio destro, mentre la seconda metà è prodotta dalla depolarizzazione dell'atrio sinistro. L'effetto depolarizzante raggiunge i ventricoli attraverso l'area endocardica dell'epicardio. Il complesso QRS, nei primi millisecondi è prodotto dalla depolarizzazione del lato sinistro del setto interventricolare; successivamente è generato dalla depolarizzazione dell'endocardio di entrambi i ventricoli. L'onda T deriva dalla ripolarizzazione di

entrambi i ventricoli (Hurst, 1998). Il tempo che intercorre tra due battiti cardiaci consecutivi prende il nome di intervallo R-R, o intervallo interbattito (IBI), misurati in millisecondi. Da questi parametri è possibile ottenere il valore di frequenza cardiaca (in bpm) tramite la moltiplicazione tra il reciproco del valore di IBI ( $1/IBI$ ) e 60 000.



**Figura 9.** Onde visibili attraverso un'analisi del segnale ECG. Figura tratta da Rueda et al., (2021).

L'attività cardiaca subisce molte variazioni in relazione alle richieste ambientali; ciò è dovuto al sistema simpatico e al sistema parasimpatico che regolano accelerazioni o decelerazioni cardiache con l'obiettivo di adattarsi ad ogni situazione (Graham & Clifton, 1966; Obrist, 1968; Sokolov, 1963; Vila et al., 2007). Nello specifico il sistema simpatico si attiva nelle risposte di "attacco o fuga" e durante l'esercizio fisico. Ha la funzione di preparazione del corpo a svolgere attività che richiedono un grande sforzo fisico. Con l'attivazione del sistema nervoso simpatico si ha un aumento del flusso sanguigno che trasporta ossigeno e sostanze nutritive alle componenti che lo necessitano,

soprattutto ai muscoli scheletrici. Il sistema parasimpatico, invece, è funzionale nelle condizioni di riposo: consente un immagazzinamento di energia e una regolazione delle funzioni corporee di base (McCorry, 2007).

Il rallentamento dell'attività cardiaca è stato riscontrato numerose volte nell'anticipazione delle azioni (stato di preparazione per svolgere un'azione) o correlata alla minaccia o all'errore (Jennings et al., 1998; Reyes Del Paso et al., 2015). Il fattore comune tra questi eventi è che richiedono di prestare molta attenzione agli stimoli salienti. Al contrario, l'accelerazione cardiaca si associa a una ridotta necessità di focalizzarsi su stimoli esterni, ma piuttosto a una tendenza all'azione o a un cambiamento comportamentale (Skora et al., 2022).

Le variazioni nella frequenza cardiaca sono state studiate per valutare come i processi di elaborazione delle informazioni, il controllo del gesto motorio e l'apprendimento di abilità fossero in relazione con una decelerazione cardiaca o una accelerazione (Wulf, 2007).

Lacey e Lacey (1980) hanno proposto l'ipotesi dello “*stimulus intake /rejection*” con la quale spiegano una decelerazione cardiaca con una attenzione focalizzata verso stimoli esterni (*stimulus intake*). In questo caso la pressione sanguigna subisce un decremento che disattiva i barocettori favorendo un flusso di informazioni dall'ambiente esterno al cervello. (Brunia, 1993). Di contro la frequenza cardiaca tende ad accelerare quando l'attenzione è rivolta a stimoli interni all'organismo, come sentimenti o pensieri (*stimulus rejection*). Ciò porterebbe ad un aumento della pressione sanguigna, che, con l'attivazione dei barocettori, inibisce i “rumori ambientali” per favorire un'attenzione focalizzata solo su stimoli interni (Lacey & Lacey, 1974; Tremayne & Barry, 2001).

Obrist (1981) ha offerto una visione differente sulle variazioni di frequenza cardiaca che non contempla l'attenzione. Una decelerazione cardiaca rappresenterebbe l'assenza di attività motoria, ovvero una ridotta tensione muscolare e una minore attività metabolica. Dunque, nel caso di attenzione diretta a stimoli esterni, l'attività motoria si riduce per garantire una migliore focalizzazione dell'attenzione su stimoli salienti e questo rallentamento motorio porterebbe a una diminuzione della frequenza cardiaca (*General inhibition hypothesis*).

Questo filone di ricerca è risultato molto utile per gli sport che utilizzano le cosiddette "*closed skills*" (abilità chiuse), ovvero gli sport che hanno luogo in contesti prevedibili e in cui il gesto motorio e le modalità di svolgimento possono essere gestite dall'atleta. Gli sport di precisione rientrano in questa categoria e sono tra i più studiati nella valutazione di indici fisiologici proprio per l'esecuzione del gesto motorio in posizione statica. (Abernethy, 2001; Abernethy et al., 2007).

## **2.2. Il ruolo funzionale della decelerazione cardiaca nella prestazione sportiva**

Numerosi studi (ad esempio Wang & Landers, 1987; Hatfield et al., 1984-1987) hanno studiato i pattern cardiaci per valutare una possibile correlazione tra frequenza cardiaca e prestazione sportiva. L'attenzione è considerata una discriminante per una buona prestazione atletica. In accordo con la teoria di Lacey e Lacey (1964, 1966), una diminuzione della frequenza cardiaca faciliterebbe i processi attentivi. Al contrario, un aumento della frequenza cardiaca e della pressione sanguigna ridurrebbe l'attività corticale portando ad una difficoltà di concentrazione e di attenzione focalizzata.

Pertanto, una diminuzione della frequenza cardiaca e quindi una maggiore attenzione focalizzata, consentirebbe un miglioramento della prestazione (Wang & Landers, 1987).

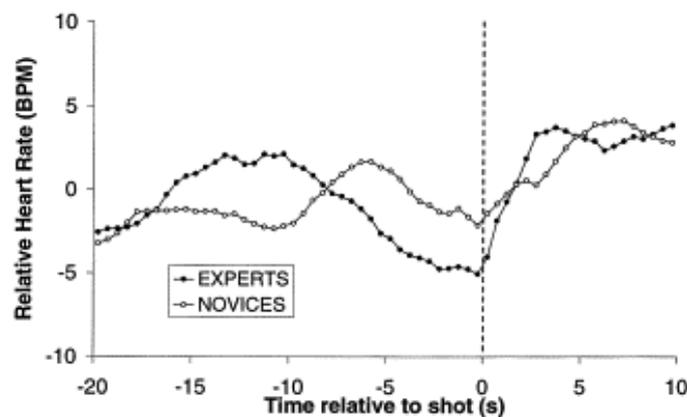
Alcuni studi, ad esempio, hanno osservato che la decelerazione cardiaca è correlata con una diminuzione dei tempi di reazione (Jennings et al., 1998, Reyes Del Paso et al., 2015), e tende ad aumentare di pari passo con la difficoltà del compito. Inoltre l'efficienza e la precisione nelle azioni sono generate da una inibizione degli stimoli interferenti, determinata da una decelerazione cardiaca (Skora et al., 2022).

Un esempio è riportato nello studio condotto da Tremayne e Barry (2001), nel quale sono stati selezionati due gruppi di partecipanti, tiratori di pistola d'élite e tiratori principianti. Le variabili fisiologiche indagate sono state frequenza cardiaca (misurata a partire da 20 secondi prima dello sparo a 10 secondi dopo lo sparo) e conduttanza cutanea (SCL). Le ipotesi dello studio erano:

1. Una decelerazione cardiaca e una riduzione della conduttanza cutanea nei tiratori esperti prima dello sparo;
2. La decelerazione cardiaca si sarebbe verificata maggiormente negli spari con risultati migliori (per i partecipanti esperti);
3. La conduttanza cutanea sarebbe diminuita maggiormente per i colpi migliori (per i partecipanti esperti).

I dati di frequenza cardiaca sono stati registrati mediante analisi ECG: gli elettrodi sono stati sistemati nella parte inferiore della gabbia toracica sinistra e destra, mentre l'elettrodo di terra è stato posto sullo sterno. È stato effettuato un calcolo degli intervalli R-R. Gli elettrodi della conduttanza cutanea erano posti sulle falangi mediali del secondo e terzo dito della mano non dominante.

L'esperimento prevedeva tre condizioni sperimentali: nella prima gli atleti hanno eseguito spari ad una distanza di 25m dal bersaglio (durata di 50 secondi); nella seconda i tiratori sono rimasti immobili in posizione impugnando l'arma, ma senza sparare (50 secondi); nella terza hanno nuovamente effettuato spari verso il bersaglio per 50 secondi. I risultati hanno confermato una diminuzione della frequenza cardiaca e della conduttanza cutanea prima dello sparo nei tiratori d'élite. Lo stesso fenomeno non è stato osservato nei principianti (Figura 10).



**Figura 10.** Il grafico rappresenta l'andamento della frequenza cardiaca in sparatori esperti e non esperti. Lo "0" nell'asse delle ascisse rappresenta il momento esatto in cui è avvenuto lo sparo. I tiratori esperti hanno evidenziato una decelerazione cardiaca prima dello sparo. Al contrario, gli sparatori alle prime armi non hanno mostrato una significativa decelerazione cardiaca prima dello sparo. Figura tratta da Tremayne e Barry, (2001).

Gli autori hanno interpretato questa decelerazione cardiaca negli sparatori esperti come il risultato di una focalizzazione dell'attenzione rivolta verso il bersaglio (dunque su stimoli esterni), seguita da una accelerazione cardiaca dopo lo sparo, dovuta al distoglimento dell'attenzione dal bersaglio stesso. Per i colpi migliori la frequenza cardiaca ha iniziato a diminuire 3,5 secondi prima rispetto ai colpi peggiori, suggerendo una maggiore concentrazione verso l'obiettivo durante le prestazioni migliori. Gli autori

hanno, dunque, concluso che vi sia un collegamento tra decelerazione cardiaca e prestazione ottimale negli sport di precisione (Tremayne & Barry, 2001).

Lo studio condotto da Boutcher e Zinsser (1990), ha analizzato i modelli cardiaci, respiratori e comportamentali nei golfisti. I partecipanti sono stati suddivisi in due gruppi in base all'esperienza nel golf: 15 studenti principianti e 15 golfisti d'élite. Il compito di *putting* consisteva nel tirare la pallina da golf in una buca di metallo. Sono stati assegnati 15 punti per ogni pallina mandata in buca, dieci punti per il contatto tra pallina e buca, cinque punti nel caso in cui la pallina si trovasse a una distanza di 1-10 pollici dalla buca, quattro punti per una distanza di 11-20 pollici dalla buca, tre punti per una distanza di 21-30 pollici dalla buca, due punti per una distanza di 31-40 pollici di distanza e un punto per una distanza superiore a 40 pollici dalla buca. La frequenza cardiaca dei partecipanti è stata misurata utilizzando un fisiografo Grass collegato ad un convertitore e a un computer. Il segnale è stato amplificato fino a 10 V. Il fisiografo è stato collegato ad un trasduttore di respirazione a termocoppia che registrava un aumento di voltaggio nella fase di inspirazione e una diminuzione di voltaggio nella fase di espirazione. Inoltre, è stato monitorato il comportamento dei golfisti valutando il tempo intercorso tra l'inizio della fase preparatoria al compito e l'effettivo colpo alla pallina, nonché il periodo di tempo tra il tocco della mazza da golf a terra e il momento di contatto con la pallina.

