



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**DIPARTIMENTO DI PSICOLOGIA GENERALE**

**LAUREA MAGISTRALE IN PSICOLOGIA COGNITIVA APPLICATA**

**L'IMPATTO DELLE ILLUSIONI OTTICHE NELLA  
PERFORMANCE SPORTIVA: UNO STUDIO SULL'ILLUSIONE DI  
DELBOEUF NEL TIRO A SEGNO.**

**Impact of visual illusions in sport performance: a study on Delboeuf illusion in shooting sports**

**Relatore:** Prof. Christian Agrillo

**Laureanda:** Foralosso Maristella

**Matricola:** 2023131

Anno Accademico: 2021/2022

# Indice:

<b>Introduzione</b> .....	1
<b>1)Le illusioni in contesti pratici</b> .....	5
<b>2)Le illusioni nello sport</b> .....	17
2.1L'illusione di Muller-Lyer nel calcio.....	18
2.2 L'illusione di Ebbinghaus nello sport.....	20
<b>3)Lo studio</b> .....	26
3.1 Introduzione.....	26
3.2 Metodi.....	28
3.2.1 Partecipanti.....	28
3.2.2 Compito.....	29
3.2.3 Strumentazione.....	29
3.2.4 Procedura.....	30
3.2.5 Le variabili registrate.....	31
3.2.5.1 Performance.....	31
3.2.5.2 Correlati psicofisiologici: BVP e Hr.....	32
3.2.5.2.1 Elaborazione del segnale.....	32
3.3 Analisi statistiche e risultati.....	33
3.3.1 Performance.....	33
3.3.2 Dati fisiologici.....	42
3.4 Discussione dei risultati.....	44
3.5 Limiti della ricerca e implicazioni per i futuri studi.....	46
3.6 Conclusioni .....	49

## Fonti

## INTRODUZIONE

Lo scopo di questa trattazione è quello di esplorare il possibile impatto delle illusioni ottiche nella performance sportiva, in particolare nel tiro a segno, e saranno trattati temi di psicologia cognitiva, psicologia dello sport e psicofisiologia.

Il termine illusione deriva dal latino Illusio-onis e significa, letteralmente errore o scherno. Nei manuali di psicologia generale l'illusione viene spesso definita come il risultato dell'apprendimento percettivo (Roncato, 2017 e Piaget, 1993). Essa dipende da una interpretazione del sistema neurocognitivo associato alla visione della stimolazione fisica. Esistono, al momento, diversi modi per classificare le illusioni. Tra queste, Coon e Mitterer hanno suddiviso le illusioni in tre principali categorie:

1. Ottiche in senso stretto: l'immagine creata è differente da quella reale dell'oggetto ed è il risultato di fenomeni puramente ottici, cioè non dipende dalla fisiologia umana. Un esempio possono esserne i miraggi o gli effetti di riflessione e rifrazione del suolo dovuti al calore.
2. Percettive: dipendono, invece, dalla fisiologia dell'occhio umano (ne sono un esempio le immagini residue);
3. Cognitive: dovute ad un'interpretazione errata degli stimoli, come possono essere i paradossi prospettici o le figure impossibili.

Nel 1997 Gregory pubblicò l'articolo "Visual Illusions Classified" fornendo uno strumento utile ad identificare e suddividere le illusioni visive. Gregory ha impostato il suo lavoro partendo dalle affermazioni di Helmholtz secondo le quali ciò che ci è ambiguo trova risoluzione a partire dalla nostra conoscenza oppure grazie a supposizioni che sono il risultato di inferenze induttive inconsce. Secondo questa visione, quindi, la percezione sarebbe il risultato di ipotesi che hanno lo scopo di predire e spiegare le caratteristiche insensate di un oggetto e l'immediato futuro.

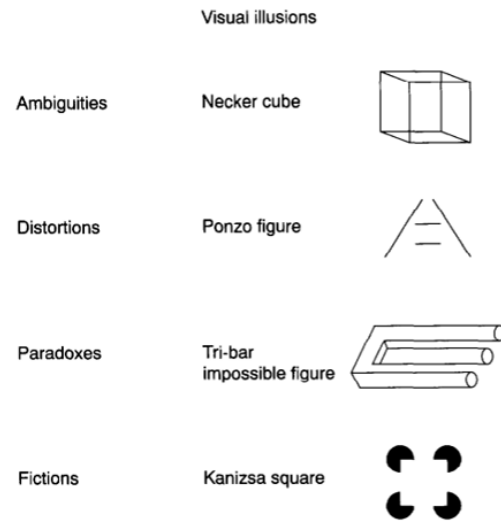
Partendo da questa premessa Gregory afferma che esistono due tipologie di fenomeni illusori: una derivante da cause fisiche o fisiologiche e l'altra derivante da cause cognitive, essendo cioè il risultato di un'applicazione errata della conoscenza. L'autore ipotizza che le possibili cause di un'illusione visiva si possano suddividere in quattro classi dove le prime due rientrano nella prima tipologia prima descritta, mentre le seconde due nella seconda.

Tra le prime due cause abbiamo le illusioni causate da un disturbo ottico che interviene tra l'oggetto e la retina, la seconda invece riguarda le illusioni che sono il risultato di un disturbo fisiologico a livello dell'occhio o del cervello.

Le seconde due sono invece l'applicazione di una conoscenza fuorviante dell'oggetto oppure l'applicazione di regole generali fallaci (entrambe ricadono nelle cause cognitive).

Sempre nello stesso articolo Gregory tenta di suddividere le illusioni visive secondo il modo in cui esse appaiono, e le richiude in 4 tipologie che sono: ambiguità, distorsioni, paradossi e finzioni.

Fig. 1 Le 4 classi di illusioni visive (Gregory, 1997)



Classes	(Physical)		(Cognitive)	
	Optics	Signals	Rules	Objects
Ambiguity	Cataract, mist, fog, (any loss of image quality)	Retinal rivalry, aberrant stimulation (e.g. pressure on eye)	Figure-ground (usually set by Gestalt Laws of closure, etc.)	Necker cube, face-vase, Schroder staircase, Mach corner, hollow face
Distortion	Astigmatism, spoon-in-water, lateral inhibition effects (such as brightness and colour contrast)	Fraser spiral, café wall, Pulfrich pendulum (stereo-depth)	Ponzo, Müller-Lyer, Poggendorff, Hering, vertical-horizontal (?), moon-illusion (?) (perception-depth)	Size-weight (small object feeling heavier than larger object of same weight)
Paradox	Looking-glass (one's image in wrong place, self in two places at once)	Rotating spiral after-effect (expanding or contracting, yet staying same size)	Tri-bar, Penrose triangle, Escher's 'Belvedere', 'Waterfall', etc.	Magritte mirror (back of head seen reflected, instead of face)
Fiction	Rainbows, moiré patterns	After-images, Mach's bands, Benham's disk (colour)	Kanizsa triangle, Schumann (illusory contours and surfaces)	Faces-in-the-fire, man-in-the-moon, galleons in clouds, ink blots

Fig. 2 Esempi di illusioni (Gregory, 1997)

I primi studi sulle illusioni potrebbero essere fatti risalire addirittura ai tempi di Aristotele, con le sue osservazioni del fenomeno della "illusione della cascata", nome coniato da lui stesso. L'illusione della cascata non è altro che quel fenomeno per il quale se si osserva un oggetto in movimento per poi spostare lo sguardo su un oggetto che non si muove, anch'esso ci sembrerà muoversi. Sarà però solo nel XIX secolo che le illusioni diverranno un vero e proprio oggetto di studio e di particolare rilevanza saranno la scoperta del fenomeno del Phi e gli studi svolti dalla Gestalt sulla percezione che, come viene sottolineato anche dall'articolo di Gregori, è alla base del fenomeno illusorio.

Il fenomeno del Phi, così definito da Max Wertheimer, fondatore nonché uno dei più grandi esponenti della Gestaltpsychologie, è anche noto anche come persistenza percettiva degli oggetti e non è altro che la percezione

di movimento prodotta da una serie di stimoli visivi fissi presentati in successione. Tale fenomeno sarà infatti poi alla base dello sviluppo delle animazioni e del cinema.

Sebbene i pattern illusori sono stati studiati in contesti sperimentali per la conoscenza di base dei meccanismi percettivi, pare che in diversi contesti possano avere anche un impatto pratico nella vita di ogni giorno. Nel primo capitolo approfondiremo uno studio sulle illusioni nell'ambito della radiologia che Christopher E. Buckle, Viyan Udawatta, e Christopher M. Straus pubblicarono nel 2013, dove gli autori elencano sette diversi tipi di illusioni, a loro volta divisi in due categorie, che possono avvenire durante l'osservazione di una radiografia. Gli autori parlano di illusioni di sensazione (Bande di Mach e Background effect) quando esse derivano dalla conversione della luce che incide sulla retina e coinvolgono sia le parti più primitive del sistema nervoso centrale che l'occhio, oppure parlano di illusioni di percezione (figure ambigue, illusioni immaginarie, illusioni paradossali e distorsioni) quando l'illusione deriva da alterazioni e/o errori nel passaggio tra sensazione e percezione.

Verrà presentato anche lo studio pubblicato nel 2011 di Peter Thompson e Kyriaki Mikellidou che esplora invece l'impatto delle illusioni ottiche nella moda, dove gli autori presentano quattro esperimenti, i quali avevano lo scopo di verificare l'impatto dell'illusione di Helmholtz (quella secondo cui un quadrato composto da linee orizzontali appare più alto rispetto ad uno composto da linee verticali) nel vestiario, dimostrano che, sebbene la necessità di maggiori studi, indossare abiti a linee verticali non faccia sembrare più magri come da credenza comune, ma sia vero piuttosto il contrario.

Interessanti sono gli studi che indagano la pericolosità di alcuni tipi di illusione: per quanto riguarda i piloti di aviazione esistono due importanti pubblicazioni. Una delle due, a cura di Miguel Á. Sánchez-Tena, Cristina Alvarez-Peregrina, M. C. Valbuena-Iglesias e Pablo Ruisoto Palomera riporta che il 91,6% dei piloti di aerei riferiscono di aver avuto esperienza di illusioni ottiche durante i loro voli ed emerge, inoltre, che il 20% degli incidenti aerei avviene a causa di tali illusioni.

Lo studio di Clarence E. Rash (anno) indaga invece il fenomeno delle illusioni sui piloti di Apache AH-64, i quali erano muniti di elmetti con visore monoculare. Secondo quanto emerge dallo studio, tali elmetti, causavano ai piloti illusioni statiche ed illusioni dinamiche oltre ad altre problematiche come disorientamento ed emicranie. Entrambe gli studi verranno poi approfonditi all'interno del primo capitolo.

Per quanto riguarda, infine, le illusioni nello sport, nonché il centro di questa trattazione, affronteremo nel secondo capitolo la letteratura presente al momento sull'argomento, esponendo alcuni tra gli studi più importanti e rinomati, tra i quali gli studi sull'illusione di Müller-Lyer nel calcio e quella di Ebbinghaus nel golf.

Nel terzo capitolo verrà esposto lo studio protagonista di questa tesi che ha come scopo quello di indagare l'impatto della illusione di Delboeuf nei compiti di mira, in particolare nel tiro a segno. La ricerca è stata fatta in collaborazione con il Tiro a Segno Nazionale di Padova e ad essa hanno partecipato 40 soggetti.

Lo studio si concentrerà su due aspetti principali: l'impatto dell'illusione sulla performance dei tiratori e il ruolo della frequenza cardiaca media dei suddetti durante la prova. È proprio qui che entra in gioco il ruolo della psicofisiologia.

La psicofisiologia, secondo la definizione di A. Schell e M.E. Dawson (International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences, 2001) è una scienza che studia la relazione tra la mente ed il corpo. Gli stessi autori nominano, tra le misure psicofisiologiche più utilizzate, la frequenza cardiaca, la conduttanza cutanea e l'attività dei muscoli scheletrici. La psicofisiologia è una scienza relativamente giovane, di tipo interdisciplinare, caratterizzata da un approccio olistico (Cacioppo, Tassinary, & Berntson, 2007).

La nascita della psicofisiologia può essere fatta risalire tra la fine del Diciannovesimo secolo ed i primi anni del Ventesimo, grazie al contributo di scienziati come Charles Darwin, ma divenne una vera e propria disciplina scientifica nel 1960 con la formazione della "Society for Psychophysiological Research" (Cooke, Andrew; Ring, Christopher, 2019).

Fin dal principio la psicofisiologia è stata applicata allo sport con lo scopo di fornire strumenti adatti al miglioramento e alla migliore comprensione della performance sportiva, un esempio ne sono le ricerche volte allo studio del livello ottimale di arousal nella performance sportiva (Spence & Spence, 1966; Yerkes & Dodson, 1908). Di particolare interesse per questa trattazione sono, però, gli studi psicofisiologici che si concentrano sulla frequenza cardiaca. Nel lavoro di Lafarga e colleghi (2013), ad esempio, viene studiata la variazione della frequenza cardiaca in 22 judoka. Gli autori confrontarono la frequenza cardiaca rilevata da una baseline con quella rilevata dopo una performance che riproduceva una competizione di judo. Essi correlarono la differenza di Hr con la performance. I risultati dello studio evidenziano una correlazione positiva tra la HRV e la performance, e lo studio delle baseline sembrava indicare che un'attività più bassa a livello del sistema nervoso simpatico correlasse con una performance migliore. Una metodologia simile a quella utilizzata da Lafarga e colleghi è stata utilizzata nello studio al centro di questa trattazione, dove la frequenza cardiaca dei partecipanti è stata misurata prima della performance per ottenere una baseline e durante la performance stessa. La frequenza cardiaca media ottenuta dalle baseline è stata utilizzata poi nelle analisi e correlata con la performance dei partecipanti.

# 1. Le illusioni nei contesti pratici

## 2.1) Le illusioni nelle radiografie

Un interessante articolo pubblicato nel 2013 da C. E. Buckle e collaboratori espone e mette in luce l'importanza e la pericolosità delle illusioni ottiche nell'ambito della radiologia. Gli autori elencano sette tipi di illusioni diverse che possono avvenire durante l'osservazione e lo studio di una radiografia.

Il primo tipo di illusione descritta è quella di **sensazione**, coinvolta nel processo di conversione della luce incidente sulla retina nell'attività neurale e coinvolge sia l'occhio che le parti più primitive del sistema nervoso centrale. Fanno parte di questo fenomeno le Bande di Mach ed il Background Effect.

Per **Bande di Mach** si intendono delle fasce più chiare o più scure che si verificano a confine



Fig.3 Una radiografia al petto mostra una banda di Mach. (Christopher E. Buckle et al., 2013)

tra due elementi aventi densità ottiche o livelli di contrasto diversi. Questa illusione è il risultato di una forma di miglioramento della percezione del bordo risultante del lavoro di inibizione da parte dei neuroni bipolari della retina.