La frequenza cardiaca di base è stata registrata a riposo per dieci minuti ed è stata calcolata la media di intervalli di dieci secondi rilevati ogni minuto per la durata della registrazione. Ogni partecipante ha effettuato tre tiri di prova dopodiché ha eseguito 12 *putt* alternando distanze di circa 3,6 metri a distanze di circa 1,2 metri. Frequenza cardiaca, respirazione e variabili comportamentali sono stati registrati prima di ogni tiro.

Al termine della prova i partecipanti hanno risposto ad alcune domande riguardanti la focalizzazione della loro attenzione durante l'esecuzione del compito.

Per valutare la frequenza cardiaca sono stati calcolati sette IBIs: quattro intervalli prima del colpo, uno durante il colpo e due dopo aver colpito la palla. Ciascuno dei sette IBI è stato confrontato con la frequenza cardiaca media: è stata registrata una decelerazione cardiaca durante il *putt* da una distanza di quattro piedi sia per i golfisti principianti che per i golfisti d'élite. Per quanto riguarda la distanza di 3,6 m, i golfisti d'élite hanno mostrato una maggiore decelerazione cardiaca nel quarto, quinto, sesto e settimo IBI (durante il *putt*) rispetto ai golfisti principianti. La prestazione nei tiri è risultato superiore nei golfisti d'élite sia alla distanza di 1,2 m che di 3,6 m.

Dai risultati è emerso anche un andamento di respirazione simile tra i due gruppi (sospensione del respiro o espirazione prima del *putt*), attuato per il 66% dei colpi dai golfisti d'élite e per il 58% dai golfisti principianti. I golfisti d'élite hanno adottato comportamenti di preparazione al tiro per un tempo maggiore rispetto ai golfisti principianti. Per quanto concerne l'attenzione, i golfisti d'élite hanno riferito di concentrarsi sulla palla o di svuotare la testa da pensieri (attenzione non analitica). I golfisti principianti, al contrario, hanno riferito di portare l'attenzione sul gesto motorio da eseguire e sulla forza da applicare al colpo (attenzione analitica).

In conclusione, gli autori hanno osservato una maggiore decelerazione cardiaca durante il *putt* nei golfisti d'élite, connessa ad un focus attentivo "non analitico". Ciò avrebbe consentito loro di ottenere risultati migliori nel *putting* (Boutcher & Zinsser, 1990).

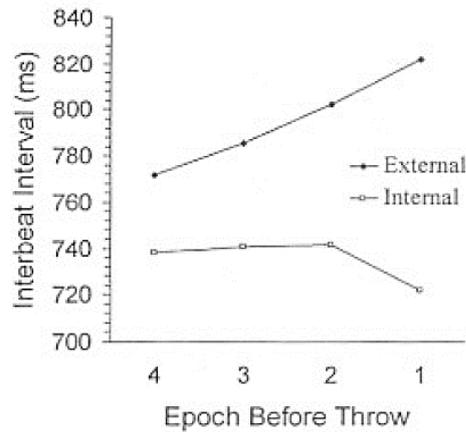
Altri studi hanno esaminato la relazione tra attenzione focalizzata su stimoli interni o esterni, frequenza cardiaca, e prestazione sportiva (Guru et al., 2020; Keast &

Elliott, 1990; Neumann & Thomas, 2009, 2011; Radlo et al., 2002). A livello attentivo, studi hanno confermato una differenza di focalizzazione dell'attenzione in relazione all'esperienza nello sport di cui si sta trattando (Abernathy et al., 1994). Sportivi esperti nel praticare un determinato gesto motorio hanno una tendenza a focalizzare l'attenzione verso stimoli esterni, rilevanti per il compito da svolgere (Hatfield et al., 1984, 1987). I principianti, non avendo mai praticato lo sport, si concentrano sul movimento da compiere, utilizzando una strategia attentiva interna (Gallwey, 1981). Una procedura valida per testare la focalizzazione dell'attenzione è risultata essere l'EEG, che può fornire risultati più precisi rispetto a questionari self-report. In questo caso, alcuni studi hanno dimostrato che un aumento dell'attività alpha nell'emisfero sinistro sarebbe collegato a risultati prestazionali peggiori (Salazar et al., 1990).

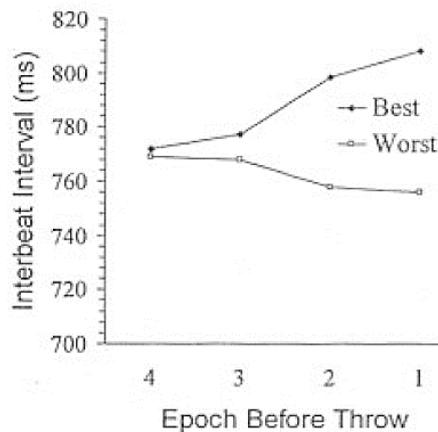
Partendo da queste considerazioni, Radlo e colleghi (2002) hanno reclutato 20 studenti universitari principianti, che avevano una ridotta esperienza nel lancio di freccette (hanno lanciato in meno di cinque occasioni negli anni precedenti). Sono stati divisi in modo casuale in due gruppi: focus attentivo esterno e focus attentivo interno. A ciascun partecipante sono stati posti degli elettrodi nei lobi temporali e occipitali, destro e sinistro (rispettivamente T4, T3, O4, O3). Dai segnali amplificati e filtrati è stata estratta la componente alfa (8-12 Hz). Per le misurazioni della frequenza cardiaca, gli elettrodi sono stati posti sul quinto spazio intercostale nel lato sinistro dello sterno e sullo spazio intercostale lungo la linea medio-ascellare. Quindi, sono stati ricavati gli intervalli IBI prima del lancio di ciascuna freccetta (quattro IBI) e successivamente sono stati calcolati gli IBI medi. Per verificare che nel segnale EEG non ci fossero artefatti dovuti al battito delle palpebre, sono state effettuate rilevazioni di movimento oculare.

A ciascun gruppo sperimentale (focus attentivo interno o esterno) sono state fornite indicazioni differenti. Il gruppo che avrebbe dovuto utilizzare un focus attentivo interno, aveva il compito di soffermarsi sul peso della freccetta nella mano, seguire il movimento della freccia dal momento in cui tocca l'orecchio al punto in cui lascia la mano, percepire il gomito che si contrae e poi si tende. Al secondo gruppo (focus esterno) sono state date le indicazioni di concentrarsi sul centro del bersaglio, perlustrare la totalità del bersaglio e successivamente soffermarsi di nuovo sul centro, questa volta cercando di percepirlo come più grande, successivamente lanciare la freccetta. I partecipanti hanno eseguito 40 lanci di freccette, suddivisi in dieci blocchi da quattro lanci ciascuno. I punteggi per la prestazione sono stati assegnati da 0 (nel momento in cui si colpiva il centro del bersaglio) a 9 (nel momento in cui si colpiva l'anello più distante dal centro).

I risultati hanno evidenziato una prestazione migliore per il gruppo che ha eseguito lanci focalizzandosi su stimoli esterni. Il medesimo gruppo ha riportato anche una diminuzione di attività alfa in entrambi gli emisferi cerebrali rispetto al gruppo con focus interno. Per quanto riguarda la frequenza cardiaca, è stata riscontrata una decelerazione nel gruppo che ha utilizzato una focalizzazione dell'attenzione esterna, fenomeno non riscontrato nel gruppo con focalizzazione interna (figura 11). Per determinare una relazione tra frequenza cardiaca e prestazione, sono stati selezionati i quattro migliori e i quattro peggiori lanci di ciascun partecipante e confrontati con gli IBI registrati: i lanci migliori erano accompagnati da una decelerazione cardiaca (figura 12).



**Figura 11.** Il grafico mostra la relazione tra focalizzazione dell'attenzione (interna o esterna) e il tempo IBI espresso in millisecondi. Per la focalizzazione esterna si nota un aumento del tempo IBI, dunque una decelerazione cardiaca. viceversa per la focalizzazione interna. Figura tratta da Radlo et al. (2002).



**Figura 12.** Il grafico mostra la relazione tra i lanci migliori e peggiori e il tempo IBI. Per i tiri migliori si evince un aumento del tempo IBI, ovvero una decelerazione della frequenza cardiaca. ciò non accade per i tiri peggiori. Figura tratta da Radlo et al. (2002).

Lo studio conferma, dunque, una corrispondenza tra attenzione focalizzata su stimoli esterni, decelerazione cardiaca e prestazione ottimale. Inoltre, le prestazioni migliori sono state registrate in concomitanza con una diminuzione dell'attività alfa

nell'emisfero cerebrale sinistro, nonché in presenza di una decelerazione cardiaca (Radlo et al., 2002).

Risultati differenti in termini di frequenza cardiaca sono emersi dallo studio condotto da Keast e Elliott (1990). La ricerca si è focalizzata sul movimento posturale, il tempo di mira e la frequenza cardiaca in arcieri esperti nel tiro con l'arco. Sono stati selezionati quattro arcieri, due uomini e due donne che sono stati monitorati durante l'esecuzione della prova tramite una fotocamera fotonica ad alta velocità che ha permesso di studiare il loro movimento del corpo. I dati relativi alla forza e alla pressione sono stati registrati utilizzando una piattaforma apposita. Ciò è risultato utile per comprendere l'oscillazione del corpo in base alla pressione e forza esercitate sul suolo durante l'esecuzione del gesto tecnico. Il segnale è stato amplificato tramite un amplificatore che ha permesso di trovare il centro dei movimenti di pressione. In questo modo è stato possibile rilevare i movimenti del corpo tramite un oscilloscopio. Per monitorare le variazioni di frequenza cardiaca sono stati applicati tre elettrodi: l'elettrodo negativo è stato posto sul manubrio dello sterno; l'elettrodo positivo nel quinto spazio intercostale nel lato sinistro del corpo; l'elettrodo di terra nella sesta costola, lungo la linea medio-ascellare del lato sinistro del corpo.

Ogni partecipante ha effettuato una sessione di allenamento preliminare con un bersaglio posizionato ad una distanza di 30 metri. Gli arcieri hanno svolto la prova a piedi nudi posizionati al centro della piattaforma di forza. L'oscillazione è stata registrata per circa 30 secondi in condizione di rilassamento del corpo. La procedura consisteva, in seguito, nello scagliare 24 frecce contro il bersaglio con l'obiettivo di ottenere il maggior numero di punti possibili e di esibirsi al meglio delle loro capacità. Le frecce sono state

classificate come “buone”, “medie” o “cattive” in relazione al punteggio ottenuto in quel turno di tiro (rispettivamente 8-10 punti, 6-8 punti, 5-7 punti).

Dai risultati è emersa una maggiore oscillazione del corpo degli arcieri nel momento in cui le prestazioni sono risultate più scadenti. La frequenza cardiaca, contrariamente ai risultati ottenuti in altri studi aventi come protagonisti gli arcieri (Schmid, 1986; Wang & Landers, 1986), è aumentata durante il tiro, indipendentemente dal fatto che la prestazione fosse buona, media o cattiva. Questa accelerazione cardiaca è stata attribuita all'eccessivo peso dell'arco durante la trazione (prima del tiro). La prestazione non sembrava essere correlata con le variazioni di frequenza cardiaca (Keast & Elliott, 1990).

In ambito golfistico, Neumann e Thomas (2011) , hanno confermato i risultati ottenuti precedentemente da Boutcher e Zinsser (1990) per quanto concerne la frequenza cardiaca, pattern respiratori e attenzione. I partecipanti allo studio sono stati 50 studenti universitari, suddivisi in tre gruppi: golfisti alle prime armi, esperti e golfisti d'élite. La prova si è svolta all'aperto, in una superficie in erba sintetica, con l'obiettivo di effettuare dei *putt* per poter mandare la pallina in buca, posta a 2,4 metri di distanza. I dati fisiologici sono stati registrati con una frequenza di campionamento di 400 Hz. Per le misurazioni di frequenza cardiaca sono stati applicati elettrodi sul manubrio dello sterno, sul processo xifoideo e sulla sesta costola. Il metodo utilizzato per calcolare le variazioni di frequenza cardiaca consisteva nell'individuare la frequenza cardiaca a 11,5 secondi prima dell'esecuzione del tiro, e sottrarre da questa la frequenza cardiaca ottenuta ogni 0,5 secondi. Valori negativi stavano ad indicare una decelerazione cardiaca, viceversa valori positivi indicavano una accelerazione cardiaca. per registrare l'andamento della respirazione è stata utilizzata una fascia respiratoria applicata intorno al torace.

La procedura sperimentale prevedeva cinque condizioni: una condizione di base e fasi di processo, prestazione, risultato e fiducia.

1. Nella condizione base i partecipanti non hanno ricevuto alcuna istruzione su come eseguire il gesto motorio.
2. Nella fase di processo era richiesto di focalizzare l'attenzione sulla forza esercitata sulla mazza da golf e sulla posizione delle mani.
3. Nella fase di prestazione l'obiettivo è stato quello di migliorare la prestazione iniziale del 20%.
4. Nella fase di risultato ogni partecipante ha cercato di battere il miglior punteggio registrato.
5. Nella condizione di fiducia la richiesta è stata quella di concentrarsi esclusivamente sulla palla e fidarsi totalmente del proprio corpo per eseguire il movimento.

Ciascun partecipante ha effettuato una sessione di allenamento di dieci lanci verso la buca. In seguito, i golfisti hanno eseguito 20 *putt* per ciascuna condizione illustrata. Al termine della prova gli sperimentatori hanno verificato, tramite intervista, la direzione del focus attentivo durante la prova.

I risultati hanno evidenziato un maggior numero di affermazioni relative ad un focus attentivo orientato verso l'esterno per i partecipanti esperti rispetto agli altri. I partecipanti alle prime armi hanno dimostrato un focus attenzionale rivolto verso l'interno. I partecipanti esperti hanno ottenuto risultati migliori nella prestazione di *putting* rispetto ai non esperti. Per quanto riguarda le variazioni di frequenza cardiaca, è stata riscontrata una decelerazione cardiaca nel gruppo di golfisti d'élite ed esperti. Nello specifico, la decelerazione è iniziata 5.5 secondi prima dell'impatto con la pallina, per il

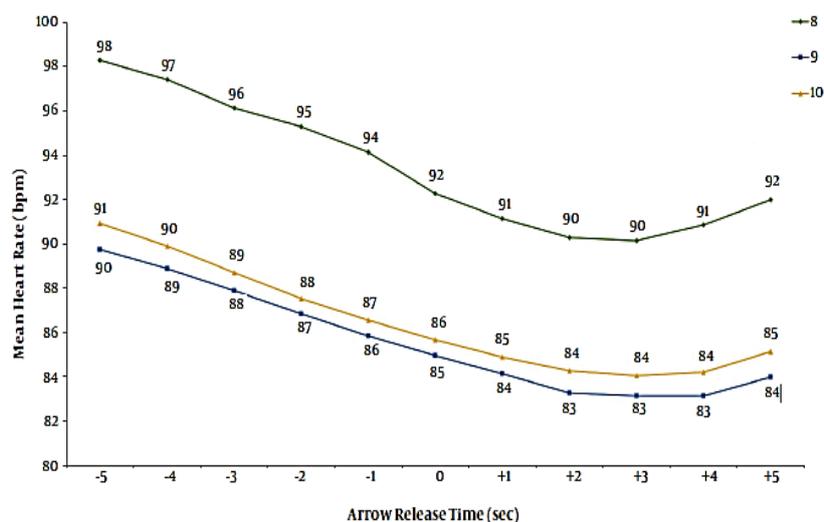
gruppo d'élite, e 3,5 secondi prima, per i partecipanti esperti ed è durata fino a 3 secondi dopo il lancio. Nel gruppo di partecipanti alle prime armi si è verificata, invece, un'accelerazione cardiaca tra 4,5 secondi e 2,5 secondi prima del contatto con la pallina (prestazioni al tiro peggiori). Il modello di respirazione è risultato diverso per i tre gruppi. I golfisti principianti avevano la tendenza ad inspirare prima di colpire la palla, diversamente dai golfisti d'élite che hanno praticato un'espiazione prima del lancio. I golfisti esperti hanno trattenuto il respiro nei secondi prima del colpo.

Le conclusioni dello studio di Neumann e Thomas (2011) erano in linea con l'ipotesi di Lacey e Lacey (1974, 1980), suggerendo una decelerazione cardiaca nei partecipanti esperti concomitante a un orientamento dell'attenzione verso stimoli esterni. La teoria proposta da Obrist (1981), che ha posto alla base di una decelerazione cardiaca una riduzione dell'attività motoria, invece, non sembra spiegare i risultati dello studio. I partecipanti hanno effettuato sessioni di pratica nel colpire la palla, aumentando quindi l'attività muscolare (Neumann & Thomas, 2011).

Lo studio condotto in sette arcieri dell' Istituto dello sport (Guru et al., 2020) ha riportato conclusioni coerenti con gli studi precedenti in termini di variazione di frequenza cardiaca e prestazione. La ricerca è stata condotta in ambiente chiuso e ogni atleta è stato munito di cardiofrequenzimetro per monitorare i cambiamenti nella frequenza cardiaca. Ciascun partecipante ha rilasciato 30 frecce ad una distanza di 18 metri dal bersaglio. La prestazione è stata ripresa da una videocamera per supervisionare la postura di tiro e i valori del cardiofrequenzimetro in tempo reale. Ad ogni sparo è stato attribuito un punteggio da 1 a 10 secondo le regole standard del tiro con l'arco (10 è il punteggio migliore).

È stata effettuata una revisione dei video a velocità ridotta e sono stati individuati 11 punti temporali per poter controllare i valori di frequenza cardiaca: sono stati presi in esame i cinque secondi prima dello sparo della freccia e i cinque secondi dopo.

I risultati non hanno evidenziato differenze di prestazione tra gli atleti, trattandosi di 7 arcieri d'élite, dunque atleti con lo stesso livello di preparazione (molto preparati). La frequenza cardiaca ha subito una decelerazione a partire da cinque secondi prima del tiro fino ai cinque secondi dopo il tiro; dunque, la frequenza ha iniziato a decelerare durante la fase di mira ed ha continuato a diminuire fino al rilascio della freccia. Una diminuzione nella frequenza cardiaca è risultata maggiormente evidente per i tiri che hanno ottenuto punteggi migliori (Figura 13).



**Figura 13.** Il grafico mostra l'andamento della frequenza cardiaca a partire da 5 secondi prima del tiro fino ai 5 secondi dopo il tiro. Sono mostrati, inoltre, i punteggi più alti ottenuti negli spari. I risultati hanno evidenziato una decelerazione cardiaca maggiore per i tiri con punteggi più alti. Figura tratta da Guru et al., (2020).

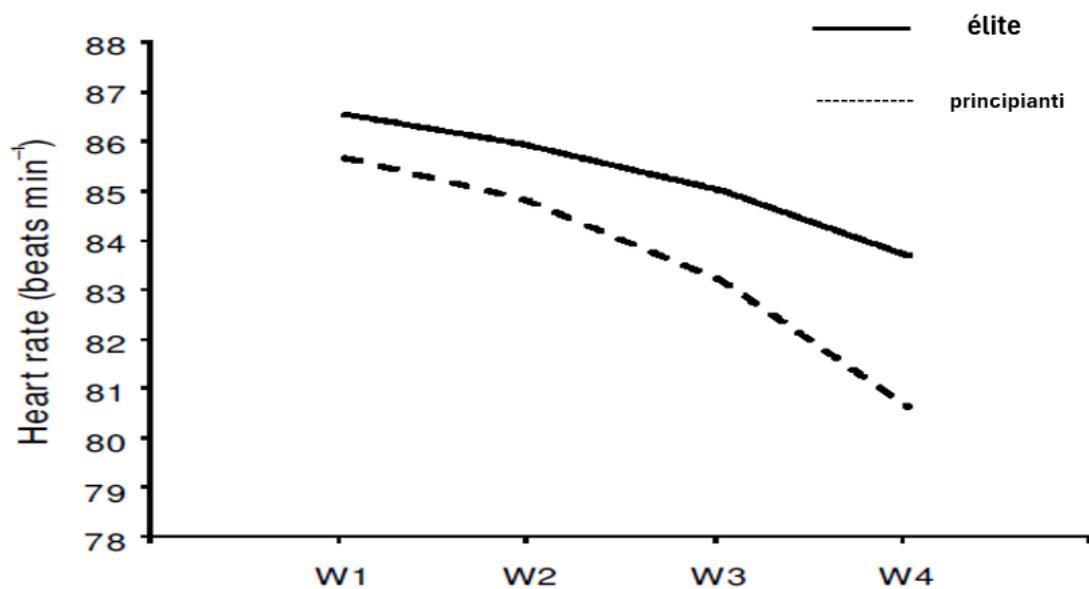
La decelerazione cardiaca che precede l'azione negli sport di precisione è spesso spiegata con la teoria proposta da Lacey e Lacey (1974, 1980), dunque come conseguenza di un'attenzione che si sposta da stimoli interni ad esterni per svolgere routine ben apprese. Un'altra possibile spiegazione potrebbe risiedere nei modelli di respirazione che

gli atleti d'élite applicano prima del lancio, ovvero trattenere il respiro. Questo potrebbe attivare una risposta di bradicardia riflessa provocando una momentanea diminuzione della frequenza cardiaca. Nello studio condotto da Neumann e Thomas (2011) la decelerazione cardiaca nei partecipanti esperti è risultata accompagnata da un arresto respiratorio subito prima del lancio. Risultati differenti sono, invece, emersi dallo studio di Boutcher e Zinsser (1990), dal momento che i partecipanti d'élite hanno manifestato una decelerazione cardiaca, a differenza dei partecipanti principianti, ma i pattern respiratori erano i medesimi tra i due gruppi (trattenere il respiro o espirare), dunque questo farebbe supporre una mancata connessione tra respiro e frequenza cardiaca (Guru et al., 2020).