Tale effetto è piuttosto comune nelle radiografie ed è estremamente utile al fine di delimitare i confini di strutture anatomiche aventi una densità differente oppure per ottenere informazioni diagnostiche essenziali. Infatti la presenza di una Banda di Mach negativa o positiva può indicare la presenza o assenza di una massa od un nodulo. Un esempio ne è la presenza di una Banda di Mach positiva

tra le regioni centrali o periferiche di un polmone, che sta ad indicare la presenza di un nodulo.

Tuttavia c'è la possibilità che esse diano origine ad un "falso positivo". Ci sono infatti casi in cui una piega di pelle od un ammasso di grasso simulano la presenza di una frattura o, comunque, di un corpo estraneo che in realtà non c'è.

Quando si parla invece di **Background effect**, ci si riferisce ad una illusione dovuta alle varie gradazioni di grigio dello sfondo della radiografia, risultanti delle varie densità degli organi, che influiscono sulla percezione del colore della struttura che si sta osservando. Ad esempio un elemento a bassa densità, rappresentato

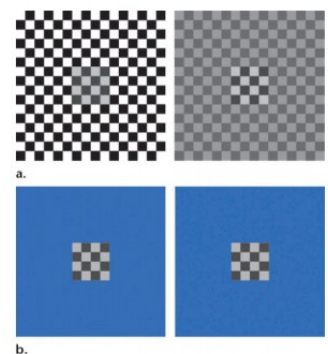


Fig.4 Background effect (Christopher E. Buckle et al., 2013)

da un grigio tenue, può apparire più scuro se lo sfondo è caratterizzato da colori ancora più chiari, e viceversa (fig.)

Tale illusione viene spesso sfruttata nelle risonanze a contrasto al fine di permettere un migliore riconoscimento e studio delle strutture che si vogliono osservare. Il Background effect è presente anche nelle radiografie, un chiaro esempio ne è la zona traslucida che appare attorno ai tumori al seno.

Un secondo tipo di illusione esposto dagli autori è quella di **percezione**. Gli autori definiscono la percezione come “*processo poco compreso riguardante l'interpretazione della realtà visiva dopo che è stata formata dalla sensazione*” (Buckle et al., 2013). Nel passaggio tra sensazione e percezione vi possono avvenire delle alterazioni che portano alla formazione delle illusioni percettive, le quali possono essere distinte in 4 categorie: figure ambigue, illusioni immaginare, illusioni paradossali e distorsioni.

Le **figure ambigue** sono quelle in cui vi possono essere più interpretazioni e tutte fondate, e dipendono da quali stimoli vengono scelti da soggetto come sfondo. Tali figure sono molto comuni in radiologia e sono la base di molti errori.

Le **illusioni immaginarie** avvengono invece quando si percepisce un oggetto che in realtà non esiste veramente e spesso in radiologia si incontrano effetti come contorni soggettivi o lesioni discutibili, dovuti proprio alle illusioni immaginarie.

I contorni soggettivi non sono altro che completamenti di forme geometriche che avvengono in maniera automatica, facendo pensare all'osservatore di aver riconosciuto una forma che in realtà non c'è. Tale effetto può essere ricondotto ai principi gestaltici di chiusura e buona continuazione.

Le lesioni discutibili sono invece illusioni nelle quali al soggetto sembra di riconoscere una lesione che in realtà non c'è.

Il terzo tipo di illusioni di percezione sono le **illusioni paradossali**, un fenomeno nel quale le immagini che si ottengono sono impossibili o contraddittorie. Esse non hanno una grande rilevanza medica, ma sono un fenomeno di cui tener conto.

Infine le **distorsioni** sono esagerazioni nella scala o nella dimensione di un oggetto imputabili agli oggetti che circondando lo stimolo in quel determinato contesto e sono il risultato di un'errata percezione delle relazioni spaziali tra gli oggetti. In radiografia ciò si traduce nel fatto che alcune lesioni o danni possono sembrare più grandi o più piccoli a seconda di ciò che le circonda.

Sempre nell'ambito delle radiografie Clarke e Macleod pubblicano nel 2013 uno studio nel quale riportano due casi nei quali delle illusioni nelle radiografie hanno fatto pensare alla presenza di carie quando non era realmente così. In particolare, nel primo caso, ad un paziente



di 44 anni del Newcastle Dental Hospital era stata individuata tramite radiografia una grande lesione cariosa ma, in seguito ad esami successivi, non era stato rilevato nulla del genere. Il secondo caso presenta caratteristiche simili, la radiografia presentava diverse radiolucenze che lasciavano intendere la presenza di carie che non erano poi state realmente trovate.

Secondo gli autori degli articoli tali luminescenze erano riconducibili alla mancanza di struttura dentale e non alla dissoluzione dello smalto causata dai batteri che causano le carie. La causa di tali errate letture delle radiologie può essere fatta risalire, anche in questo caso, alle bande di Mach, oppure al “cervical burnout”. Il cervical burnout è un fenomeno che causa una apparente radiolucenza a causa di particolari strutture anatomiche del dente e che può essere scambiato per una carie. Solitamente tale fenomeno svanisce quando ci si sposta ad esaminare uno strato differente della regione.

Anche in questo caso è necessari tener conto dell'utilizzo di programmi di miglioramento dell'immagine che possono a loro volta essere causa di lesioni discutibili o comunque di riprodurre la presenza di carie non realmente presenti.

## 2.2) Le illusioni nella navigazione stradale

Un interessante studio che riguarda le illusioni ottiche nella vita di tutti i giorni, in ambito completamente differente, è quello di Redelmeier e Raza (2018) che studia l'impatto di una particolare illusione ottica, la prospettiva aerea (o atmosferica) negli incidenti stradali potenzialmente letali.

Per prospettiva aerea si intende quel fenomeno secondo il quale all'allontanarsi di uno spettatore da un oggetto diminuisce il contrasto che quell'oggetto ha con lo sfondo, oltre a diminuire anche la saturazione dei colori e la nitidezza dei dettagli. Tale fenomeno è un effetto dovuto all'atmosfera (da qui il nome).

Secondo gli autori tale fenomeno, unito ad altri fattori come un giudizio fallace sulla distanza, una luce intensa che può far sembrare un orizzonte distante più vicino, ed un modesto aumento della velocità possono portare ad un aumento del rischio di incidente. Per sostenere tale tesi Redelemeier e Raza ci forniscono tre differenti studi.

In un primo studio 107 partecipanti dovettero giudicare la distanza di alcune palline stampate su un cartoncino, a cui era stata applicata la prospettiva aerea, dichiarando quale fosse la più vicina a quella rossa, scegliendo la risposta tra quattro scelte. Il 71% dei partecipanti malgiudicò il compito e diede la risposta errata e solo il 13% riuscì a dare la risposta corretta.

Nel secondo studio fu chiesto ai partecipanti di giudicare la distanza di tre macchine da una foto. Le condizioni erano due: nella prima la luce era chiara e brillante, nella seconda (la foto era stata modificata digitalmente) la luce era più soffusa.

I risultati mostrarono che nella seconda condizione i partecipanti tendevano a giudicare la macchina del mezzo più vicina alla macchina di fronte rispetto alla prima condizione (49% vs 36%).

Infine il terzo studio consisteva in una raccolta di dati da delle videocamere del traffico in tempo reale che evidenziarono il fatto che quando la luce era più intensa i guidatori tendevano ad aumentare la propria velocità del 7,3% rispetto al resto dei guidatori. Da tali studi, gli autori affermano che la prospettiva aerea, unitamente ad altri fattori, sembra contribuire al rischio di incidenti potenzialmente mortali.

Anche lo studio di Bressan et al. (2003) riguarda la navigazione stradale e, in particolare, il fulcro dello studio sono le “antigavity hills”. Tale fenomeno è stato registrato in tutto il mondo, suscitando spesso molto scalpore, in quanto i tratti stradali coinvolti in questo fenomeno, di solito tratti brevi della lunghezza di 50-90 metri, sembrano funzionare contro la forza di gravità: le auto lasciate in folle in questi tratti di strada sembrano spostarsi in salita lungo una strada in leggera pendenza, quando spesso la pendenza rilevata su quelle strade è opposta a quella apparente. Questi tratti di strada, oltre ad essere caratterizzati da una lunghezza contenuta, sono solitamente circondati da colline e privi di costruzioni nelle vicinanze.

Al fine di comprendere meglio questo fenomeno gli autori hanno effettuato 4 esperimenti che riproducessero, in laboratorio, le condizioni di alcuni questi luoghi. Nel primo i ricercatori hanno riprodotto, tramite un modellino dalla lunghezza di 2,40 metri, un tratto di strada composto da tre rampe, che nel modellino erano tutte inclinabili (le inclinazioni possibili erano orizzontale, inclinata verso il basso dell'1,5 % o del 3% ed inclinata verso l'alto sempre del 1,5% o 3%). La pedana centrale poteva assumere una di queste 5 inclinazioni, mentre quelle che la precedono e la seguono assumevano sempre la stessa inclinazione (per un totale di 25 possibili combinazioni). Allo studio parteciparono 60 studenti divisi in 3 gruppi e fu chiesto loro di osservare le pedane da un buco fatto in uno schermo (visione monoculare, si persero alcuni indizi di profondità) e giudicare l'inclinazione delle 3 pedane su una scala a 5 punti che andava da -2 cioè molto inclinata verso il basso, a +2 quindi molto inclinata verso l'alto. I risultati di questo primo esperimento dimostrarono, per prima cosa, che generalmente le piccole pendenze sono sempre sottostimate rispetto al piano orizzontale (spesso le pedane con un'inclinazione da 1,5% venivano viste come orizzontali) e che vi è un'asimmetria nell'illusione delle pendenze. Infatti quando un pezzo orizzontale veniva accompagnato da due pedane inclinate verso il basso, essa appariva inclinata

verso l'alto, ma non accadeva mai il contrario, cioè un segmento centrale accompagnato da due segmenti inclinati verso l'alto appariva a livello, non verso il basso. In generale le pedane orizzontali o leggermente inclinate verso il basso potevano apparire verso l'alto se accompagnate da pezzi di pedana inclinati verso il basso, ma risultava più difficile ottenere l'effetto contrario.

Nel secondo esperimento il modellino era simile, ma riproduceva invece una strada composta da due segmenti di strada. Vi erano 8 condizioni possibili, 4 dove una strada con una pendenza verso il basso (pendenza da 3% o 6%) era seguita da un tratto orizzontale o verso l'alto (1,5%), mentre le altre 4 prevedevano un tratto iniziale leggermente inclinato verso l'alto (1,5%) seguito da un segmento orizzontale o verso l'alto (3% o 6% di inclinazione). Il resto dell'esperimento si svolse con le stesse modalità del primo: in questo caso venne dimostrato che l'illusione avveniva anche in casi con due segmenti di strada, i risultati ottenuti furono simili a quelli del primo esperimento ma si scoprì che i segmenti di strada inclinati leggermente verso l'alto potevano apparire verso il basso quando erano preceduti da una forte pendenza verso l'alto.

Con il terzo esperimento gli autori hanno utilizzato un modellino che riproduceva il caso in cui due strade con pendenze diverse partono da uno stesso incrocio posto sul versante di una collina (ne abbiamo un esempio a Montagnana). Il modellino riproduceva il lato della collina, le due strade che partivano dallo stesso punto avevano inclinazioni variabili indipendenti l'una dall'altra. Ma questa volta fu introdotta una novità: venne utilizzato un pezzo di cartone per riprodurre l'altezza di un orizzonte. Tale orizzonte, in base alla posizione in cui veniva inserito, poteva avere 5 altezze: più basso di entrambe le strade (non visibile), più alto di entrambe, in posizione intermedia oppure alla fine della prima strada o alla fine della strada laterale. I risultati indicarono che fu proprio l'orizzonte ad influenzare la percezione di inclinazione della strada. Infatti l'inclinazione percepita della strada presa come oggetto di osservazione dai partecipanti variava in base alla posizione dell'orizzonte: se non vi era orizzonte, una strada orizzontale rimaneva percepita come tale se accompagnata da una verso l'alto, ma poteva sembrare inclinata verso l'alto se accompagnata da una verso il basso. Se la strada era verso il basso, poteva apparire inclinata verso l'alto se l'altra aveva una pendenza verso il basso ancora maggiore. Se l'orizzonte era sulla fine della strada stessa era la pendenza percepita della strada vicina a cambiare. Se l'orizzonte, invece, era sulla strada a lato vi era un effetto sulla strada testata quando la strada laterale era una salita (orizzonte più alto).

Infine il quarto esperimento voleva testare tali effetti su una strada singola. In questo caso non venne utilizzato un modellino ma tre stampe in scala di grigio. La prima era una foto di Electric Brae, famosa gravity hill in Scozia, le altre due erano invece immagini modificate in modo tale da variare l'altezza dell'orizzonte. Le 3 immagini furono presentate a 24 partecipanti che

dovevano indicare l'inclinazione della strada su una scala a 5 punti come quelle utilizzate negli altri esperimenti. Anche in questo caso i risultati confermavano che era l'orizzonte a determinare la pendenza percepita: con un orizzonte alto le strade apparivano verso il basso, mentre quando l'orizzonte era in posizione intermedia o bassa la strada appariva in salita.

In conclusione, questo studio, partito con lo scopo di dimostrare che il fenomeno delle gravity hills non era altro che il risultato di un'illusione, ha portato alla luce diversi risultati: Normalmente le persone tendono a sottovalutare le tendenze, la pendenze percepita di una strada in quei determinati contesti è inversamente proporzionale all'altezza dell'orizzonte visibile e l'inclinazione percepita di una strada dipende da quelle che la circondano, ed è più difficile creare un'illusione di pendenza in discesa.

### 2.3) Illusioni ottiche nel cinema

Il 28 dicembre del 1895 i fratelli Lumière pubblicarono il primo cortometraggio della storia, sfruttando per la prima volta l'illusione di movimento creata dalla proiezione in rapida successione di fotogrammi su una tela. Era la nascita del cinema. Da allora il cinema è cambiato, si è migliorato, ma il concetto è sempre lo stesso, partendo da un'illusione, i fratelli Lumière sono riusciti a dare vita ad una storia. Ancora oggi il cinema fa uso di artifici, illusioni e manipolazioni per narrare storie sempre più emozionanti e coinvolgenti.



Fig.5 Gli occhiali utilizzati per la visione di film 3D nei cinema

In particolare Miriam Ross, nel suo libro “3D Cinema: Optical Illusions and Tactile Experiences” approfondisce l'utilizzo dell'illusione stereoscopica nel cinema 3D, cioè quell'illusione che permette di trasmettere una sensazione di profondità e tridimensionalità da un contesto non tridimensionale come può essere un'immagine.

Ross afferma che l'illusione stereoscopica lascia intendere che gli oggetti siano allo stesso tempo molto vicini ma non realmente presenti, che essa renda i confini permeabili, labili ed allo stesso tempo sembra che diminuisca la percezione del sé stabile nello spazio.

I primi studi sulla stereoscopia risalgono al 1830, quando Charles Wheatstone presentò immagini disegnate a mano ma proiettate su uno stereoscopio al fine di dimostrare la visione binoculare, meccanismo alla base della vista umana e dell'illusione stereoscopica stessa. Fu però la nascita del sistema anaglifico (i famosi occhialini con una lente blu ed una rossa) a dare una svolta al cinema 3D.

Tale sistema permetteva di proiettare due immagini di due colori differenti che dovevano essere osservate tramite gli appositi occhiali per percepire la profondità che si creava quando il cervello metteva insieme le due immagini provenienti dai due occhi.

Di particolare interesse per l'autore furono due particolari domande legate all'illusione stereoscopica ed ai film: Dove si trova il film nell'illusione stereoscopica, o meglio, il telo di proiezioni, e dove si trova il corpo dell'osservatore.

La risposta logica è "in sala", ovviamente, ma grazie alle particolarità dell'illusione stereoscopica diventa difficile percepire lo schermo dove si proietta e la proiezione del proprio corpo nello spazio mentre le immagini proiettate sullo schermo sembrano prendere vita sia nello spazio orizzontale che in quello verticale, prendendo possesso della sala e dello spazio che circonda lo spettatore.

Il cinema, ed in particolare i film in 3D, sono un chiaro esempio di come le illusioni facciano parte in maniera importante della nostra vita, ed esse, se ben sfruttate, possono essere di grande utilità per l'uomo, sia dal punto di vista pratico che dal punto di vista artistico.

#### 2.4) Illusioni ottiche nella moda

Uno studio di Thompson e Mikellidou pubblicato nel 2011 indaga l'applicazione della Helmholtz illusion nel campo della moda. Secondo Hermann von Helmholtz un quadrato composto da linee orizzontali appare più alto rispetto ad uno stesso quadrato composto però da linee verticali che tende ad apparire più largo. Tale affermazione risulta piuttosto interessante se si considera che è piuttosto comune la convinzione che indossare indumenti con stampe a righe orizzontali tenda a far sembrare le persone più grasse e non il contrario.

Per studiare questo fenomeno Thompson e Mikellidou svolsero una serie di esperimenti nei quali confrontarono l'illusione di Helmholtz sia nel solito formato con quadrati a linee verticali e orizzontali, sia applicandola al settore vestiario, che, infine, testandola su dei veri cilindri 3D.

Nel primo esperimento sono state misurate le dimensioni dell'illusione di Helmholtz tramite il metodo degli stimoli costanti. Le condizioni sperimentali erano due: nella



Fig.6 I manichini usati nell'esperimento

(Thompson et al., 2011)

prima un quadrato standard di linee verticali veniva confrontato con uno dei cinque stimoli di comparazione, i quali erano dei quasi-quadrati composti da linee orizzontali che differivano tra loro per la larghezza delle strisce e gli osservatori dovevano riferire a volte quale sembrava più alto, altre quale sembrava più largo. Nella seconda condizione un quadrato di strisce

orizzontali era comparato con una gamma di semi-quadrati a linee verticali e gli osservatori dovevano riferire solo quale appariva più alto tra i due.

I risultati mostrarono che il modello a strisce verticali veniva percepito come della stessa altezza di quello a strisce orizzontali se la sua altezza era tra il 4,1 ed il 10,1% superiore a quella del secondo stimolo. Ciò significa che quando entrambi gli stimoli avevano la stessa altezza quello a strisce verticali veniva percepito come più basso.

Un modello di strisce orizzontali, invece, veniva percepito di uguale larghezza rispetto ad un modello a strisce verticali quando è tra l'1,3 e il 6,5% in più largo. Questo significa che quando i due stimoli avevano la stessa altezza il quadrato a strisce verticali veniva percepito come più largo.

Nel secondo esperimento 12 osservatori dovevano confrontare due figure umane, una con indosso un abito a strisce orizzontali, ed una con indosso un abito a strisce verticali. La seconda figura aveva subito una manipolazione dei fianchi che potevano essere più larghi o più stretti rispetto a quelli della figura uno. Gli osservatori dovevano quindi stimare la larghezza dell'anca dei due stimoli presentati. I risultati dimostrano che la donna con il vestito a righe orizzontali, per essere considerata "larga" quanto quella a righe verticali doveva effettivamente avere il fianco più largo del 5,8%, in accordo col primo studio.

Anche i risultati del terzo esperimento sui cilindri 3D mostrano che la larghezza percepita dei cilindri a strisce orizzontali era molto simile rispetto a quelli a linee verticali, ma, sistematicamente, gli osservatori sopravvalutavano il diametro dei cilindri a linee verticali nella maggior parte delle condizioni.

Un quarto esperimento, svolto però su dei manichini veri e propri, confermò i risultati degli altri esperimenti. I risultati indicano, quindi, che sebbene siano necessari ulteriori studi per comprendere appieno il fenomeno, tutte le prove sembrano condurre alla conclusione che la convinzione che indossare indumenti a linee orizzontale faccia sembrare più magri sia errata.

## 2.5) Le illusioni ottiche nei piloti dell'aviazione

Un affascinante studio di Sanchez-Tena e collaboratori pubblicato nel marzo del 2018 afferma che il 91,6% dei piloti di aerei riportano di aver avuto esperienza di illusioni visive durante i loro voli e, dalla loro ricerca emerge, inoltre, che il 20% degli incidenti aerei avviene a causa di illusioni ottiche.

Secondo gli autori dell'articolo le illusioni ottiche possono essere causa di disorientamento spaziale, un fenomeno definibile come “*un'interpretazione errata di un'esperienza di percezione sensoriale, in particolare di tipo visivo, dove gli stimoli sono oggettivamente presenti e la percezione errata è dovuta a cause fisiche piuttosto che psicologiche*” (Sánchez-Tena, Alvarez-Peregrina, Valbuena-Iglesias e Palomera).

Essi affermano che tale disorientamento sia classificabile in tre diverse categorie: nella prima il pilota non si rende conto di essere disorientato, infatti il sistema nervoso centrale, non riconoscendo alcun tipo di disorientamento non mette in atto strategie di completamento per evitare il disorientamento. Nel secondo caso il sistema nervoso centrale riconosce il disorientamento ed è compito del pilota agire di conseguenza. Nel terzo caso il sistema nervoso riconosce la situazione ma le informazioni percepite sono così contraddittorie e confusionarie che il pilota non è in grado di rispondere correttamente alla situazione.

Gli autori hanno eseguito una revisione della letteratura e delle pubblicazioni esistenti riguardanti l'argomento, analizzando quarantacinque articoli di lingue differenti. I risultati ottenuti gli hanno permesso di dare origine ad una classificazione dei diversi tipi di disorientamento spaziale e illusioni ottiche che colpiscono i piloti, dividendoli in base a tre fattori che originano il disorientamento o l'illusione: quello umano, quello contestuale e le patologie del sistema visivo.

Queste ultime dipendono dalle condizioni di stress alle quali il corpo è sottoposto a causa dell'accelerazione del velivolo. Esiste un fenomeno, chiamato visione nera, che consiste in una momentanea perdita dei sensi a causa del rapido spostamento di sangue verso la parte inferiore del corpo. La visione nera è spesso preceduta dal *grey out*, chiamato anche visione grigia, risultato della progressiva riduzione del flusso sanguigno retinico, che causa una riduzione od una perdita dell'intensità dei colori oppure un effetto di *tunnel-vision*, cioè un restringimento del campo visivo. Tali fenomeni sono predittori di una possibile visione nera e fungono da campanello per i piloti che devono agire di conseguenza.

Per quanto riguarda, invece, il fattore umano, ci sono diversi fattori da considerare: lo stress e la sindrome da affaticamento sono fattori essenziali che devono essere prevenuti ed in caso monitorati costantemente. È da tenere in considerazione anche il fenomeno di rivalità oculare (quando le immagini al nostro cervello sono presentate come differenti e vi è la dominanza di una sull'altra) dovuta all'utilizzo di display monoculari.

Infine i più numerosi e diversi sono i fattori di tipo contestuale. Gli autori ne hanno individuati di diversi tipi che, per motivi di comodità e spazio, ne elencherò alcuni: larghezza delle luci della pista di atterraggio, operazioni notturne o bassa visibilità, inclinazioni della pista di decollo, le dimensioni dei riferimenti abituali, l'orizzonte confuso a causa dell'ambiente, il

falso orizzonte, l'illusione somatogravica (l'errata percezione delle sensazioni dettate dal sistema che regolano l'equilibrio) dovuta all'accelerazione infine il fenomeno di vezione, cioè l'illusione di movimento che si ha osservando un oggetto immobile da uno in movimento.

Appare quindi chiaro che i fattori in grado di originare un'illusione potenzialmente fatale siano molti e di differenti tipologie ed è, pertanto, estremamente importante preparare i piloti a tali fenomeni affinché possano agire in maniera utile e tempestiva.

## 2.6) Le illusioni ottiche nei caschi monoculari dell'Apache

Uno studio di Rash pubblicato nel 2008 fornisce un approfondimento sulle illusioni a cui sono soggetti i piloti, in particolare i piloti dell'Apache AH-64, un modello di elicottero creato agli inizi degli anni '60 fornito di un elmetto dotato di display monoculare (IHADSS) che forniva un'immagine termica direttamente sull'occhio destro del pilota.

Tale strumento forniva ai piloti dell'elicottero notevoli vantaggi, come la possibilità di avere un occhio con la visuale libera ed uno solo impegnato con il controllo del display, il casco forniva protezione e supporto, la sua struttura era più leggera e meno costosa rispetto ai modelli precedenti. Nonostante ciò, l'utilizzo di un dispositivo monoculare porta a diversi svantaggi come problemi di dominanza oculare, problemi di percezione della profondità, dominanza oculare e rischio di rivalità binoculare.

L'autore dell'articolo espone sei differenti studi che hanno cercato di comprendere quali impatti questo strumento potesse avere sui piloti dell'Apache AH-64.

Il primo studio esposto che venne eseguito sui sintomi causati dallo IHADSS fu quello condotto da S. Hale e D. Piccione in Alabama. I risultati evidenziarono tra i maggiori sintomi presentati dai soggetti un incremento della fatica dei piloti e mal di testa, probabilmente dovuti alla rivalità binoculare, una peggiore percezione della profondità ed un inadeguato riposo degli occhi.

Per approfondire ed investigare gli effetti psicologici del sistema IHADSS il laboratorio di ricerca dell'esercito americano di Fort Rucker condusse, in seguito, un secondo studio diviso in tre parti: un questionario sugli specifici problemi visivi dei piloti degli Apache AH-64, una valutazione clinica dello stato visivo dei piloti ed infine la terza parte consisteva in una valutazione delle impostazioni di messa a fuoco diottrica utilizzate dai piloti.

I risultati della prima parte mostrarono che più dell'80% dei piloti riportava almeno una problematica visiva associata all'elmetto monoculare. Il 51% riportava "visual discomfort",



Fig.7 IHADSS(Rash, 2008)



un terzo riportava mal di testa ed il 20% riportava disorientamento e vista annebbiata dopo il volo.

La valutazione clinica non diede risultati significativi riguardanti i 10 piloti analizzati mentre la terza parte dello studio ricondusse la causa dei mal di testa al lavoro di accomodamento a cui erano sottoposti gli occhi dei piloti a causa dello IHADSS e allo stress visivo correlato ai lunghi viaggi.

Un terzo studio venne eseguito da Crowley nello stesso periodo. Le problematiche emerse dai questionari vennero suddivise in segnali visivi, illusioni statiche ed illusioni dinamiche.

Tra i segnali visivi più citati come problematici compare un 14% di acuità compromessa, l'illusione statica più comune era un giudizio errato in altezza (19%) mentre le illusioni dinamiche più comuni erano la deriva non percepita dell'aereo e la deriva illusoria dell'aereo, rispettivamente il 24% ed il 25%.

Nel 2000 Rash e collaboratori replicarono lo studio di Crowley sulle illusioni visive e l'indagine di Behar del 1990. Lo studio venne somministrato tramite internet e vennero completati un totale di 216 questionari. Il 92% dei rispondenti riportò almeno un sintomo visivo sia durante che dopo i voli, le due illusioni statiche più riportate furono una stima errata della pendenza (80%) ed una stima errata sull'altezza giudicata (74%), infine le illusioni dinamiche più citate furono, in accordo con lo studio di Crowley, la deriva non percepita (78%) dell'aereo e la deriva illusoria (71%).

Il quinto studio analizzato da Rash fu uno studio condotto in nord Iraq nel novembre del 2003. A differenza degli studi precedenti, in questo caso i piloti erano coinvolti in performance sul campo di battaglia e ciò permise di verificare se i problemi riportati fino ad allora potessero risultare più drammatici in casi di stress maggiore. La raccolta dati avvenne tramite questionario scritto ed intervista orale su 40 piloti maschi di AH-64.

Anche in questo caso le problematiche visive più riportate furono disagi alla vista (75%), mal di testa (68%). Inoltre vennero segnalati casi di visione annebbiata (45%) ed immagini residue (40%). Infine il 28% dei piloti ha riportato disorientamento ed il 10% visione doppia. A confronto con i dati della ricerca del 2000 di Rash, i risultati dimostrarono che non vi è differenza statisticamente significativa tra i dati raccolti dalle due ricerche.

Infine, il sesto studio riportato da Rash è uno studio longitudinale della lunghezza di 10 anni, non ancora completo all'epoca della pubblicazione, che seguiva una coorte di piloti del British AH Mk1. Ogni pilota, una volta l'anno doveva compilare un questionario riguardante le problematiche visive e le illusioni ottiche affrontate durante i voli, inoltre, durante la visita medica annuale, i piloti venivano ampiamente monitorati soprattutto per quanto riguarda le patologie oculari.

A 4 anni di distanza dall'inizio dello studio vennero analizzati i dati di 53 piloti di età media 35 anni. I sintomi più riportati dai piloti degli Apache AH-64 furono disorientamento (71%), mal di testa (57%) e disagio visivo (43%), mentre i piloti di Apache non dotati di sistema IHADSS riportarono mal di testa (63%) e disorientamento (56%). In generale le differenze statistiche tra i due gruppi non erano statisticamente significative.

I risultati dell'articolo di Rash indicano che la presenza del IHADSS non sembra aver un impatto significativo sugli incidenti degli Apache AH-64, ma sembra che tale sistema fornisca un carico cognitivo maggiore ai piloti e li esponga ad un maggiore rischio di incorrere in illusioni ottiche durante i voli.