L'ipotesi di Obrist (1981) trova sostegno in un'indagine di Kontinen e colleghi (1998) su 12 sparatori (6 principianti e 6 sparatori d'élite). Gli autori hanno calcolato la frequenza cardiaca dei partecipanti con un cardiotaconometro e l'attività muscolare tramite un elettromiografo. Ciascun partecipante ha effettuato una sessione di prova, per poi eseguire 200 colpi ad una distanza di 18 metri dal bersaglio. La prova si è svolta in un poligono di tiro al coperto. Per valutare la prestazione è stato utilizzato un punteggio da 0 a 11 circa, che sta ad indicare la distanza tra il punto in cui è stato sparato il proiettile e il centro del bersaglio, nonché la stabilità del fucile. I sei secondi prima dello sparo, per ogni partecipante, sono stati suddivisi in quattro intervalli di tempo (da 1,5 secondi l'uno) ed è stata calcolata la frequenza cardiaca media per ogni intervallo (intervalli denominati W1, W2, W3, W4). Per le misure della tensione muscolare sono state utilizzate le medesime finestre temporali.

Dai risultati è emersa una decelerazione cardiaca, prima dello sparo, sia nei partecipanti d'élite che negli sparatori principianti (Figura 14). La decelerazione è

risultata più marcata nei partecipanti alle prime armi. Ciò indicherebbe una mancanza di relazione tra frequenza cardiaca e risultato prestazionale, poiché gli spari effettuati dal gruppo d'élite hanno ottenuti punteggi migliori (spari più vicini al centro del bersaglio). Per quanto riguarda la tensione muscolare, nel gruppo di sparatori alle prime armi è aumentata nel tempo e in funzione della stabilità del fucile. Anche negli atleti d'élite è aumentata con l'aumentare del movimento della canna del fucile.



**Figura 14.** Decelerazione cardiaca registrata nei partecipanti d'élite e nei principianti. La linea tratteggiata rappresenta i tiratori alle prime armi; la linea continua indica la risposta cardiaca dei tiratori d'élite. I periodi che vanno da W1 a W4 rappresentano le quattro finestre temporali che hanno preceduto lo sparo. Figura tratta da Konttinen et al., (1998).

Lo studio di Konttinen et al. (1998), confuterebbe un'associazione tra modelli cardiaci e prestazione, nello specifico una decelerazione cardiaca non favorirebbe una prestazione ottimale. Nel risultato finale, però, potrebbe aver influito il numero ridotto del campione, nonché il livello di attivazione. L'atleta potrebbe focalizzare la propria attenzione verso l'esterno ma non ottenere i risultati desiderati proprio per una attivazione inadeguata al compito di mira. In questo caso la frequenza cardiaca subirebbe comunque una decelerazione determinata dal processo di preparazione al tiro, ma la prestazione

potrebbe comunque risentire di attivazioni che impediscono il mantenimento di una posizione stabile dell'arma. Per quanto riguarda la frequenza cardiaca, la decelerazione è risultata maggiore tra i partecipanti principianti rispetto ai tiratori d'élite. L'ipotesi di Lacey e Lacey (1974, 1980), associa un'attenzione focalizzata verso stimoli esterni ad una decelerazione cardiaca. All'inizio dello studio, gli autori avevano ipotizzato una attenzione rivolta verso stimoli interni nei principianti, dunque, partendo dall'ipotesi di Lacey e Lacey, la frequenza cardiaca sarebbe dovuta aumentare e non diminuire. Nel presente studio la decelerazione cardiaca sembrerebbe, piuttosto, andare di pari passo con una variazione nell'attività somatica. La tensione muscolare negli atleti principianti ha subito un abbassamento in concomitanza con una riduzione del movimento della canna del fucile, contemporaneamente ad una decelerazione cardiaca. Dunque, questo studio sembrerebbe avvalorare l'ipotesi proposta da Obrist (1980) per quanto riguarda i tiratori principianti. Per i tiratori d'élite non sembrano essere applicabili né l'ipotesi di Lacey e Lacey (1974, 1980), né quella di Obrist (1980), poiché anche negli esperti è stata riscontrata una riduzione di tensione muscolare concomitante al movimento ridotto della canna del fucile, ma non c'è stata una decelerazione cardiaca (Konttinen et al., 1998).

## Capitolo 3. La ricerca

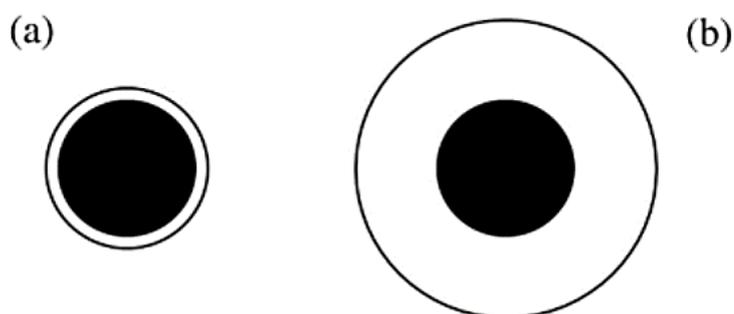
### 3.1 Introduzione e obiettivi della ricerca

Molti studi hanno indagato l'impatto di una decelerazione cardiaca nella prestazione sportiva negli sport di precisione, come il golf, freccette, tiro con l'arco e tiro a segno (Boutcher e Zinsser, 1990; Guru et al., 2020; Neumann e Thomas, 2011; Radlo et al., 2002). In questi tipi di sport, affinché la prestazione sia accurata, gli atleti devono mantenere la posizione più ferma e stabile possibile. Questo li rende un paradigma adeguato per gli studi di psicofisiologia. Infatti, il ridotto numero di movimenti permette di registrare i segnali fisiologici con un ridotto numero di artefatti di movimento che potrebbero mascherare il segnale d'interesse. Inoltre, questi sport prevedono che l'atleta osservi il bersaglio per prendere la mira. Alla luce di questo, alcuni studi hanno indagato le illusioni ottiche nel golf, in cui venivano utilizzati i principi dell'illusione di Ebbinghaus per modificare la percezione della grandezza della buca (Chauvel et al., 2015; Maquestiax et al., 2021, 2023; Witty et al., 2012). Tuttavia, ad oggi, non esistono studi che abbiano indagato l'interazione tra decelerazione cardiaca, illusioni ottiche e prestazione negli sport di precisione.

Il presente studio aveva l'obiettivo di: 1) analizzare i pattern cardiaci prima dello sparo; 2) Se i pattern cardiaci prima della prestazione fossero associati a diversi livelli di prestazione; 3) Se un'illusione di grandezza, la Delboeuf illusion, portasse a variazioni nella prestazione; 4) Se la Delboeuf illusion influenzasse la risposta cardiaca.

La Delboeuf illusion, data la sua configurazione a cerchi concentrici, richiama la struttura del bersaglio di tiro e questa somiglianza fisica consente di modificare la dimensione percepita del centro del bersaglio. L'illusione, mostrata in figura 15, consiste

in due configurazioni che presentano un cerchio centrale e un cerchio circostante. In base alla distanza del cerchio esterno da quello interno, quest'ultimo viene percepito come più grande o più piccolo, nonostante abbiano effettivamente la stessa dimensione. Nel primo caso il cerchio esterno è molto ravvicinato a quello centrale e questo conferisce una dimensione maggiore (15a); nel secondo caso la distanza tra i cerchi è maggiore, causando una sottostima della dimensione del cerchio (15b) (Gentaz & Hatwell, 2004).



**Figura 15.** Illusione di Delboeuf. La configurazione (a) è solitamente associata ad una sovrastima della dimensione del cerchio interno, mentre la configurazione (b) si associa ad una sottostima della dimensione del cerchio interno. Figura tratta da Delboeuf (1865).

## 3.2 Metodi

### 3.2.1 Partecipanti

Lo studio è stato svolto su un totale di 40 partecipanti (14 donne e 26 uomini) di età compresa tra 10 e 76 anni ( $M = 42,05$  anni;  $DS = 20,52$  anni). I partecipanti, ad eccezione di 5 di loro, erano atleti agonisti ed erano tutti registrati al Tiro a Segno Nazionale di Padova. Gli anni di pratica al tiro a segno variavano tra 6 mesi e 43 anni ( $M = 13,36$  anni;  $DS = 13,47$  anni). Quattordici partecipanti appartenevano alla categoria junior (età inferiore ai 25 anni). Tra i partecipanti, 38 hanno dichiarato di utilizzare la mano destra come mano dominante (destrimani), mentre due hanno dichiarato di essere mancini. I partecipanti avevano una vista normale o corretta tramite lenti ottiche.

Ai partecipanti è stato chiesto di non assumere bevande o sostanze attivanti nelle 3 ore precedenti all'esperimento. Le informazioni demografiche dei partecipanti sono descritte nel dettaglio in tabella 1. A ciascun partecipante è stato chiesto di completare il questionario Samn- Perelli per valutare i livelli di stanchezza e tensione in modo tale da avere informazioni aggiuntive circa gli esiti della prestazione. Lo studio è stato approvato dal comitato etico dell'Università di Padova.

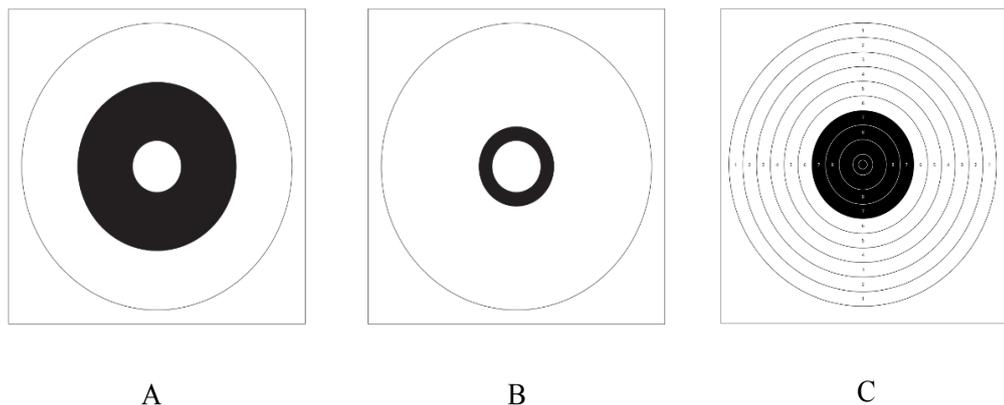
**Tabella 2.** Partecipanti allo studio (sesso, età, altezza, peso, anni di pratica.)