## 2)LE ILLUSIONI NELLO SPORT

Possono essere ricondotti circa tutti all'ultimo decennio gli studi che indagano l'impatto delle illusioni nello sport, e principalmente riguardano due illusioni di grandezza: gli studi sull'impatto dell'illusione di Muller-Lyer nel calcio e quelli sulla Ebbinghaus illusion nel golf.

Per quanto riguarda l'illusione di Muller-Lyer, due linee parallele vengono presentate insieme, ma una termina da entrambi i lati con due segmenti inclinati di 45 gradi componenti un angolo acuto e appare quindi più corta, mentre l'altra termina con due angoli ottusi composti da segmenti inclinati di 135 gradi e appare più lunga della prima e ciò da origine all'illusione rappresentata nell'img. 8. Ci sono stati vari tentativi di spiegare quale sia l'origine di tale fenomeno. Gregory propose una spiegazione secondo la quale l'illusione è il risultato di un processo di

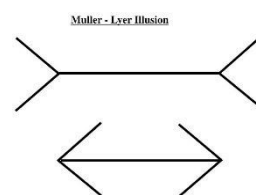


Fig.8 Illusione di Muller-Lyer

proiezione delle figure in tre dimensioni sul piano. In particolare egli

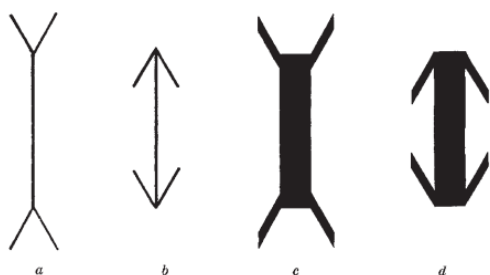


Fig.9 L'illusione di Muller-Lyer e la rappresentazione 3D dei muri (Nature, 1970)

suggerì che la prima freccia che compone l'illusione assomigliasse agli angoli di una stanza dove le "ali" fungevano da indizio prospettico utilizzato per giudicare la lunghezza dell'asse centrale, mentre l'altra freccia, quella composta dai due angoli acuti, dovrebbe riprodurre il punto di incontro di due muri. Gregory spiega quindi l'illusione come il risultato dell'applicazione di indizi di profondità indotti dalle estremità dei due segmenti, In questo modo sarebbe spiegata la differenza

percepita dei due segmenti. (Nature, 1970). Tale teoria è stata però criticata in quanto non prende in considerazione le varie varianti dell'illusione di muller-layer che, seppur non avendo la stessa forma a freccia, mantengono l'illusione (Eysenck e Keane, 1995.) Un ulteriore tentativo di spiegare il fenomeno è stato fatto tramite la "confusion theory" (Woodworth, 1938, p. 645). Secondo questa spiegazione ciò che trae in inganno sono appunto le estremità delle due figure che influenzano il giudizio sulla lunghezza. Se le due ali sono ad angolo ottuso (rivolte verso l'esterno) tendono a muovere percettivamente l'estremità dell'asta verso l'esterno, mentre le ali acute (rivolte verso l'interno) producono l'effetto opposto. In altre parole, mentre le ali ottuse producono un effetto di espansione, le ali acute producono un effetto di compressione sulla lunghezza dell'asta centrale.

L'illusione di Ebbinghaus (anche nota come "Titchener circles"), invece, viene definita dal dizionario online dell'APA (American Psychology Association) come un'illusione di contrasto delle dimensioni dove una corona di cerchi di grandi dimensioni fanno apparire piccolo un cerchio posto al loro centro in confronto ad un cerchio delle stesse dimensioni circondato però da cerchi più piccoli.

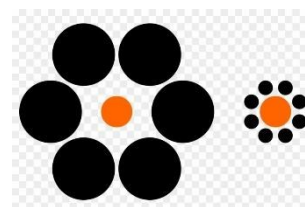


Fig.10 Illusione di Ebbinghaus

Massaro e Anderson (1971) hanno definito l'illusione come il risultato di un meccanismo di contrasto di dimensioni, e spiegano che la grandezza del cerchio centrale viene definita in rapporto alla dimensione dei cerchi che lo circondano: quando il centro è circondato da cerchi di piccole dimensioni, il meccanismo di contrasto fa apparire quello centrale come più grande, mentre quando è circondato da cerchi più grandi avviene l'effetto contrario.

#### 1.1) L'illusione di Muller-Lyer nel calcio

Nel Van der Kamp e Masters (2008) hanno pubblicato uno studio in cui veniva mostrato come posizionando le braccia i portieri possano riprodurre l'illusione in questione nel tentativo di influenzare la direzione e la forza di un tiro.

Nel primo studio esposto nella pubblicazione veniva richiesto a quindici ragazzi di giudicare le dimensioni di un portiere che osservavano in foto. Questo portiere assumeva quattro diverse posizioni, una a braccia aperte a riprodurre una T, una a braccia alte a riprodurre una sorta di V, una identica ma con le braccia verso il basso ed una in cui le braccia erano lungo il corpo. Ogni posizione poteva essere riprodotta sulla stampa di un portiere grande 8 cm, 7.2 cm o 6.4 cm e veniva presentata ai partecipanti in ordine randomizzato ed ogni partecipante doveva riprodurre la grandezza della figura su una linea verticale di comparazione stampata su un foglio diverso.

Lo scopo degli autori era quello di confrontare l'altezza stimata della figura a braccia alte (una delle due che riproduce l'illusione di Muller-Lyer) rispetto a quelle delle altre figure. I risultati indicavano che i partecipanti sovrastimavano l'altezza del portiere a braccia alte di una media di 0.24 cm, mentre sottostimavano l'altezza di quello a braccia basse di una media di -0,35 cm e di -0,51 per quello con le braccia a T, il tutto indipendentemente dalla grandezza effettiva della foto.

Una volta chiarito che la posizione assunta dal portiere influenza la percezione delle sue dimensioni, gli autori hanno voluto indagare come questo fattore potesse influenzare l'accuratezza nella mira.

Ai partecipanti venne richiesto di simulare un rigore di pallamano (a quanto pare erano più precisi lanciando così piuttosto che calciando). I partecipanti avevano il compito di lanciare delle palle ad un portiere proiettato, immaginando che esso potesse muovere solo braccia e gambe per fermare il tiro.

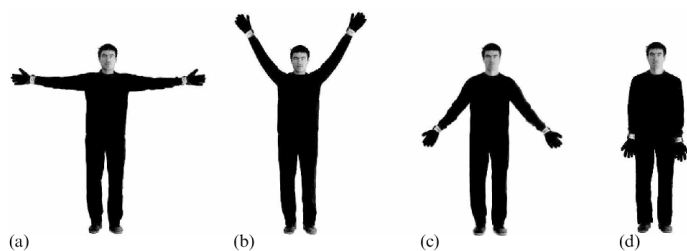


Fig.11 Le 4 figure di portieri utilizzate nell'esperimento  
(Van der Kamp e Masters2008)

Il loro scopo era quello di segnare un goal fuori dalla portata del portiere, il quale utilizzava le 4 posture dell'esperimento precedente (sia portiere che porta erano ridotti al 68% della loro grandezza normale). I partecipanti tiravano a una distanza intorno ai 5 metri e la distanza

della palla veniva calcolata rispetto alla distanza dalla linea mediana del corpo del tiratore. L'ipotesi era quella che nel caso del portiere a braccia alzate i tiratori lanciassero la palla più lontana a causa della maggiore grandezza percepita del portiere, mentre il contrario era atteso per il portiere a braccia basse.

I risultati evidenziarono una differenza significativa tra le condizioni in quanto i partecipanti tiravano ad una distanza media di 3.9 centimetri più lontana rispetto al corpo con il portiere con le braccia alte. Non ci sono stati differenze tra la figura a braccia basse e quella a T. Inoltre la posizione delle braccia del portiere influenzava la posizione di arrivo della palla sul piano verticale (le palle colpivano più in basso nelle posture a braccia alte o a braccia a T rispetto a quella a braccia basse). Infine un numero significativamente inferiore di palle finirono fuori dalla rete nella postura a braccia alte (1.3% in meno).

I risultati di questi due esperimenti portarono gli autori ad affermare che, nonostante non potessero approfondire l'impatto dell'apparire più grossi sul tiro, i tiratori erano soggetti all'illusione di Muller-Lyer e che la posizione assunta dal portiere influenzava poi il tiro, infatti tenendo le braccia alzate era più probabile che il lanciatore tirasse più lontano dal corpo del portiere rendendo quindi più difficile fermare il pallone.

Tali risultati furono replicati in uno studio successivo. Shim, et al (2008) espongono 3 esperimenti, ma di particolare interesse per questa tesi è il primo in cui gli autori hanno tentato di replicare i risultati di Van der Kamp spiegando ai partecipanti che dovevano lanciare una pallina da tennis, indicando prima con un puntatore dove intendevano farla arrivare (per verificare che i risultati non dipendessero da un'incapacità di controllare il tiro) in modo che uscisse dalla portata del portiere. Anche in questo caso il portiere era proiettato, ed utilizzarono tre delle posizioni usate nello studio precedente (braccia

alte, braccia basse e braccia a T). I risultati confermarono quelli ottenuti dallo studio di J. Van der Kamp e collaboratori.

## 1.2) L'illusione di Ebbinghaus nel golf

Per quanto riguarda l'applicazione dell'illusione di Ebbinghaus nella pratica sportiva, la letteratura è un po' più corposa:

Witt e colleghi nel loro studio pubblicato nel 2012 hanno sottoposto a test 3 ipotesi: (a) far apparire un bersaglio più grande può peggiorare la prestazione in quanto il tiratore mira ad un punto che non corrisponde al target reale, (b) un bersaglio che appare più grande potrebbe facilitare il compito in quanto appare più facile da colpire e, infine, (c) la percezione non influenza in alcun modo la performance finale. Al fine di testare queste tre ipotesi gli autori hanno deciso di sfruttare l'illusione di Ebbinghaus, facilmente adattabile a diversi contesti, in un compito di mira come quello del golf. Durante l'esperimento venne chiesto a 36 partecipanti (19 femmine, 17 maschi) di tentare di fare buca 10 volte per tipo di buca. Vennero utilizzate due buche di grandezza diversa, una dal diametro di 5,08 cm e una da 10,16 cm. Sulle buche veniva proiettata l'illusione: ogni buca poteva essere circondata da 11 piccoli cerchi grandi circa 3,8 cm di diametro oppure 5 cerchi con diametro da 28 cm (per un totale di 4 condizioni). I risultati mostrarono che, per quanto riguarda la buca da 5 cm i partecipanti avevano prestazioni migliori quando essa era percepita più grande, cioè circondata dagli 11 cerchi più piccoli, mentre per quanto riguarda la buca da 10 cm non vi erano differenze nella prestazione, in quanto sembrava che la buca non riuscisse a simulare l'illusione (ciò indusse i ricercatori ad utilizzare la buca più grande come condizione di controllo).

A conclusione dell'articolo gli autori poterono affermare che l'esperimento supportava l'ipotesi iniziale secondo la quale una buca percepita più grande facilita il compito di mira e tali risultati sembravano indicare una connessione tra percezione e performance, ma che sarebbero serviti ulteriori studi per affermarlo con sicurezza.

Partendo dal precedente studio, G. Wood e collaboratori (2013) hanno deciso di indagare l'effetto dell'illusione di Ebbinghaus nel golf esplorando anche il potenziale ruolo mediatore di attenzione e pianificazione dell'azione. Gli autori hanno preparato un esperimento diviso in 3 diverse fasi partendo dall'ipotesi che l'illusione avrebbe distorto i processi cognitivi, i quali avrebbero influenzato a loro volta attenzione e pianificazione, andando ad impattare quindi sulla prestazione finale.

Sono stati coinvolti 40 partecipanti (10 femmine e 30 maschi) ed anche in questo caso è stata utilizzata un'illusione realizzata con Microsoft PowerPoint che veniva proiettata sul tappeto erboso.

Vi era una sola buca di diametro di 5 cm ed essa poteva essere presentata in due modalità: circondata da cinque cerchi di diametro di 29,2 cm oppure circondata da 12 cerchi di diametro 3,3 cm. Ogni illusione veniva presentata 10 volte, ma ogni volta gli stimoli apparivano spostati di alcuni centimetri più a destra o più a sinistra per evitare un effetto di apprendimento e mantenere alta l'attenzione.

Il partecipante tirava ad una distanza di 1,75 metri con pallina e mazza standard e doveva inoltre replicare la grandezza della buca su una pagina Power Point. I partecipanti erano, inoltre, dotati di un sistema di Eye-Tracking con lo scopo di seguire la fissazione dei partecipanti.

Le tre misure prese in considerazione sono state: la percezione di grandezza del target, la performance ed il *quiet eye* (cioè la durata dell'ultima fissazione prima dell'inizio del movimento critico).

I risultati hanno mostrato che nella condizione in cui la buca appariva più piccola i partecipanti commettevano un errore radiale maggiore e la dimensione percepita del target era di 4,5 mm inferiore, oltre al fatto che la fissazione era più corta di 170 ms.

Un'analisi di regressione ha rivelato inoltre che ad essere predittori significativi delle differenze nell'errore radiale erano le differenze di dimensione percepita del bersaglio, il che indicava la possibilità che la dimensione percepita fosse un mediatore parziale (in accordo anche coi risultati ottenuti studiando i tempi di fissazione).

In conclusione sembra che la teoria iniziale sia stata supportata, nonostante gli autori ammettano non siano stati in grado di comprendere quale impatto possano aver avuto le variabili psicologiche sulla performance. In ogni caso Wood, Vine e Wilson chiudono il loro articolo affermando che “le illusioni influenzano la percezione delle dimensioni, che influenza la successiva pianificazione guidata dalla memoria, la quale a sua volta influenza le prestazioni di mira”.

In seguito Chauvel e collaboratori (2020), prendendo spunto da quelli pubblicati da Witt et al. E Wood e collaboratori, hanno deciso di replicare l'esperimento andando inoltre ad indagare anche l'impatto della self-efficacy e la possibilità che le illusioni potessero avere non solo un effetto temporaneo nella prestazione ma anche nell'apprendimento.

Parteciparono all'esperimento trentasei studenti (20 femmine e 16 maschi) con poca o nulla esperienza nel golf i quali vennero suddivisi casualmente in due gruppi. Uno dei gruppi avrebbe affrontato cinque blocchi da dieci tiri di allenamento in cui la loro buca era circondata da 11 cerchi più piccoli dal diametro di 3,8 cm, mentre il secondo gruppo si sarebbe allenato con la condizione opposta, cioè una buca circondata da cinque cerchi più larghi (21 cm di diametro).