<b>Partecipanti</b>	<b>Sesso</b>	<b>Età</b>	<b>Altezza</b>	<b>Peso</b>	<b>Anni di pratica</b>
<b>1</b>	M	15	180	60	3
<b>2</b>	M	57	174	69	6
<b>3</b>	M	76	173	93	12
<b>4</b>	F	56	170	68	2
<b>5</b>	F	17	151	50	7
<b>6</b>	M	14	172	59	3
<b>7</b>	M	12	180	60	1
<b>8</b>	F	17	172	60	5
<b>9</b>	F	56	167	58	1
<b>10</b>	M	59	168	82	27

<b>11</b>	M	52	181	89	4
<b>12</b>	M	62	160	68,5	42
<b>13</b>	M	63	180	105	21
<b>14</b>	M	42	170	74	31
<b>15</b>	M	49	175	90	6
<b>16</b>	F	44	168	60	4
<b>17</b>	F	21	163	50	5
<b>18</b>	F	13	148	58	1
<b>19</b>	M	19	173	80	5
<b>20</b>	F	15	163	65	6
<b>21</b>	F	64	170	72	22
<b>22</b>	M	48	178	94	0,5
<b>23</b>	M	47	178	80	13
<b>24</b>	M	25	170	90	10
<b>25</b>	M	49	177	85	30
<b>26</b>	M	66	185	90	43
<b>27</b>	M	65	176	99	22
<b>28</b>	F	24	158	48	6
<b>29</b>	F	18	168	55	1
<b>30</b>	M	65	180	115	31
<b>31</b>	M	62	174	77	17
<b>32</b>	M	10	135	32	1
<b>33</b>	M	66	180	78	38
<b>34</b>	M	56	175	98	39
<b>35</b>	M	43	187	100	13
<b>36</b>	M	67	170	85	37
<b>37</b>	F	17	176	49	8
<b>38</b>	F	43	170	60	5
<b>39</b>	F	32	170	69	1
<b>40</b>	M	56	180	120	5

### 3.2.2. Stimoli

Sono stati utilizzati tre tipi di stimoli: il bersaglio standard utilizzato nel tiro a segno con pistola ad aria compressa a 10 m (condizione di controllo) e due stimoli illusori che rappresentavano le due condizioni di Delboeuf illusion. Il bersaglio standard (bersaglio C) è un foglio di cartoncino di colore chiaro 17 x 17 cm con cerchi concentrici corrispondenti a diversi punteggi. I cerchi più esterni corrispondono a punteggi minori, quelli più interni a punteggi maggiori. Il centro del bersaglio è rappresentato da un cerchio nero di 27 mm di diametro (figura 3C), mentre il cerchio più esterno misurava 15,5 cm di diametro (Gorgulu, 2019). I due stimoli illusori avevano il centro bianco (diametro = 27 mm) circondato da un cerchio nero. In una condizione (bersaglio A), il cerchio nero aveva un diametro di 91 mm che conferiva un effetto illusorio di sottostima della grandezza del centro (figura 3A). Nel secondo caso (bersaglio B), il cerchio nero era più piccolo (diametro = 43 mm), conferendo al centro del bersaglio una dimensione percepita maggiore (figura 3B). Come il bersaglio standard, il cerchio più esterno misurava 15,5 cm di diametro.



**Figura 16.** Rappresentazione dei bersagli utilizzati nella prova di tiro a segno. Il bersaglio A rappresenta la condizione illusoria in cui il centro appare come più piccolo. Il bersaglio B rappresenta la condizione illusoria in cui il centro appare più grande. Il bersaglio C rappresenta il bersaglio standard nel tiro a segno con pistola ad aria compressa a 10 m di distanza.

### 3.2.3. Procedura

L'esperimento si è svolto nel poligono di tiro di Padova e aveva la durata di circa un'ora. Dopo aver firmato il consenso informato, i partecipanti hanno compilato un questionario per la raccolta di alcune informazioni demografiche, quali sesso, età, altezza, peso, anni di pratica e sostanze o cibo assunti nelle tre ore prima dell'esecuzione della prova (dati riportati in tabella 1). I partecipanti hanno poi compilato la scala di valutazione per misurare i livelli di stanchezza e tensione "Samn-Perelli" (Perelli, 1982). La stanchezza viene valutata su una scala Likert a 7 punti, dove 1 corrisponde a "completamente vigile", mentre il 7 corrisponde a "completamente esausto". La tensione è valutata su una scala da 0 a 10 in cui lo 0 rappresenta il livello di massima tensione, mentre il 10 corrisponde ad uno stato di massimo rilassamento (Ferguson et al., 2016). Successivamente, sono state fornite le istruzioni sulla procedura sperimentale e i partecipanti hanno indossato il bracciale Empatica E4 wristband nella mano non dominante. Questo ha consentito di ridurre gli artefatti di movimento dato che la mano non dominante veniva tenuta in posizione statica lungo il corpo durante il compito di tiro a segno. Prima dell'esecuzione della prova è stata data istruzione di rimanere il più fermi possibile per un tempo di tre minuti, per consentire la registrazione della *baseline* del segnale cardiaco. Dopodiché, aveva inizio il compito di tiro a segno che consisteva nell'eseguire 30 spari con la pistola ad aria compressa alla distanza di 10 m dal bersaglio. L'istruzione era quella di effettuare gli spari nel modo più preciso e accurato possibile. L'esperimento era diviso in tre blocchi, uno per ogni tipo di bersaglio (A, B, C), ciascuno dei quali prevedeva 10 spari. L'ordine di presentazione dei bersagli era randomizzato tra i partecipanti. Prima di eseguire ogni sparo, i partecipanti dovevano premere il pulsante trigger per indicare la fase di preparazione allo sparo. Dopo l'esecuzione di ogni sparo, i partecipanti dovevano avvicinare il bersaglio tramite l'apposito carrello, riporlo alla loro destra in modo da

preservare l'ordine dei bersagli e posizionare il nuovo bersaglio. Ai partecipanti è stato chiesto, in ultimo, di raffigurare i bersagli che rappresentavano l'illusione di Delboeuf, tramite l'utilizzo di Microsoft Paint. Questo aveva lo scopo di verificare se a livello percettivo la dimensione dei bersagli riproducesse l'effetto illusorio, cioè se l'illusione fosse stata effettivamente percepita dagli atleti con gli stimoli utilizzati e alla distanza in cui venivano presentati.

#### **3.2.4. Analisi del segnale cardiaco**

Il segnale cardiaco di ogni partecipante è stato registrato tramite un bracciale Empatica E4 Wristband. Il bracciale Empatica è dotato di quattro sensori: un fotoplethysmografo che misura l'andamento nel tempo del volume sanguigno, registrato dalla parte dorsale del polso, un sensore per l'attività elettrodermica, un accelerometro, che permette di monitorare i movimenti della mano così da evidenziare eventuali artefatti di movimento nel segnale e un termometro ottico. Per la *baseline* sono stati presi in considerazione gli ultimi due minuti di registrazione del segnale, in modo da ottenere una frequenza cardiaca media a riposo per ciascun partecipante. Per valutare le modificazioni fasiche della frequenza cardiaca nella fase di preparazione al tiro, è stata calcolata la frequenza cardiaca nei 10 secondi prima di ciascuno sparo (FCpre). Il segnale registrato è stato ispezionato visivamente e gli intervalli di pulsazione sono stati registrati come differenza temporale (ms) tra punti consecutivi dell'onda di pulsazione (Menghini et al., 2019). Gli artefatti sono stati eliminati con l'utilizzo del software ARTiiFACT, disponibile gratuitamente (Kaufmann et al., 2011). Il software ha permesso di utilizzare la "spline interpolation" e di correggere manualmente il segnale nei casi in cui l'errore di frequenza cardiaca fosse superiore a 1 bpm (numero di impulsi compreso tra 1 e 5). Tre partecipanti sono stati esclusi dallo studio a causa di una registrazione di baseline eccessivamente corta

(inferiore a 2 minuti). Cinque partecipanti sono stati esclusi per via di una registrazione del segnale compromesso (numero di artefatti superiore a tre per ogni intervallo prima dello sparo).

### **3.2.5. Variabili considerate**

#### *3.2.5.1. Prestazione di tiro*

La prestazione di tiro è stata valutata calcolando la distanza in millimetri tra il punto in cui il proiettile colpiva il bersaglio e il centro del bersaglio. Ciascuna misurazione è stata eseguita manualmente.

#### *3.2.5.2. Frequenza cardiaca*

La registrazione del segnale cardiaco è avvenuta tramite il bracciale Empatica E4 wristband. Questo ha fornito informazioni sugli IBI, sul volume sanguigno (BVP) e movimenti del polso tramite accelerometro. Il BVP è stato utilizzato per ricavare la frequenza cardiaca, mentre l'accelerometro è stato utilizzato per monitorare la presenza di artefatti di movimento. I valori di frequenza cardiaca considerati riflettevano i 10 secondi prima dello sparo. È stata calcolata anche la frequenza cardiaca slope (FCslope) per descrivere l'andamento nel tempo della frequenza cardiaca nei 10 secondi prima dello sparo. Si tratta di un coefficiente di regressione lineare il cui valore positivo suggerisce un'accelerazione cardiaca (aumento della frequenza cardiaca), mentre un valore negativo suggerisce una decelerazione (diminuzione della frequenza cardiaca).

#### *3.2.5.3. Tipo di bersaglio*

Per la prova sono stati utilizzati tre bersagli: due rappresentavano le configurazioni dell'illusione di Delboeuf, mentre il terzo era un bersaglio standard utilizzato nelle

competizioni di tiro a segno (figura 16C). L'obiettivo era quello di evidenziare differenze nella prestazione in relazione all'illusione presentata.

#### *3.2.5.4. Anni di pratica*

Ciascun partecipante ha compilato, prima dell'esecuzione della prova, un questionario in cui inserire dati anagrafici e informazioni riguardanti l'ambito di tiro. Gli anni di pratica riportati dagli atleti avevano lo scopo di descrivere il livello di esperienza nel tiro a segno.

#### *3.2.5.5. Stanchezza e tensione*

I livelli di stanchezza e tensione sono stati stimati dagli atleti con un questionario auto valutativo. Le informazioni ottenute sono state utilizzate per capire se queste variabili potessero influenzare la prestazione e la frequenza cardiaca.

### **3.2.6. Analisi statistiche**

Sono state eseguite delle analisi descrittive sulla frequenza cardiaca e la prestazione. Per ciascun partecipante è stata calcolata la media della FCpre e la FCslope di ogni sparo. Inoltre, è stata calcolata la media della prestazione per ogni atleta.