Tutti i partecipanti hanno dovuto partecipare ad un pre-test di cinque tiri senza l'illusione e gli è stato chiesto di riportare la grandezza percepita della buca su un foglio di Microsoft Paint. Ad entrambe i gruppi è stato poi somministrato un questionario sulla self-efficacy sia prima dei trials che dopo e i partecipanti hanno dovuto poi riprodurre su Microsoft Paint la grandezza percepita della buca, anche in questo caso prima e dopo l'allenamento.

Alla fine ai partecipanti è stato richiesto di eseguire un test finale composto da un singolo set da dieci tiri, questa volta a cui non veniva però proiettata l'illusione, per verificare se le due condizioni sperimentali avessero avuto conseguenze differenti sull'apprendimento.

I risultati ancora una volta hanno mostrato come le due buche sono state percepite di grandezza diversa dai due gruppi in base all'illusione, sebbene con il progredire dell'allenamento la grandezza stimata delle due buche tendesse ad avvicinarsi tra i due gruppi.

Per quanto riguarda l'accuratezza dei tiri, invece, durante il pre-test non ci sono state differenze significative tra i gruppi, mentre durante la pratica il gruppo che percepiva la buca più grande fu più accurato dell'altro. Nel test finale, invece, il gruppo che percepiva il target come più grande durante il training ha ottenuto una deviazione dalla buca inferiore rispetto al secondo gruppo.

L'autoefficacia, invece, era maggiore nel gruppo con il target percepito come più grande. Essa inoltre non si è dimostrata essere significativamente predittiva della performance finale, ma sembrava influenzare quella durante la pratica, la quale a sua volta era un predittore della performance finale.

In conclusione, gli autori affermano che, sulla base dei risultati ottenuti, gli effetti delle illusioni non dipendono dalla presenza dell'illusione e che sembrerebbe che illusioni favorevoli possano beneficiare l'apprendimento a lungo termine, in particolare nei compiti di mira.

Un lavoro relativo al golf pubblicato da Maquestiaux e colleghi (2020) ha fornito risultati differenti, non trovando sufficienti prove a sostegno di un impatto nella pratica sportiva del golf ad opera dell'illusione di Ebbinghaus.

Gli autori hanno deciso di partire dallo studio di Witts et al. (2012) per portare avanti tre diversi esperimenti. La loro idea di base era che nel suo esperimento Witts avesse utilizzato una distanza troppo grande per partecipanti senza esperienza, rendendo quindi il compito troppo difficoltoso. Inoltre in tale studio l'illusione è stata considerata come un fattore between-subjects, cosa che secondo gli autori rendeva impossibile comprendere se le differenze riscontrate dipendessero davvero dall'illusione o da differenze individuali.

Il primo esperimento è stato quindi diviso in due parti (a e b): in una prima parte gli autori verificarono se la distanza utilizzata da Witts non rendesse il compito troppo complesso per tiratori non esperti, nella seconda parte invece riprodussero, con alcune differenze, l'esperimento di Witts.

Per quanto riguarda l'1b ventiquattro studenti dell'università di Besancon dovettero fare dieci tiri su una buca di diametro di 5,5 cm e dieci tiri su una buca standard (11 cm di diametro) a distanza di 3,5 m. Non venne proiettata nessuna illusione.

I risultati non sono combaciati con le aspettative degli autori, infatti i tiri che andarono a segno nella buca più piccola furono virtualmente zero ( $M=0.04$  buche) mentre per quanto riguarda la buca standard la media si alzò leggermente ( $M=0.79$ ). Tali risultati hanno indotto gli autori a variare la distanza dalla buca negli esperimenti successivi.



Nell'esperimento 1b è stato deciso di usare una distanza di 2 metri, il compito era sempre quello di fare 10 tiri, ma le condizioni questa volta furono 4: buca piccola circondata da undici piccoli cerchi (3,5 cm di diametro) o circondata da 5 cerchi grandi (28 cm di diametro) oppure buca standard circondata da cerchi o piccoli o grandi. Anche in questo studio i soggetti dovevano riprodurre la grandezza della buca su un foglio di MS Paint.

I partecipanti furono quaranta studenti della stessa università ed il compito era quello di fare 10 tiri per ognuna delle condizioni che veniva presentata in modo randomizzato ai partecipanti.

I risultati però hanno dimostrato che non era stata percepita l'illusione di Ebbinghaus, in quanto la grandezza percepita delle buche non variava tra le condizioni (la piccola veniva percepita della stessa grandezza nelle due condizioni e lo stesso successe con la standard), inoltre non venne riscontrata una differenza significativa a livello di performance.

Secondo gli autori il fatto che l'illusione non sia stata percepita rendeva impossibile valutare se l'illusione avesse o meno un impatto nella prestazione e proposero tre possibili spiegazioni al fenomeno:

- 1) I cerchi che circondavano la buca non avevano nessun effetto sulla percezione
- 2) La metodologia utilizzata per la stima non era sufficientemente sensibile
- 3) Presentare solo una versione dell'illusione alla volta (come fecero Witt e collaboratori) inficiava l'effetto dell'illusione.

Partendo da questi risultati gli autori idearono altri due esperimenti.

Il secondo esperimento si svolse come il primo, a differenza che le due illusioni vennero presentate simultaneamente sul tappeto e venne utilizzata solo la buca standard. Ai quaranta partecipanti fu chiesto, a distanza di 2 metri dalla buca, di comparare la grandezza delle due buche e di riprodurle su MS Paint. Successivamente ogni partecipante eseguiva due blocchi da dieci tiri per buca in ordine ABBA o BAAB. I risultati di questo esperimento mostrarono invece che l'illusione questa volta era stata percepita: la buca circondata da cerchi più piccoli veniva percepita più grande del 14,92%. Nonostante questa volta l'illusione fosse stata percepita dai partecipanti, non venne riscontrata differenza significativa nella performance.

Maquestiaux e collaboratori decisero di tentare, visti i precedenti risultati, un terzo ed ultimo esperimento dove ridussero ancora la distanza dalla buca, portandola ad 1 metro al fine di evitare un effetto pavimento. Avevano ipotizzato che fosse possibile che l'illusione percepita nell'esperimento precedente avesse effettivamente modificato la pianificazione motoria dei soggetti ma che essa non si sia riflessa nell'output motorio, oppure che la scarsa prestazione motoria potesse aver oscurato qualsiasi effetto indotto dall'illusione.

Tale esperimento ha utilizzato gli stessi metodi del secondo, con la sola differenza della ridotta distanza dalla buca. Anche in questo caso però gli autori non ottennero risultati che potessero indicare un impatto dell'illusione nella performance, sebbene anche in questo caso essa sia stata percepita (la buca circondata dai cerchi più piccoli appariva più grande del 12,8%).

I risultati hanno indotto gli autori ad affermare con sicurezza che l'illusione di Ebbinghaus non sembrava avere un'influenza nel compito di mettere in buca una palla, avendolo anche testato in diverse condizioni. Sempre secondo Maquestiaux e collaboratori è possibile che la self-efficacy abbia in qualche modo contribuito alle differenze riscontrate con gli altri studi, infatti essa aumenta con l'allenamento, ma i partecipanti scelti per questo studio erano tutti principianti. Inoltre gli autori affermano che tali differenze vanno in contrasto con il modello dei due sistemi visivi di percezione e azione di Milner e Goodale. Secondo tale modello le azioni per cui si è più esperti dipendono da una serie di meccanismi visuo-motori i quali non sono influenzati dalle illusioni, a differenza delle azioni in cui non si è esperti. Gli autori hanno avanzato quindi la possibilità che i risultati dipendessero in questo caso da un'incapacità dei partecipanti di rappresentarsi il bersaglio in quanto la maggior parte delle loro risorse attenzionali era impegnata in compiti come il ripetersi le regole e come si esegue il compito etc (compiti di memoria dichiarativa).

Appare quindi chiaro che gli studi sull'argomento non siano ancora particolarmente numerosi né sufficienti per prendere una posizione sicura. Si può dire che i risultati tenderebbero a seguire la stessa direzione, cioè che le illusioni possono influenzare la prestazione sportiva, ma ricerche come quella esposta nell'articolo di Maquestiaux mettono in luce diverse debolezze degli approcci utilizzati fino ad ora.

Da quanto si evince da questa panoramica sulla letteratura, al momento gli unici due sport su cui si sono concentrati gli esperti sono il calcio, o meglio, il goal-keeping, ed il golf, non ci sono quindi informazioni per quelli che possono essere sport di mira come il tiro con l'arco, il tiro a segno e molti altri ancora, come non ci sono informazioni per tutti quegli sport che magari non sono esplicitamente legati al compito di mira ma potrebbero essere comunque influenzati da illusioni che vanno a modificare la percezione dello spazio. Se dovessero risultare che le illusioni ottiche possono influenzare la grandezza percepita di un bersaglio, le future tecniche di allenamento potrebbero presentare pattern illusori per affinare la precisione. Ad esempio, un atleta che dovesse avere problemi di ansia da prestazione nelle competizioni potrebbe allenarsi con un pattern illusorio che potrebbe far apparire il bersaglio ancora più piccolo, rendendolo (si spera) poi più sicuro di sé in gara in presenza di un bersaglio che appare più grande di quello verso cui ci si è abituato. Una cosa del genere sarebbe possibile con pattern illusori, non diminuendo realmente la dimensione fisica dei bersagli in

allenamento, perché ridurre la dimensione retinica di uno stimolo che già appare molto piccolo può comportare problemi di acuità visiva e non far percepire un bersaglio nitido. Nel pattern illusorio studiato in questa tesi, al contrario, la dimensione retinica del bersaglio è la stessa di quella presente nelle gare e nei vari anni di allenamento precedenti, per cui siamo sicuri che lo stimolo viene elaborato nitidamente e senza problemi di acuità visiva.

### 3) LO STUDIO

#### 3.1 INTRODUZIONE

Nel capitolo precedente sono stati esposti i principali studi attualmente esistenti inerenti all'applicazione delle illusioni nei contesti di pratica sportiva. Nonostante tale ambito non sia ancora stato molto esplorato, appare evidente che gli studi si siano concentrati, al momento, principalmente in due sport. Partendo dall'osservazione di tali esperimenti, dallo studio di quelli che potevano essere i punti di forza o di debolezza e difficoltà incontrate nei precedenti studi è nata l'idea per la ricerca che andrò ad esporre.

Nonostante appaia chiaro che siano i compiti di mira quelli più indicati per verificare l'impatto delle illusioni ottiche nella performance, in letteratura non risultano ancora articoli od esperimenti riguardanti l'applicazione delle illusioni in sport come il tiro a bersaglio, le freccette od il tiro con l'arco. Sarà proprio il tiro al bersaglio il soggetto di questa ricerca.

Il tiro al bersaglio, sebbene sia uno sport abbastanza di nicchia e ancora oggi circondato spesso da pregiudizi e false credenze, sembrerebbe essere particolarmente indicato per essere oggetto di sperimentazione. Infatti il contesto del poligono di tiro è un contesto molto controllato, dove i tiratori sparano in condizioni standardizzate, in un ambiente dove la temperatura viene mantenuta costante, la luce è controllata e qualsiasi fattore che possa danneggiare la prestazione viene tenuto in considerazione.

Inoltre l'esecuzione di un tiratore richiede una forma "standard" particolarmente rigida, in quanto essi tirano in piedi, dando il fianco al bersaglio, con i piedi paralleli, la mano del braccio non dominante viene tenuta in tasca oppure alla cintura mentre tirano con una sola mano eseguendo una serie di gesti standardizzati (anche per mantenere le norme di sicurezza).

Queste condizioni sembrano dipingere l'ambiente ideale per portare avanti un caso di ricerca: ed è così che è nata l'idea di testare le illusioni ottiche nel tiro al bersaglio.

Il tiro a segno ottiene una codificazione della disciplina in Italia nel 1861, sebbene sia stato praticato per secoli durante l'addestramento militare per insegnare ai civili a sparare. Nel 1863 a Torino si è tenuto il primo raduno ufficiale della Società del Tiro Nazionale, mentre nel 1882 è nato il Tiro a segno nazionale ed esso entra a far parte delle discipline olimpiche già alla prima edizione di Atene nel 1896. Attualmente è affiliato al CONI ed inserito nel programma dei Giochi della Gioventù.

Per quanto riguarda la pratica in sé, il tiro a segno origina dalla pratica militare, ed il suo scopo è quello di colpire un bersaglio il più vicino possibile al centro, utilizzando armi da fuoco, ad aria compressa oppure a CO2 e la distanza dal bersaglio è sempre standardizzata. Tali distanze variano tra

i 10 metri (di solito indoor), passando per il 25 ed i 50 metri e possono arrivare ai 300 metri ed esistono regolamenti differenti in base al tipo di arma che viene utilizzata.



Fig.12 Bersaglio del Tiro A Segno Nazionale di Padova

Una parentesi andrebbe aperta per quanto riguarda il bersaglio: Per quanto concerne il bersaglio esistono differenti tipologie di bersaglio che possono essere utilizzate durante la pratica, e variano anche in base all'arma, ma normalmente durante le gare di tiro con carabina si utilizza un bersaglio avente caratteristiche standard: le dimensioni sono 170mm x170mm, la circonferenza esterna è di 15,5 cm, il bersaglio è caratterizzato da 10 circonferenze concentriche, è di colore panna, le circonferenze sono numerate dall'1 (più esterno) al 10 (più interno) e la parte centrale del bersaglio, a partire dalla circonferenza numero 7, ha sfondo nero. Questa

scelta non è causale, infatti i tiratori utilizzano le estremità della zona nera in rapporto alla sua posizione sul mirino per aggiustare il proprio tiro.

È partendo dall'osservazione del bersaglio standard che è stata scelta l'illusione da utilizzare. Infatti né l'illusione di Muller-Lyer, né quella di Ebbinghaus sembravano candidate ideali per questo tipo di stimoli. La scelta è quindi ricaduta su un'illusione che permettesse di lavorare con centri concentrici che assomigliassero a quelli utilizzati nel tiro sportivo: per tale compito è stato deciso di utilizzare l'illusione di Delboeuf. Si tratta di una illusione di grandezza scoperta da Joseph Remi Leopold Delboeuf nel 1865 (da cui prende il nome). La sua versione più nota si basa su due dischi della stessa dimensione presentati uno accanto all'altro, entrambi circondati da un anello. A seconda della dimensione che tale anello ha, esso può far apparire il disco centrale più grande oppure più piccolo. In particolare quando l'anello è più largo il disco centrale viene percepito come più piccolo rispetto a quello con l'anello più stretto che appare più grande. Ikeda e Obana (1955) descrivono l'illusione come il risultato dello spazio lasciato tra

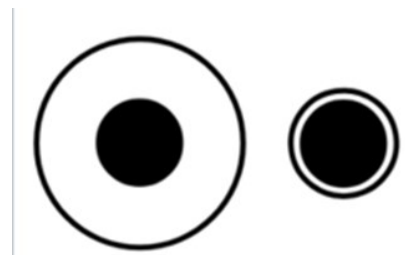


Fig.13 Illusione di Ebbinghaus

la prima circonferenza e la seconda: uno spazio più piccolo produce sovrastima, mentre uno spazio più grande produce sottostima. Inoltre, se si aumenta il contrasto luminoso tra la circonferenza interna e quella esterna, il centro subisce un incremento apparente di grandezza. (Oyama, 1962).