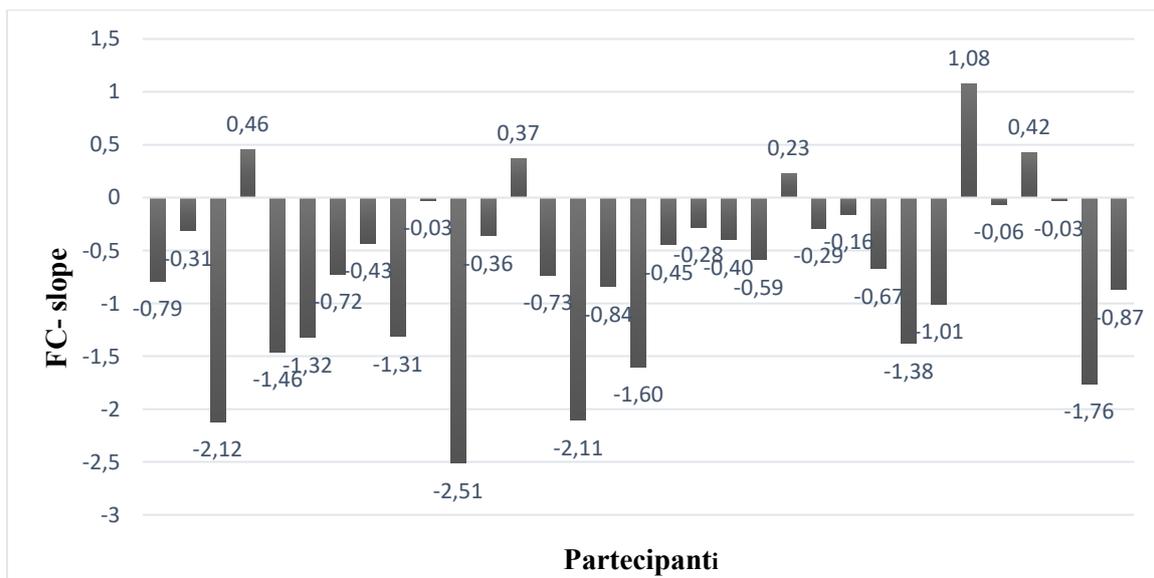
Per verificare se la frequenza cardiaca e la prestazione erano costanti nel tempo, cioè con il susseguirsi degli spari, sono state eseguite delle correlazioni tra FCpre, FCslope, prestazione e il numero degli spari (da 1 a 30). Come analisi di controllo, sono state eseguite delle analisi di correlazione di Spearman tra stanchezza e tensione e la frequenza cardiaca e la prestazione. Questo aveva lo scopo di escludere una possibile influenza di stanchezza e tensione nella frequenza cardiaca e nella prestazione.

Infine, è stato calcolato un modello misto lineare con il metodo della massima verosimiglianza limitata (REML) con la media della distanza (la prestazione) come variabile dipendente e come predittori la FCpre, il tipo di bersaglio, gli anni di pratica e

l'interazione tra FCpre e le altre variabili. I predittori sono stati aggiunti uno alla volta al modello nullo e ciascun modello è stato comparato al precedente tramite il criterio di verosimiglianza (livello di significatività corrispondente a  $p < 0,05$ ) e confrontando i valori di AIC (Akaike Information Criterion) (Wagenmakers & Farrell, 2004). Tutte le analisi statistiche sono state svolte tramite il software Rstudio 4.3.1 (R core team, 2023).

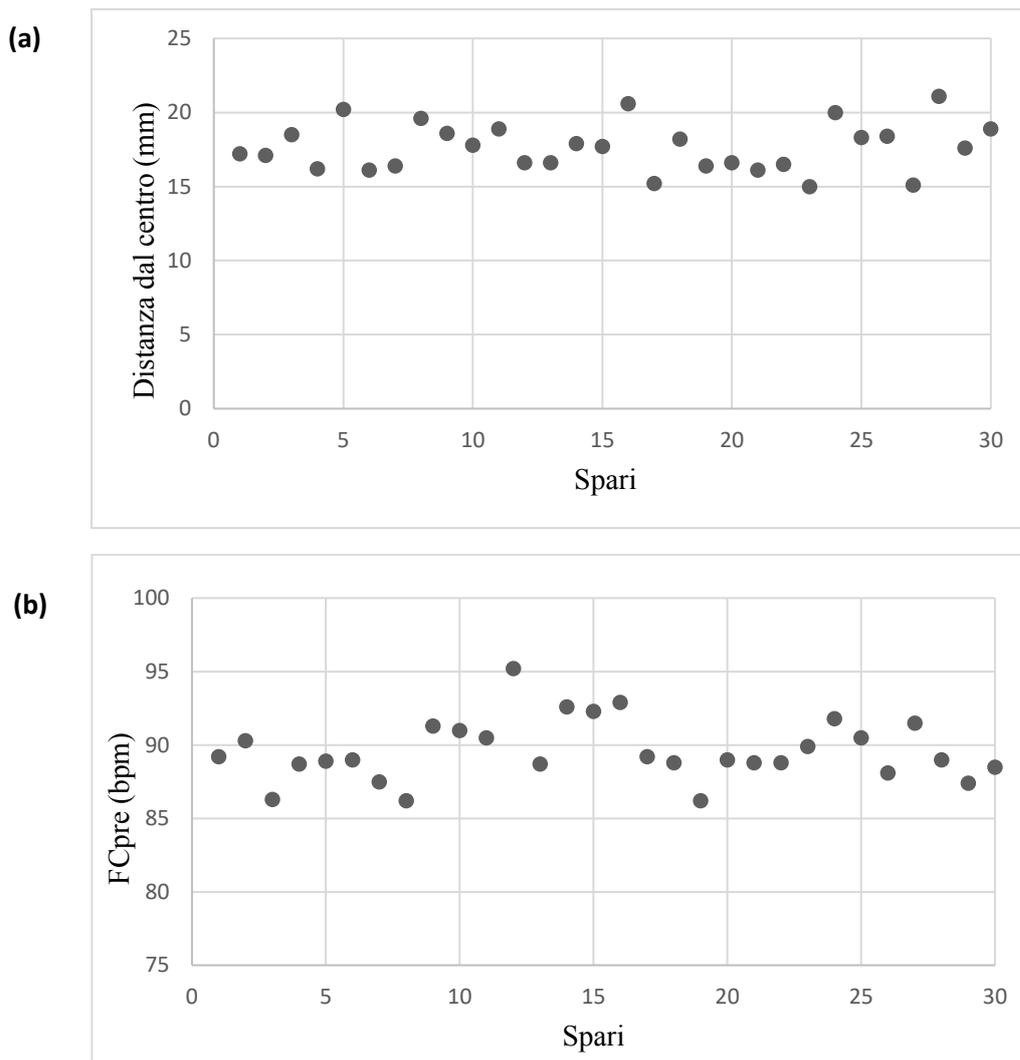
### 3.3. Risultati

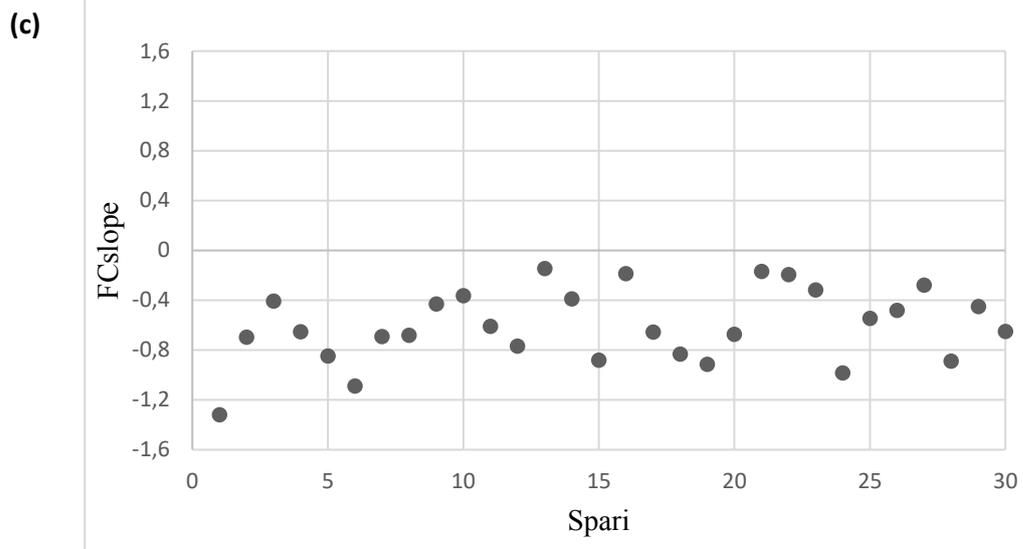
In media, la distanza tra il foro e il centro del bersaglio misurava 17,79 mm (DS = 10,87 mm). La media della distanza per ogni tipo di bersaglio era di 18,49 mm (DS = 10,46 mm) per il bersaglio A, 17,89 mm (DS = 9,67 mm) per il bersaglio B e 17,22 mm (DS = 10,53 mm) per il bersaglio C (bersaglio standard). La media del campione totale di FCpre era di 90bpm (DS = 18,3 bpm) e la media della FCslope era -0,6 (DS = 1,4 bpm), suggerendo che nel complesso i partecipanti hanno mostrato una decelerazione cardiaca nei 10 secondi prima degli spari. La figura 17 mostra la distribuzione delle medie di ciascun partecipante della FCslope.



**Figura 17.** Medie di ogni partecipante della Feslope (andamento lineare della frequenza cardiaca) nei 10 secondi prima degli spari. Valori negativi indicano una decelerazione cardiaca, mentre valori positivi indicano una accelerazione cardiaca.

Le analisi di correlazione hanno mostrato che la distanza dal centro, la FCpre e la FCslope non variavano nel tempo (prestazione:  $r_s = 0,025$ ,  $p = 0,895$ ; FC pre:  $r_s = -0,008$ ,  $p = 0,966$ ; FC slope:  $r_s = 0,244$ ,  $p = 0,194$ ) (figura 18). Le correlazioni di Spearman non hanno mostrato alcuna correlazione significativa tra FCpre, FCslope e distanza dal centro e le variabili stanchezza e tensione (tabella 3).





**Figura 18.** Scatterplot che rappresentano l'andamento di prestazione, FCpre e FCslope nel tempo. Il grafico (a) rappresenta i valori della prestazione (misurati come distanza dal centro) al procedere degli spari. Il grafico (b) rappresenta le variazioni di FCpre nel tempo. Il grafico (c) raffigura la FCslope al procedere degli spari.

**Tabella 3.** Coefficienti di correlazione ( $r_s$ ) e p-values ( $p$ ) ottenuti dalle analisi di correlazione di Spearman effettuate tra FCpre, FCslope, Distanza e Stanchezza, Tensione.

Analisi di correlazione	Coefficiente correlazione ( $r_s$ )	di	P- values ( $p$ )
FCslope / Stanchezza	$r_s = -0,28$		$p = 0,114$
FCslope / Tensione	$r_s = -0,003$		$p = 0,987$
FCpre / Stanchezza	$r_s = 0,23$		$p = 0,199$
FCpre / Tensione	$r_s = -0,002$		$p = 0,993$
Distanza / Stanchezza	$r_s = -0,23$		$p = 0,134$
Distanza / Tensione	$r_s = 0,24$		$p = 0,133$

Il modello lineare misto ha mostrato un livello di significatività solo dopo aver incluso gli anni di pratica dei partecipanti ( $\chi^2(1) = 5.18$ ,  $p = 0,02$ ). Tuttavia, l'AIC era di 0.9, non differiva particolarmente dall'AIC del modello nullo (0,77). Di conseguenza, gli anni di esperienza predicavano la prestazione ( $B = -0,21$  (0,09) mm, 95 % CI = [-0,39, -0,03] mm) e, nello specifico, maggiori erano gli anni di esperienza, minore era la distanza tra il foro e il centro del bersaglio. Al contrario, la prestazione non era significativamente associata né alla FCpre, né al tipo di bersaglio (tabella 4).