Gli scopi di questo studio sono due: verificare se l'illusione di Delboeuf abbia un impatto nella performance dei tiratori e studiare i cambiamenti fisiologici a cui sono soggetti i vari tiratori durante il compito di mira sia in condizioni normali che quando soggetti all'illusione. Prendendo in considerazione i risultati delle ricerche precedenti ci aspettavamo che il bersaglio modificato per far apparire il centro più grande facilitasse il compito di mira. Prima dello svolgimento della prova i

partecipanti hanno anche compilato un questionario riguardante il proprio livello di stanchezza e di ansia, in modo tale da tener conto di questi fattori durante l'esecuzione.

## 3.2 METODI

### 3.2.1 Partecipanti

A questo studio hanno partecipato quaranta soggetti di cui 14 femmine e 26 maschi. L'età media era di 42,05 anni (M=42,05 anni, DS=20,52). I partecipanti erano tutti tiratori regolarmente iscritti al Tiro a Segno Nazionale di Padova ed erano tutti tiratori a livello agonistico a parte 5 partecipanti. Secondo quanto dichiarato, la media di anni di allenamento è pari a 13,36 (M=13,36 anni, DS=13,47). Trentotto partecipanti su quaranta erano destrimani, i restanti due erano mancini, mentre tredici partecipanti hanno riportato di avere problematiche visive (miopia, presbiopia etc), corrette però da opportune lenti ottiche. Quattordici partecipanti facevano parte della categoria junior (età minore o uguale a 25 anni ma maggiore o uguale a 10) mentre i restanti ventisei avevano un'età compresa tra i 42 anni e i 76 anni. Inoltre ai partecipanti non era stata data indicazione sull'assunzione di cibo o sostanze avanti nelle tre ore precedenti, ma tramite un questionario sono stati raccolti dati a riguardo.

Tab. 1 Partecipanti coinvolti nello studio

Numero	Codice Sogg	Sesso	Età	Altezza	Peso	Mano dom.	Inizio pratica	Anni Pratica	livello	Vista	Sostanze	stanchezza	tensione
1	MD2209	M	15	180	60	D	2019	3	0	0	cibo	3	4
2	LV0129	M	57	174	69	D	2016	6	0	0	nulla	2	8
3	LT0903	M	76	173	93	D	2000	12	0	0	cibo	2	7
4	CS1604	F	56	170	68	D	2020	2	0	0	attivanti	3	9
5	VD0606	F	17	151	50	D	2015	7	0	0	cibo	3	4
6	DD2611	M	14	172	59	D	2019	3	0	0	cibo	4	6
7	FT1401	M	12	180	60	D	2021	1	0	0	cibo	3	3
8	EB2407	F	17	172	60	D	2017	5	0	0	cibo	4	7
9	DG1006	F	56	167	58	D	2021	1	1	4	nulla	1	9
10	PSB2612	M	59	168	82	S	1995	27	0	0	cibo	1	3
11	RR2312	M	52	181	89	D	2018	4	0	4	nulla	3	9
12	EP0310	M	62	160	68,5	D	1980	42	0	0	cibo	4	3
13	SM0710	M	63	180	105	D	2021	21	0	2	attivanti	5	4
14	EA2202	M	42	170	74	D	1991	31	0	0	cibo	4	4
15	MZ1107	M	49	175	90	D	2016	6	0	0	cibo	1	8
16	CV1109	F	44	168	60	S	2018	4	1	2	cibo	3	7
17	VZ1103	F	21	163	50	D	2017	5	0	0	cibo	5	2
18	AL0406	F	13	148	58	D	2021	1	0	0	attivanti	4	6
19	PB2804	M	19	173	80	D	2018	5	0	2	attivanti	4	5
20	EV1909	F	15	163	65	D	2016	6	0	2	attivanti	4	5
21	MO2209	F	64	170	72	D	2019	22	0	0	attivanti	4	7
22	AB2602	M	48	178	94	D	2021	0,5	0	4	entrambi	4	6
23	MP2812	M	47	178	80	D	2009	13	0	1	nulla	3	4
24	MS1004	M	25	170	90	D	2012	10	0	4	cibo	4	8
25	FR2707	M	49	177	85	D	1992	30	1	0	attivanti	3	7
26	LA0202	M	66	185	90	D	1979	43	0	2	attivanti	1	6
27	CC1307	M	65	176	99	D	2000	22	0	0	attivanti	3	5
28	FB1703	F	24	158	48	D	2016	6	0	0	cibo	1	5
29	AZ1705	F	18	168	55	D	2021	1	0	0	attivanti	3	8
30	BF2601	M	65	180	115	D	1991	31	0	4	attivanti	4	7
31	VC1605	M	62	174	77	D	2004	17	0	0	attivanti	1	8
32	GR0509	M	10	135	32	D	2021	1	1	2	cibo	6	4
33	GT1405	M	66	180	78	D	1984	38	0	0	attivanti	5	7
34	MB3012	M	56	175	98	D	1983	39	0	0	attivanti	3	9
35	DP0510	M	43	187	100	D	2009	13	0	0	cibo	1	5
36	CB2511	M	67	170	85	D	1985	37	0	4	cibo	3	9
37	EH2107	F	17	176	49	D	2014	8	0	0	cibo	4	4
38	PM1971	F	43	170	60	D	2017	5	0	0	cibo	1	10
39	ID2212	F	32	170	69	D	18	1	1	0	cibo	4	7
40	FM0506	M	56	180	120	D	2017	5	0	0	attivanti	4	5

### 3.2.2 Il compito

Il compito dei partecipanti allo studio era quello di tirare trenta colpi su trenta bersagli, uno



Fig. 14 I bersagli A e B modificati per ricreare l'illusione

per ogni bersaglio. Sono stati utilizzati tre diversi tipi di bersaglio divisi in blocchi da dieci per ogni tipo. Un tipo era il bersaglio standard usato solitamente dagli atleti durante gli allenamenti o le gare (C).

Gli altri due erano bersagli (A e B) erano stati modificati in

modo tale da riprodurre l'illusione di Delboeuf. Entrambi i bersagli modificati avevano il centro di diametro di 27mm, di colore bianco, mentre il bersaglio di tipo A, quello che richiama lo stimolo dell'illusione di Delboeuf che appare come più piccolo per contrasto, aveva l'anello circostante il centro di diametro di 91mm. Il secondo bersaglio modificato, il B, appare solitamente più grande, e aveva invece un anello di diametro di 43 mm a circondare il centro. I due anelli erano entrambi neri mentre il centro era bianco. La circonferenza che delimitava il bersaglio aveva invece un diametro di 15,5 cm come i bersagli standard. Entrambi i bersagli modificati sono stati stampati su cartoncino bianco di dimensioni 17x17 cm e pesavano 100g.

### 3.2.3 Strumentazione

Gli strumenti utilizzati sono stati i 3 tipi di bersaglio, un portatile con Office Microsoft Power Point, utilizzato dai partecipanti per ricreare la dimensione percepita del centro del bersaglio, un questionario per i dati dei soggetti ed una versione ridotta della "Samn-Perelli Scale" (1982) composta da due item. Nel primo item i soggetti dichiaravano il loro grado di stanchezza su una scala da 1 "pienamente vigile" a 7 "completamente esausto", mentre nel

secondo dichiaravano il proprio grado di tensione su una scala da 0 a 10 dove lo zero rappresentava la voce “teso”, mentre il dieci indicava la voce “rilassato”.

Sono stati inoltre utilizzati due bracciali Empatica E4 wristband, strumenti cioè in grado di acquisire in tempo reale dati fisiologici come heart rate, conduttanza cutanea e temperatura corporea. I tracciati dei soggetti vengono mantenuti in memoria e restituiscono valori come il BVP (Blood Volume Pulse) oltre ad essere dotati di un accelerometro. I bracciali sono dotati anche di una funzione che permette ai partecipanti di eseguire un “trigger” che rimarrà segnato sul tracciato, semplicemente premendo un bottone posto sul davanti dello strumento.

Infine la sede del Tiro a Segno Nazionale di Padova ha fornito ad ogni partecipante una pistola ad aria compressa ed i piombini con i quali hanno preso parte all’esperimento.

### 3.2.4 Procedura

Per prima cosa è stato chiesto loro di compilare un questionario dove venivano richiesti i dati del tiratore: sesso, età, altezza, peso, mano dominante, inizio pratica, anni di pratica, se fossero tiratori agonisti oppure no, se avessero difetti di vista e se avessero assunto sostanze attivanti o cibo entro le tre ore dalla prova. Successivamente i tiratori hanno compilato la versione ridotta della “Samn-Perelli Scale”. Una volta terminata questa parte ai partecipanti veniva consegnato il bracciale Empatica E4 wristband che veniva indossato sul polso della mano non dominante, in quanto sarebbe stata quella meno mossa durante la prestazione, il che avrebbe garantito quindi una minor percentuale di artefatti di movimento. Ad ognuno di loro veniva dato quindi il pacco di 30 bersagli già ordinati da mantenere nello stesso ordine in cui venivano consegnati. I bersagli erano già divisi nei tre gruppi da dieci e sono stati organizzati in modo da evitare che le prestazioni potessero venire influenzate da fattori come la stanchezza o l’abitudine, cambiando l’ordine dei 3 blocchi tra i vari soggetti in sequenza pseudo-random. Il pattern dei bersagli finale fu questo:

Pattern bersagli	Numero soggetti
AxCxB	6
AxBxC	7
BxCxA	7
BxAxC	6
CxBxA	7



CxAxB	7
-------	---

Tab. 2 Mostra le 6 combinazioni di bersagli ed il numero di soggetti a cui sono state somministrate

Per quanto riguarda i tiratori essi avevano ricevuto istruzioni di effettuare lo sparo come avrebbero fatto in gara: dopo un colpo avrebbero riportato indietro il bersaglio tramite l'apposito carrellino e lo avrebbero posizionato a faccia in giù alla loro destra, in modo tale da restituirli, una volta finita la prova, nello stesso ordine in cui erano stati consegnati.

Prima di iniziare la prova gli atleti ricevevano istruzione di attendere tre minuti fermi in modo tale da permettere al bracciale di registrare una baseline di circa 3 minuti. Una volta terminati i tre minuti avrebbero iniziato la prova, ricordandosi di premere il trigger prima di ogni colpo, in modo tale da segnare sul tracciato il momento dello sparo. La prova veniva svolta in un poligono indoor, utilizzando carabine ad aria compressa e piombini, mentre il bersaglio era posizionato a 10 metri dai tiratori che tramite un carrello potevano cambiare i bersagli senza togliere la mano dall'arma. Alla fine della prestazione, i soggetti attendevano nuovamente 3 minuti per registrare una baseline finale. Infine, l'ultimo compito consisteva nel provare a riprodurre – senza più visione degli stimoli – quanto grandi fossero i centri dei bersagli A e B disegnandoli su un portatile tramite Office Microsoft PowerPoint. Tale passaggio si è reso essenziale al fine di verificare se l'illusione fosse stata percepita realmente dai soggetti. Per quel che sono consapevole, non ci sono studi che abbiano indagato la Delboeuf illusion a una tale distanza e con uno stimolo che ha di conseguenza una dimensione retinica molto limitata.

### **3.2.5 Le variabili registrate**

#### **3.2.5.1 Performance**

Per la misura dell'accuratezza si è fatto riferimento ad una variabile comunemente registrata in psicologia dello sport, l'errore radiale (Gallicchio et al.,2017), cioè la distanza, espressa in millimetri, tra il centro del bersaglio ed il punto di impatto del proiettile. Tali valori sono stati calcolati manualmente per ogni bersaglio.

### 3.2.5.2 Correlati psicofisiologici: BVP e HR



Fig.15 Bracciale  
Empatica E4

Il bracciale Empatica E4 forniva, in formato .csv diverse informazioni tra cui l'accelerometro, l'IBI, la temperatura ed il BVP. Per lo studio sono stati utilizzati il BVP e l'accelerometro. L'accelerometro a tre assi è stato utilizzato al fine di ispezionare gli artefatti di movimento presenti nel segnale. A partire dal tracciato del BVP (blood volume pulse) è stato possibile ricavare il tracciato del battito cardiaco (heart rate). Due partecipanti sono stati esclusi a priori dalle analisi a causa di problemi

tecnici.

#### 3.2.5.2.1 Elaborazione del segnale

Al fine di misurare la FC media della baseline, sono stati individuati gli ultimi due minuti prima del primo marker (cioè l'inizio della sessione di ripresa) per ciascuna registrazione. Dopo aver selezionato il segmento di registrazione di due minuti, sono stati derivati gli intervalli di impulso come la differenza temporale (ms) tra i punti del piede dell'onda di impulsi consecutivi, utilizzando una procedura simile a quella di Menghini et al. (2019). Gli artefatti nei segmenti di base sono stati doppiati automaticamente con il software gratuito ARTiiFACT (Kaufmann et al., 2011) utilizzando la spline interpolation e, successivamente, sono stati manualmente rielaborati in quei casi ( $N = 24$ , 65%) che mostravano cambiamenti assoluti di FC superiori ad 1 bpm dovuti ad un numero troppo piccolo (cioè 1-5) di impulsi. Tre partecipanti sono stati esclusi dall'analisi della FC di base in quanto la durata della registrazione della baseline risultava inferiore a due minuti, mentre cinque partecipanti sono stati esclusi a causa di un segnale eccessivamente rumoroso nella maggior parte dell'intervallo. Inoltre, metà dei restanti partecipanti ( $N = 15$ ) è stata contrassegnata come "flagged" a causa di schemi di segnale insoliti o di un numero elevato di correzioni apportate ai dati.