**Tabella 4.** Risultati dei modelli di regressione lineare a effetti misti con la prestazione (distanza in mm tra il foro e il centro del bersaglio) come variabile dipendente. B = coefficiente di regressione non standardizzato, SE = errore standard, CI = intervalli di confidenza, t = test statistic.

	Model 1			Model 2			Model 3		
	B (SE)	95% CI	t	B (SE)	95%	t	B (SE)	95% CI	t
(Intercept)	17,02 (1,28)	14,50 – 19,53	13,30	17,05 (1,20)	14,69 – 19,41	14,17	7,30 (1,34)	14,67 – 19,9 3	12,91
FC pre (bpm)	0,07 (0,10)	-0,13 – 0,27	0,71	0,07 (0,10)	-0,13 – 0,27	0,71	0,07 (0,10)	-0,13 – 0,27	0,67
Anni di esperienza				-0,21 (0,09)	-0,39 – -0,03	-2,30	-0,21 (0,09)	-0,39 – -0,03	-2,29
Tipo di bersaglio [B]							-0,56 (1,03)	-2,57 – 1,46	-0,54
Tipo di bersaglio [C]							-0,20 (1,02)	-2,20 – 1,80	-0,19
<i>Effetti random</i>									
$\tau_{00}^2$	47,85 sogg.			41,57 sogg.			41,58 sogg.		
$\sigma^2$	122,62			122,61			122,78		

### 3.4. Discussione

Il presente studio si proponeva di indagare i pattern cardiaci prima dell'esecuzione degli spari nel tiro a segno, nonché di valutare se le variazioni della frequenza cardiaca potessero influenzare la prestazione finale. Per quanto riguarda l'illusione ottica proposta, lo scopo è stato quello di valutare se l'illusione di Delboeuf potesse avere un impatto sulla prestazione e sulla risposta cardiaca.

La letteratura precedente ((Boutcher e Zinsser, 1990; Guru et al., 2020; Neumann e Thomas, 2011; Radlo et al., 2002) ha evidenziato una decelerazione cardiaca prima

dell'esecuzione dei gesti motori negli sport di precisione e un miglioramento della prestazione in funzione di una frequenza cardiaca minore rispetto ai valori di *baseline* iniziali. Lo studio delle illusioni ottiche (Chauvel et al., 2015; Witt et al., 2012) ha mostrato un'influenza della percezione dell'illusione sulla prestazione portando ad un miglioramento del risultato finale.

Tuttavia, i risultati del presente studio solo parzialmente sono in linea con gli studi in letteratura. Come osservato dalle analisi della FCslope, nel complesso, gli atleti hanno mostrato una diminuzione della frequenza cardiaca prima della prestazione. La prestazione, tuttavia, non è risultata essere correlata in maniera significativa alla frequenza cardiaca prima dello sparo (FCpre). Quindi, nel presente studio, non sono stati identificati dei pattern cardiaci che distinguessero le migliori prestazioni da quelle peggiori. Risultati simili sono emersi dallo studio condotto da Kontinen et al. (1998) eseguito su sparatori, in cui una decelerazione cardiaca non ha favorito una prestazione ottimale. Gli autori hanno ipotizzato che i livelli di attivazione riscontrati negli atleti potevano aver influenzato l'esito dello sparo in maniera negativa. Infatti, in un compito in cui è necessario mantenere una posizione stabile, elevati livelli di attivazione potrebbero influenzare negativamente la prestazione. Lo studio condotto da Salazar et al. (1990) ha invece evidenziato un'accelerazione cardiaca prima del rilascio della freccia nel tiro con l'arco. In questo caso la mancanza di una decelerazione prima della prestazione è stata imputata a un peso eccessivo dell'arco (14-22 kg) e alla necessità di tenere la corda alla massima estensione. La medesima situazione si è verificata nello studio di Hatfield et al. (1984) in cui il fucile impugnato dagli atleti (7,7 kg) è stato considerato eccessivamente pesante per determinare una riduzione della FC media prima dello sparo. I risultati emersi dallo studio di Cooke et al. (2014) hanno, invece, mostrato una correlazione tra decelerazione cardiaca e livelli di esperienza nel golf *putting* (esperti

vs principianti), mentre la prestazione (buona prestazione vs cattiva prestazione) non è risultata essere correlata ad una decelerazione cardiaca.

Inoltre, l'illusione di Delboeuf mostrata nei bersagli di tiro, non ha influenzato la prestazione dei partecipanti. Non esistono studi in letteratura che abbiano utilizzato questa illusione in ambito sportivo per migliorare i risultati di tiro, dunque non è possibile confrontare tale risultato con quello di altri studi eseguiti in precedenza. Tuttavia, è stata indagata una simile illusione di grandezza, l'illusione di Ebbinghaus nel golf. Lo studio di Maquestiax e suoi collaboratori (2021) ha riscontrato criticità sull'effettiva influenza dell'illusione sulla prestazione. I partecipanti, a cui era mostrata l'illusione sulle buche da golf, non hanno percepito l'effetto dell'illusione e di conseguenza hanno ottenuto risultati negativi nel tiro della pallina. Secondo gli autori, questi risultati possono essere l'esito di una mancanza di effetto dell'illusione stessa, in quanto la configurazione potrebbe non aver generato distorsioni di grandezza. Nel presente studio, per verificare che l'illusione di Delboeuf fosse effettivamente percepita dai partecipanti, è stato chiesto loro di disegnare la dimensione del cerchio interno dalla postazione di tiro. Inoltre, la procedura potrebbe non essere stata idonea per la stima delle dimensioni del bersaglio: nella procedura sperimentale prevista dal mio studio, la distanza da cui gli atleti hanno eseguito gli spari è stata di 10 metri. Questa distanza potrebbe essere eccessiva affinché l'illusione di Delboeuf venga realmente percepita e crei una percezione della dimensione del cerchio centrale come maggiore.

In linea con le aspettative iniziali e con la letteratura (Neumann & Thomas, 2011; Boutcher & Zinnser, 1990), gli anni di esperienza al tiro a segno erano significativamente correlati all'esito della prestazione. In altre parole, i risultati hanno mostrato una maggiore precisione dei tiri in funzione degli anni dedicati alla pratica del tiro a segno.

### **3.4.1. Limiti dello studio e prospettive future**

L'assenza di relazioni significative tra le variabili potrebbe essere dovuta ad alcune limitazioni legate alla metodologia adottata nel presente studio. In primis, il campione di partecipanti era caratterizzato da un'ampia variabilità sia in termini di età, che oscillava tra i 10 e i 76 anni, sia in termini di categorie (14 tiratori rientravano nella categoria "junior", 26 nella categoria "senior" e solo 5 erano tiratori amatoriali). Tuttavia, non è stato possibile distinguere i partecipanti per categorie ed eseguire analisi statistiche "tra i gruppi" dal momento che gli eventuali gruppi di partecipanti avrebbero avuto una numerosità campionaria poco numerosa e non paragonabile tra di loro.

Il bracciale Empatica E4 wristband è uno strumento portatile ed ecologico pensato per fornire la possibilità agli atleti di monitorare in autonomia i propri indici fisiologici direttamente sul campo (durante l'allenamento o le gare). Visionando i valori di frequenza cardiaca è possibile lavorare sulla gestione delle proprie risposte fisiologiche e trovare una frequenza cardiaca ideale al compito che si sta svolgendo. Tuttavia, tale strumento, in termini di accuratezza, non fornisce dei valori paragonabili a quelli dell'ECG. Il segnale registrato nel presente studio non era completamente pulito e alcuni segmenti del tracciato (cioè, degli intervalli pre-sparo di 10 secondi) sono stati esclusi dalle analisi per il numero eccessivo di artefatti (N = 176, 18%). D'altra parte, l'utilizzo di strumenti meno ecologici come l'ECG, che prevede l'applicazione di elettrodi, rende più complesso per l'atleta il monitoraggio istantaneo dei propri valori di FC.

Per gli obiettivi dello studio è stato modificato il bersaglio che viene normalmente utilizzato nel tiro a segno e questo potrebbe aver modificato la strategia di mira dei partecipanti. Ad esempio, gli atleti di tiro a segno potrebbero utilizzare come riferimento il cerchio nero nel bersaglio standard. Con l'applicazione dell'illusione di Delboeuf nel

bersaglio questi punti di riferimento potrebbero essere venuti meno portando a un peggioramento della prestazione rispetto al normale e portando gli atleti a utilizzare strategie diverse per riuscire nel compito. Questo potrebbe aver in qualche modo impedito di misurare i livelli di prestazione reali dei partecipanti e aver contribuito a mascherare eventuali effetti significativi nelle analisi condotte nel presente studio.

Un ulteriore limite dello studio potrebbe essere legato alla distanza dalla quale è stata mostrata l'illusione di Delboeuf (10 metri). Maquestiax e suoi collaboratori (2021, 2023) hanno presentato l'illusione di Ebbinghaus a dei golfisti alle prime armi. Inizialmente è stata presentata a una distanza di 3,5 metri e successivamente a 2 metri. In entrambi i casi non sono stati osservati effetti significativi in termini di prestazione. Secondo gli autori, questo poteva essere dovuto a una assenza di percezione dell'illusione. La buca da golf, la cui dimensione percepita dovrebbe essere stata modificata dall'illusione di Ebbinghaus, in realtà era stata percepita come di normali dimensioni. Solo riducendo la distanza a 1 metro l'illusione è stata visualizzata correttamente e i risultati di tiro sono migliorati. In effetti, nel presente studio è emerso che i partecipanti non avevano percepito l'illusione di Delboeuf come normalmente ci si aspetterebbe. Da delle analisi di controllo, è emerso che il bersaglio che avrebbe dovuto avere dimensioni maggiori è stato disegnato su Microsoft Paint come più piccolo rispetto all'altra configurazione dell'illusione. Dunque, la distanza da cui gli atleti hanno sparato, potrebbe essere stata troppo grande per garantire la corretta percezione dell'illusione. Ad oggi non sembrano esistere studi che abbiano indagato se la sensibilità alle illusioni di grandezza varia in funzione della distanza degli stimoli (e di conseguenza della dimensione dell'immagine retinica degli stessi). Tuttavia, non è stato possibile modificare né la distanza di tiro (per limitazioni legati alla struttura del poligono di tiro e per non alterare la prassi di tiro degli sportivi), né la dimensione del bersaglio nel tentativo di rendere

l'illusione più visibile (questo avrebbe impedito di raccogliere la genuina prestazione dei partecipanti). In futuro, si potrebbe testare una illusione di grandezza che non si basi sul contrasto ma piuttosto su indizi pittorici di profondità. Gli indizi sulla distanza conferirebbero una dimensione maggiore all'oggetto percepito come più lontano e una dimensione minore all'oggetto percepito come più vicino. Dunque, l'utilizzo di due bersagli identici, ma che sfruttano indizi di profondità, potrebbe portare ad una effettiva percezione dell'illusione utilizzata.