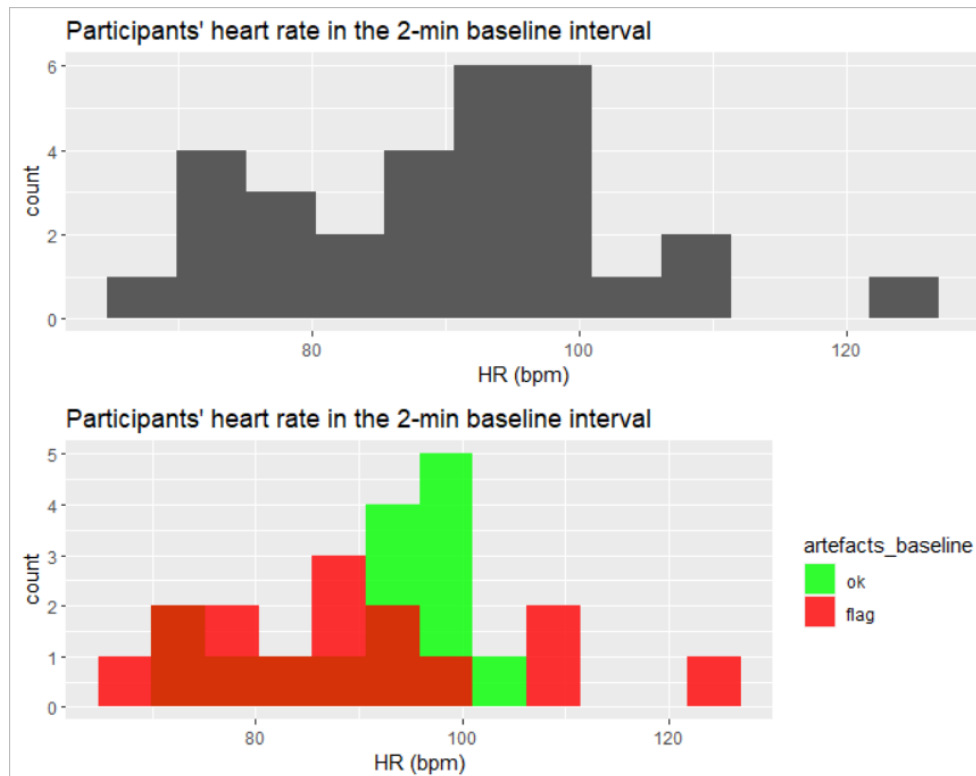


Grafico 1 mostra la distribuzione dell'Hr medio dei partecipanti ottenuta nei due minuti di baseline

### 3.3 ANALISI STATISTICHE E RISULTATI

#### 3.3.1 Performance

E' stata inizialmente calcolata la media ottenuta per ogni gruppo (cioè la media dell'errore radiale di A, B e C) utilizzando la funzione di R Studio `mean(var1, Na.rm=true)` dove `mean` è il comando per calcolare la media, `perfl` è il nome della variabile e `na.rm=TRUE` è il comando utilizzato per rimuovere i valori mancanti. Le medie ottenute sono state 18,25 millimetri per il bersaglio A, 17,41 mm per il bersaglio B e 17,31 per quanto riguarda il bersaglio C. È stata poi calcolato l'errore standard per ognuna delle variabili tramite la funzione `std.error(var1)` ottenendo così un errore standard  $SE=0,72$  per quanto riguarda il bersaglio A e, rispettivamente, per il B ed il C l'errore è risultato  $SE=0,73$  e  $SE=0,66$ . A partire da questi dati sono stati scartati i valori considerati outlier, cioè quei valori che si

distaccavano di più di 2 deviazioni standard dalla media, sfruttando le funzioni di Rstudio è stato scritto un codice che individuasse questi valori e li togliesse dalla tabella.

Una volta ricavato un dataset privo di outlier, utilizzando lo stesso sistema, sono state calcolati nuovamente la media e l'errore standard, i risultati del prima e del dopo sono esposti nella tabella 3:

<b>A</b>	<b>con outlier</b>	<b>no outlier</b>	<b>B</b>	<b>con outlier</b>	<b>no outlier</b>	<b>C</b>	<b>con outlier</b>	<b>no outlier</b>
<b>media</b>	18,25	17,88	<b>media</b>	17,4	16,66	<b>media</b>	17,31	16,67
<b>ES</b>	0,72	0,73	<b>ES</b>	0,73	0,71	<b>ES</b>	0,66	0,61

Tab. 3 Mostra le medie e gli errori standard delle performance ottenute sui tre bersagli prima e dopo aver tolto gli outlier.

Dal secondo dataset sono stati esclusi un totale di  $n= 37$  valori (3,08% totale di outlier eliminati). Tuttavia, i risultati delle analisi principali sono simili nel campione con o senza outlier. In virtù di ciò e del fatto che un dato lontano dal valore medio riflette comunque una misura di performance (in questo caso di uno sparo poco accurato), le analisi riportate in questa tesi fanno riferimento al campione non filtrato dai possibili outlier.

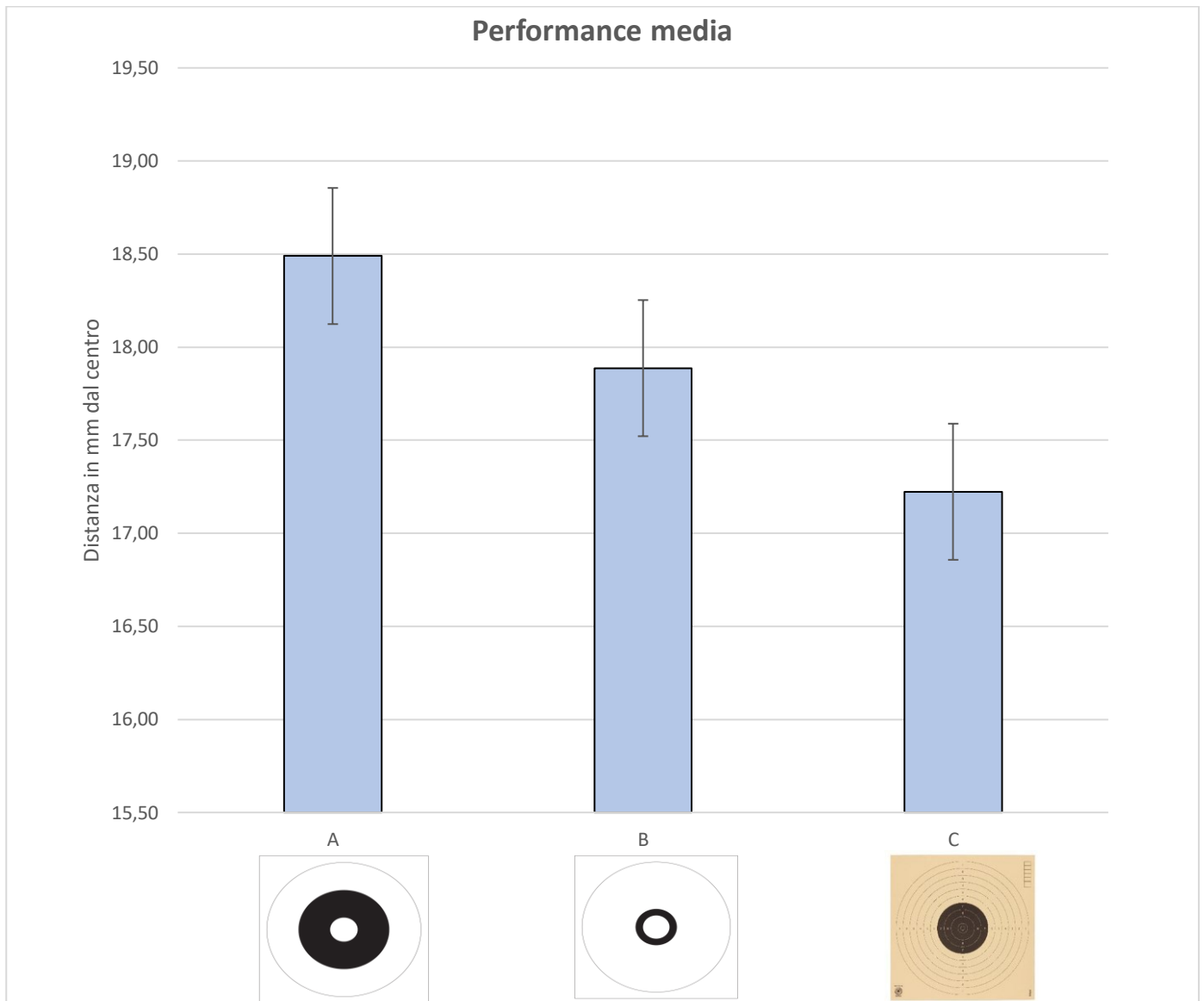


Grafico 2 Le tre variabili sono state rappresentate in un grafico a colonne per valutare qualitativamente le differenze tra le prestazioni

Il test di Shapiro-Wilk sull'errore radiale per tutte e 3 le tipologie di bersaglio ha documentato come i dati non si distribuiscano normalmente (A:  $p < 2.2e-16$ ; B:  $p < 2.2e-16$ ; C:  $p < 2.2e-16$ ). Alla luce di questo, sono stati condotti tre test dei ranghi segnati di Wilcoxon al fine di definire se le prestazioni differissero statisticamente dal target esatto (0, nel caso del radial error, in quanto indice di un tiro perfetto).

I 3 test erano così presentati in codice:

```
wilcox.test(Perf0,  
            Perf1,  
            alternative="two.sided",  
            paired=TRUE)  
wilcox.test(Perf0,  
            Perf2,  
            alternative="two.sided",  
            paired=TRUE)  
wilcox.test(Perf1,  
            Perf2,  
            alternative="two.sided",  
            paired=TRUE)
```

Il primo test prendeva come vettori la performance ottenuta dai 40 soggetti sui bersagli di tipo A (Perf0) e la performance ottenuta sui bersagli di tipo B (Perf1), l'alternative= "two.sided" indica la scelta di valutare una differenza significativa tra le medie "in entrambe le direzioni", cioè non viene stabilito in anticipo di verificare se il primo vettore una avesse una media significativamente maggiore (greater in Rstudio) o minore (lesser) del secondo, ci si limitava ad esplorare una possibile differenza tra le medie in qualsiasi direzione. Il comando paired=TRUE indica invece che i due vettori contengono dati derivanti dallo stesso campione.

Il secondo test, invece, ha come vettori la performance ottenuta su A e su C (Perf2), rimane invariato il corpo del test, e lo stesso avviene per il terzo test, che confronta invece le prestazioni tra B e C.

I risultati dei test di Wilcoxon evidenziano che il confronto delle performance su A e B non è statisticamente significativo ( $V=39824$ ,  $p=0.2215$ ), lo stesso risultato è stato riscontrato nel confronto tra B e C ( $V=36377$ ,  $p=0.9264$ ) ed il confronto tra A e C ( $V=40363$ ,  $p=0.1417$ ).

L'analisi successiva è stata fatta invece sulla percezione dell'illusione ottica: i partecipanti avevano riportato su una pagina PowerPoint la dimensione percepita dell'illusione, ricreando il centro del bersaglio per come lo percepivano loro a 10 metri di distanza. Come metro è stato preso il diametro riportato in millimetri sia per il bersaglio di tipo A che per il bersaglio di tipo B. È stata fatta una media per entrambi, dove il bersaglio A è stato percepito avere mediamente un diametro di  $M= 38,2$  mm mentre il bersaglio B di  $M= 33,52$ . Sono state

calcolate poi le deviazioni standard per entrambi (DS=10,33 e DS=11,85). Il test di Shapiro-Wilk ha dimostrato che i dati si distribuivano in maniera normale ( $p=0,197$  e  $p=0,536$ ).

<b>Codice Sogg</b>	<b>Dim. perc A</b>	<b>Dim. Perc. B</b>
MD2209	44	32
LV0129	46	46
LT0903	22	18
CS1604	34	20
DD2611	48	44
EB2407	32	24
FT1401	38	36
DG1006	38	38
PSB2612	32	40
RR2312	38	36
EP0310	52	36
CV1109	42	22
MZ1107	56	46
EA2202	44	42
SM0710	36	34
EV1909	37	38
PB2804	36	36
AL0406	56	30
VZ1103	60	24
FBI703	34	34
CC1307	25	32
FR2707	56	30
MS1004	35	30
LA0202	25	25
MP2812	44	38
AB2602	34	28
MO2209	20	34

VC1605	48	87
GR0509	30	24
BF2601	37	39
AZ1705	32	32
MB3012	52	28
DP0510	34	34
CB2511	24	21
GT1405	29	25
ID2212	32	23
EH2107	31	31
FM0506	24	20
PM1971	39	30
VD0606	52	54

Tab. 4 Mostra la dimensione riportata in mm del diametro del centro dei bersagli A e B e la dimensione reale del centro.

Al fine di verificare la presenza o meno della percezione dell'illusione ottica sono stati eseguiti tre t-test, il primo è stato un t-test per campioni appaiati dove il primo vettore era rappresentato dalla dimensione percepita di A, il secondo era costituito invece dalla dimensione percepita di B, al fine di verificare se vi fosse una differenza significativa tra le due medie. Il secondo ed il terzo t-test sono stati invece t-test per campioni singoli nei quali si voleva testare se le medie percepita della dimensione di A e quella di B fossero significamene differenti dalla dimensione reale dei due centri (diametro di 27 cm).

```
t.test(Corrdimperf2$`Dim. perc A`,
      Corrdimperf2$`Dim. Perc. B`,
      paired=TRUE,
      alternative="two.sided")

t.test(Corrdimperf2$`Dim. perc A`,
      mu=27, alternative="two.sided")
t.test(Corrdimperf2$`Dim. Perc. B`,
      mu=27, alternative="two.sided")
```

Il t-test eseguito tra la dimensione percepita di A e quella di B ha rivelato una differenza significativa tra le due medie (t=3.52, gdl=37,p=0.00117).



Infine entrambi i t-test a campione unico che confrontavano la media delle dimensioni percepite di A con la dimensione reale del centro (errore radiale pari a 0), e le dimensioni percepite di B sempre con la dimensione reale, hanno evidenziato che il confronto è statisticamente significativo in entrambi i casi (rispettivamente  $t= 6.7574$ ,  $gdl=38$ ,  $p = 5.246e-08$ , e  $t=3.9328$ ,  $gdl=38$ ,  $p = 0.00034$ ).