### **3.4.2. Conclusioni**

Questo studio si poneva l'obiettivo di indagare le risposte psicofisiologiche che precedono l'esecuzione del gesto motorio e di valutare l'effetto dell'illusione di Delboeuf sulla prestazione di tiro a segno. I risultati sono stati incoraggianti per quanto riguarda le misure di frequenza cardiaca, confermando di fatto una decelerazione cardiaca nei 10 secondi prima dello sparo. Tuttavia, non è stata osservata alcuna relazione significativa tra i valori di frequenza cardiaca e gli esiti della prestazione. Non è stato quindi possibile individuare un pattern di frequenza cardiaca specifico per le prestazioni ottimali nel tiro a segno. Allo stesso modo la presenza dell'illusione di Delboeuf non ha avuto un impatto significativo sulla prestazione, probabilmente dovuto all'assenza di percezione dell'illusione stessa da parte dei partecipanti. Studi futuri potrebbero approfondire lo studio delle illusioni di grandezza negli sport di precisione e il loro effetto nelle risposte fisiologiche degli atleti. Lo studio delle illusioni ottiche può, infatti, aumentare le conoscenze nell'ambito della psicologia dello sport per allenare gli atleti nel compito di mira migliorando di conseguenza gli esiti di prestazioni sportive.

## Bibliografia

- Abernethy, B., Burgess-Limerick, R., & Parks S. (1994). Contrasting approaches to the study of motor expertise. *Quest, 46, 186-198*.
- Abernethy, B. (2001). Attention. In R. N. Singer, H. A. Hausenblas, & C.M. Janelle (Eds.), *Handbook of sport psychology* (pp. 53-85). New York, NJ: Wiley.
- Abernethy, B., Maxwell, J. P., Masters, R. S. W., Van der Kamp, J., & Jackson, R. C. (2007). Attentional processes in skill learning and expert performance. In G. Tenenbaum & R. C. Eklund (Eds.), *Handbook of sport psychology* (pp. 245-263). New Jersey, NJ: Wiley.
- Arexis, M., & Maquestiaux, F. (2023). Visual illusions influence proceduralized sports performance. *Psychonomic bulletin & review, 30(1), 174–183*.
- Boutcher, S. H., & Zinsser, N. W. (1990). Cardiac deceleration of elite and beginning golfers during putting. *Journal of sport and exercise psychology, 12(1), 37–47*.
- Brewer, B. W. (A c. Di). (2009). *Sport psychology*. Wiley-Blackwell.
- Brunia, C. H. M. (1993). Waiting in readiness: Gating in attention and motor preparation. *Psychophysiology, 30(4), 327–339*.
- Chauvel, G., Wulf, G., & Maquestiaux, F. (2015). Visual illusions can facilitate sport skill learning. *Psychonomic bulletin & review, 22(3), 717–721*.
- Cooke, A. (2013). Readyng the head and steadyng the heart: A review of cortical and cardiac studies of preparation for action in sport. *International review of sport and exercise psychology, 6(1), 122–138*.

- Cooke, A., & Ring, C. (2019). Psychophysiology of sport, exercise, and performance: Past, present, and future. *Sport, exercise, and performance psychology*, 8(1), 1–6.
- Coon, D., Mitterer, J. O., Martini, T., Mastandrea, S., & Fagioli, S. (2020). *Psicologia generale*. UTET Università.
- Delboeuf J, 1865 "Seconde note sur de nouvelles illusions d'optique: Essai d'une théorie psycho-physique de la manière dont l'oeil apprécie les grandeurs" *Bulletins de l'académie royale des sciences, Lettres et beaux-arts de Belgique* 20 (2d serie) 70-97.
- Di Fronso, S., Bortoli, L., Mazzoni, K., Robazza, C., Bertollo, M., (2013). Monitoraggio psicofisiologico nello sport. *Giornale italiano di psicologia dello sport*. (16), 17-25.
- Di Fronso, S. D., Robazza, C., Bortoli, L., & Bertollo, M. (2017). Performance optimization in sport: A Psychophysiological approach. *Motriz: Revista de educação física*, 23(4).
- Ferguson, S., Smith, B., Browne, M., & Rockloff, M. (2016). Fatigue in emergency services operations: Assessment of the optimal objective and subjective measures using a simulated wildfire deployment. *International journal of environmental research and public health*, 13(2), 171.
- Gallwey, T.W. (1981). *The inner game of golf*. New York : Random House.
- Gentaz, E., & Hatwell, Y. (2004). Geometrical haptic illusions: The role of exploration in the Müller-Lyer, vertical-horizontal, and Delboeuf illusions. *Psychonomic bulletin & review*, 11(1), 31–40.

- Gould, D., & Krane, V. (1992). The arousal–athletic performance relationship: Current status and future directions. In T. S. Horn (Ed.), *Advances in sport psychology* (pp. 119–142). Human kinetics publishers.
- Gorgulu, R. (2019). An examination of ironic effects in air-pistol shooting under pressure. *Journal of functional morphology and kinesiology*, 4(2), 20.
- Gregory, R. (2008). Emmert’s Law and the moon illusion. *Spatial vision*, 21(3–5), 407–420.
- Gregory, R. L. (1997). Knowledge in perception and illusion. *Philosophical transactions of the Royal society of London. Series B: Biological Sciences*, 352(1358), 1121–1127.
- Guru, C. S., Krishnan, A., Mahajan, U., & Sharma, D. (2020). Heart rate values during shooting is a field-side performance analysis tool in archery-a study of elite indian archers. *International journal of sport studies for health*, 3(1).
- Hatfield, BD., Landers, D.L., & Ray, W.J. (1987). Cardiovascular – CNS interactions during a self- paced, intentional state: Elite marksmanship performance. *Psychophysiology*, 24, 542-549.
- Howe, C. Q., & Purves, D. (2005). The Müller-Lyer illusion explained by the statistics of image–source relationships. *Proceedings of the national academy of sciences*, 102(4), 1234–1239.
- Hurst, J. W. (1998). *Naming of the waves in the ECG, with a brief account of their genesis*. *Circulation*, 98(18), 1937–1942.
- Jaeger, T. (1978). Ebbinghaus illusions: Size contrast or contour interaction phenomena? *Perception & Psychophysics*, 24(4), 337–342.

- Kaufmann, T., Sütterlin, S., Schulz, S., & Vögele, C. (2011). ARTiiFACT: A tool for heart rate artefact processing and heart rate variability analysis. *Behavior research methods*, 43, 1161–1170.
- Keast, D., & Elliott, B. (1990). Fine body movements and the cardiac cycle in archery. *Journal of sports sciences*, 8(3), 203–213.
- Kirsch, W., & Kunde, W. (2021). On the origin of the Ebbinghaus illusion: The role of figural extent and spatial frequency of stimuli. *Vision research*, 188, 193–201.
- Kontinen, N., Lyytinen, H., & Viitasalo, J. (1998). Preparatory heart rate patterns in competitive rifle shooting. *Journal of sports sciences*, 16(3), 235–242.
- Lacey, B. C., & Lacey, J. I. (1974). Studies of heart rate and other bodily processes in sensorimotor behavior. In P. A. Obrist, A. H. Black, J. Brener, & L. V. DiCara (Eds.), *Cardiovascular psychophysiology: Current issues in response mechanisms, biofeedback and methodology* (pp. 538–564). Aldine Transaction.
- Lacey, B. C., & Lacey, J. I. (1980). Cognitive modulation of time-dependent primary bradycardia. *Psychophysiology*, 17, 209 e 221.
- Mancevska, S., Gligoroska, J. P., Todorovska, L., Dejanova, B., & Petrovska, S. (2016). Psychophysiology and the sport science. *Research in physical education, sport and health*.
- Maquestiaux, F., Arexis, M., Chauvel, G., Ladoy, J., Boyer, P., & Mazerolle, M. (2021). Ebbinghaus visual illusion: No robust influence on novice golf-putting performance. *Psychological research*, 85(3), 1156–1166.
- Marchant, D. C., Carnegie, E., Wood, G., & Ellison, P. (2019). Influence of visual illusion and attentional focusing instruction in motor performance. *International journal of sport and exercise psychology*, 17(6), 659–669.

- Massaro, D. W., & Anderson, N. H. (1971). Judgmental model of the Ebbinghaus illusion. *Journal of experimental psychology*, *89*(1), 147–151.
- Maxwell, J. P., Masters, R. S. W., Kerr, E., & Weedon, E. (2001). The implicit benefit of learning without errors. *The quarterly journal of experimental psychology section A*, *54*(4), 1049–1068.
- McCorry L. K. (2007). Physiology of the autonomic nervous system. *American journal of pharmaceutical education*, *71*(4), 78.
- Neumann, D. L., & Thomas, P. R. (2011). Cardiac and respiratory activity and golf putting performance under attentional focus instructions. *Psychology of sport and exercise*, *12*(4), 451–459.
- Obrist, P. A. (1981). *Cardiovascular psychology: a perspective*. New York, NJ: Plenum Press.
- Pressey, A. W. (2014). Assimilation theory, attention, and asymmetry in Müller-Lyer Illusions: Quantitative predictions. *Perceptual and motor skills*, *119*(2), 509–529.
- Radlo, S.J., Steinberg, G.M., Singer, R.N., Barba, D.A., & Melnikov, A. (2002). The influence of an attentional focus strategy on alpha brain wave activity, heart rate, and dart-throwing performance. *International journal of sport psychology*, *33*, 205-217.
- Rueda, C., Larriba, Y., & Lamela, A. (2021). The hidden waves in the ECG uncovered revealing a sound automated interpretation method. *Scientific reports*, *11*(1), 3724.

- Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S.J., Crews, D.J., Kubitz, K.A., & Han, M. (1990). Hemispheric asymmetry, cardiac response, and performance in elite archers. *Research quarterly for exercise and sport*, *61*, 351-359.
- Saneyoshi, A. (2018). The Ebbinghaus illusion with small inducers appears larger on the right side. *Experimental brain research*, *236*(4), 933-944.
- Santacà, M., & Agrillo, C. (2020). Perception of the Müller-Lyer illusion in guppies. *Current zoology*, *66*(2), 205-213.
- Shim, J., Van Der Kamp, J., Rigby, B. R., Lutz, R., Poolton, J. M., & Masters, R. S. W. (2014). Taking aim at the Müller-Lyer goalkeeper illusion: An illusion bias in action that originates from the target not being optically specified. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, *40*(3), 1274-1281.
- Singer, R. N. (1986). Sports performance: A five-step mental approach. *Journal of physical education, recreation & dance*, *57*(4), 82-85.
- Skora, L. I., Livermore, J. J. A., & Roelofs, K. (2022). The functional role of cardiac activity in perception and action. *Neuroscience & biobehavioral reviews*, *137*, 104655.
- Tremayne, P., & Barry, R. J. (2001). Elite pistol shooters: Physiological patterning of best vs. worst shots. *International journal of psychophysiology*, *41*(1), 19-29.
- Van Der Kamp, J., & Masters, R. S. W. (2008). The human Müller-Lyer illusion in goalkeeping. *Perception*, *37*(6), 951-954.
- Witt, J. K., Linkenauger, S. A., & Proffitt, D. R. (2012). Get me out of this slump! Visual illusions improve sports performance. *Psychological science*, *23*(4), 397-399.
- Wulf, G. (2007). Attentional focus and motor-learning: a review of 10 years of

research.