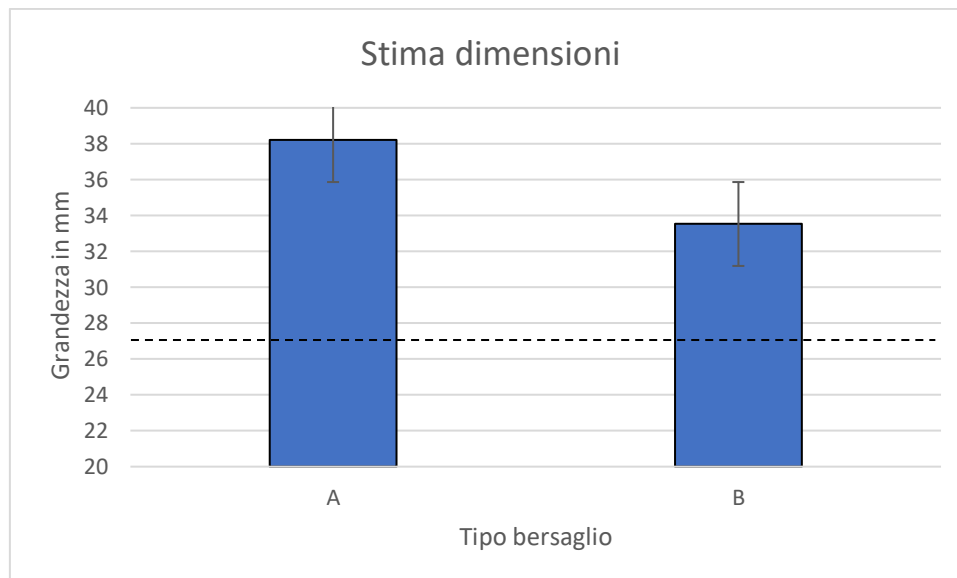


Grafico 3 Il grafico rappresenta la dimensione percepita del diametro dei due bersagli, la linea tratteggiata corrisponde alla dimensione reale

Un terzo tipo di analisi è stato inoltre eseguito calcolando la performance media per partecipante data dalla media ottenuta dalle performance avute dal singolo su ogni bersaglio, ottenendo così un valore medio di prestazione per ogni singolo. Questa operazione è stata fatta al fine di permetterci di esplorare possibili correlazioni tra la performance ed i diversi fattori presi in considerazione durante lo studio. Infatti la performance totale è stata correlata, tramite il coefficiente di correlazione dei ranghi di Spearman, sia con l'età dei tiratori, per verificare se questo fattore influenzasse o meno l'abilità nel tiro dei soggetti, sia con gli anni di pratica.

Infine lo stesso test di correlazione è stato applicato anche per valutare la possibile correlazione tra la performance totale ed il grado di stanchezza ( $M=3,1$ ) espresso nella scala Samn-Perelli e la performance ed il grado di tensione ( $M=6,1$ ), sempre espresso nella stessa scala.

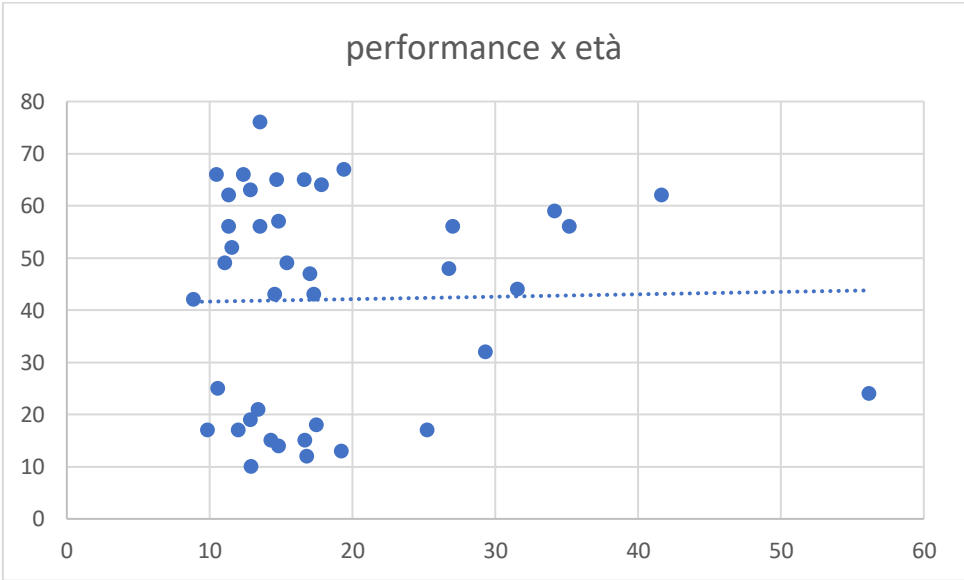
```
cor.test(Corrdimperf2$esA,
        Corrdimperf2$`Pm A`,
        method="spearman",
        use="everything",
        alternative="two.sided")
```

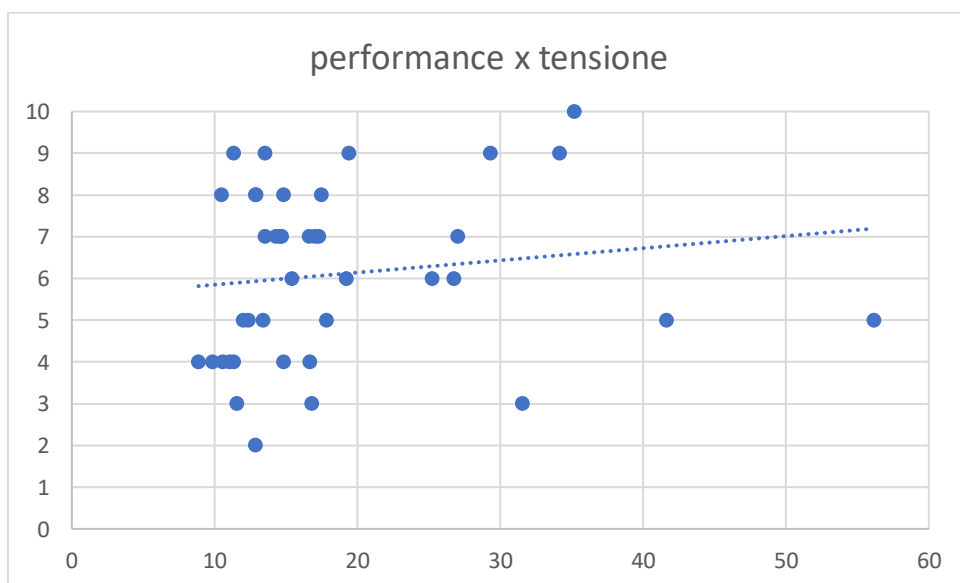
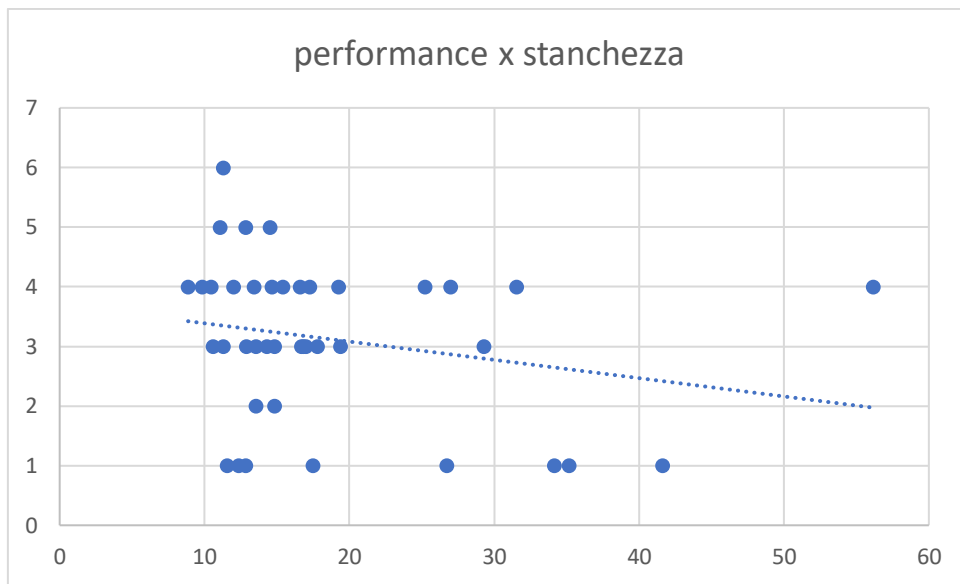
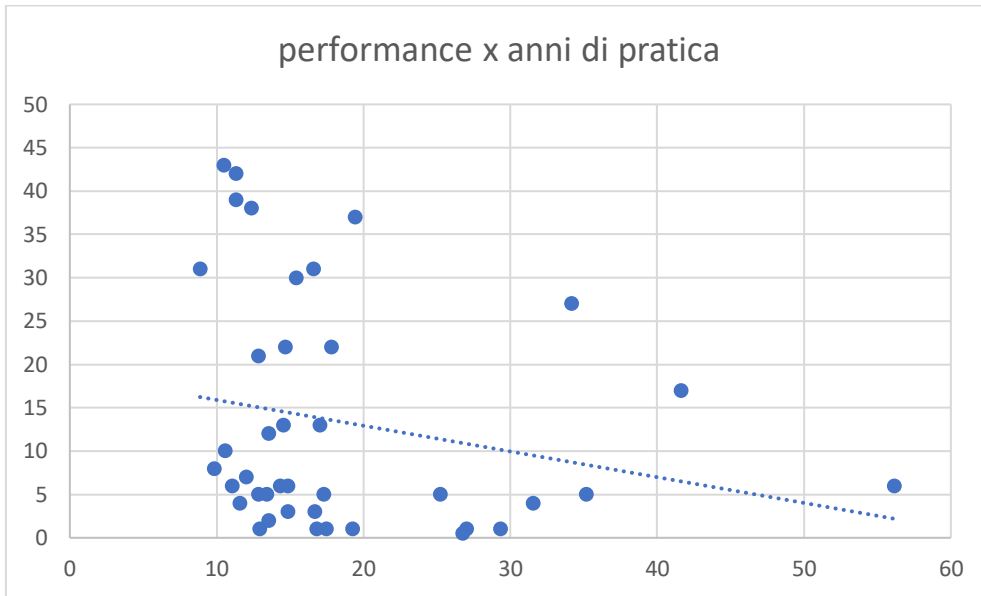
Esempio di test di correlazione di Spearman dove si possono vedere i due vettori, la scelta di metodo (method="spearman") e l'alternativa utilizzata (alternative="two.sided")

La prima analisi di correlazione eseguita tramite coefficiente di correlazione dei ranghi di Spearman attuata tra la performance totale dei tiratori e l'età ha evidenziato un'assenza di correlazione ( $\rho = 0.001$ ,  $p = 0.997$ ). È stata invece riscontrata una correlazione tra la performance totale e gli anni di pratica ( $\rho = -0.390$ ,  $p = 0.013$ ). Il test è stato ripetuto correlando sempre la performance, ma in questo caso con la tensione e la stanchezza, ed i due test di Spearman hanno dimostrato l'assenza di correlazione tra le variabili (rispettivamente  $\rho = 0.241$ ,  $p = 0.133$  e  $\rho = -0.240$ ,  $p = 0.134$ )

Di seguito si possono osservare gli scatterplot delle correlazioni, tenendo conto che tutti hanno sull'asse delle ascisse la prestazione totale media (cioè una media ottenuta dalla prestazione eseguita sui 3 tipi di bersaglio per il singolo tiratore), mentre sull'asse delle ordinate troviamo rispettivamente: età, anni di pratica, stanchezza e tensione.

Grafico 4-7: mostrano gli scatterplot delle correlazioni





Al fine di approfondire la correlazione trovata tra la performance e gli anni di pratica sono stati eseguiti altri tre test di correlazione di Spearman dove le performance medie dei tre tipi di bersaglio sono state correlate separatamente con gli anni di pratica. I risultati dei test hanno mostrato una correlazione significativa per le performance sui bersagli A e B (A:  $\rho=-0.386$ ,  $p=0.014$ ; B:  $\rho=-0.452$ ,  $p=0.003$ ) mentre non è stata evidenziata alcuna correlazione tra la performance ottenuta sul bersaglio C e gli anni di pratica ( $\rho=-0.214$ ,  $p=0.184$ ).

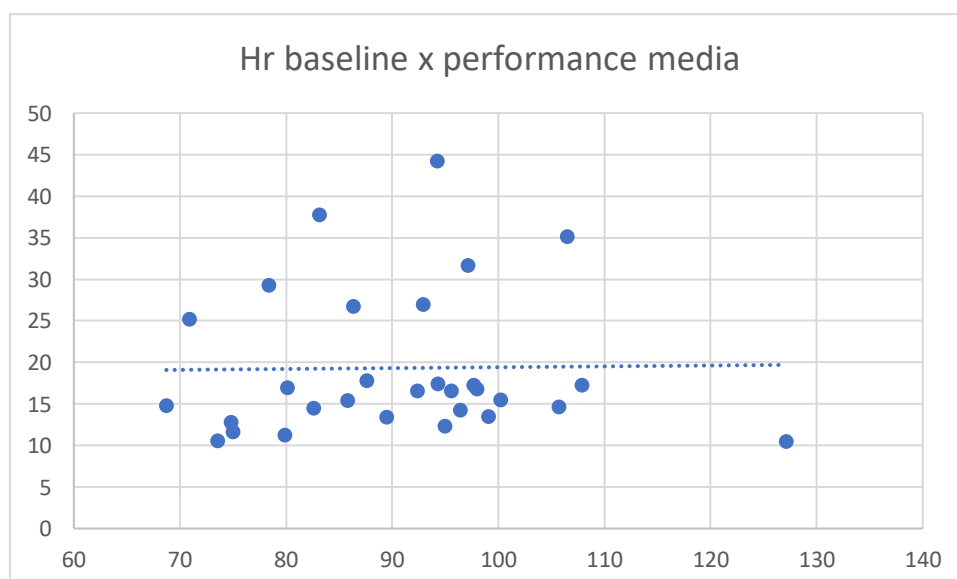
### **3.3.2 Dati fisiologici**

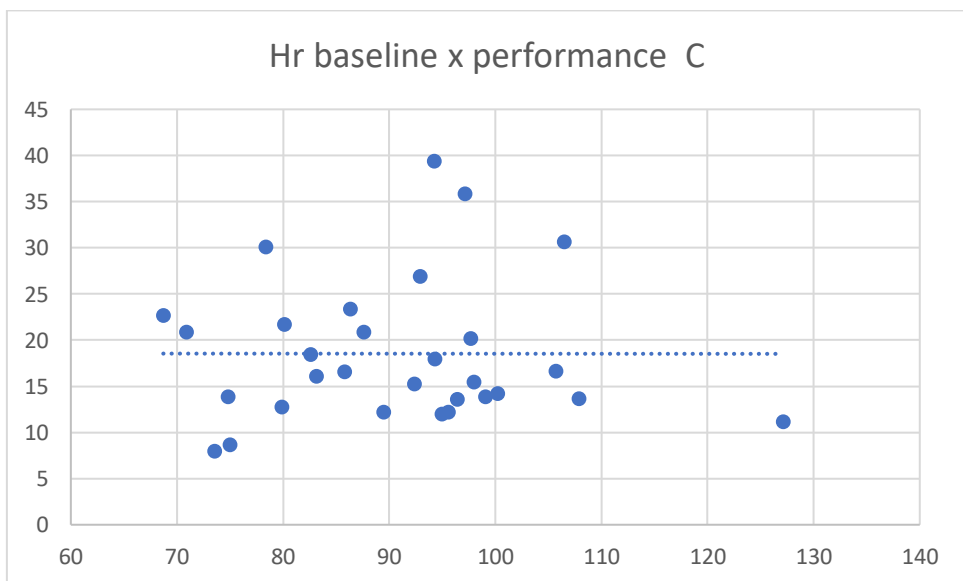
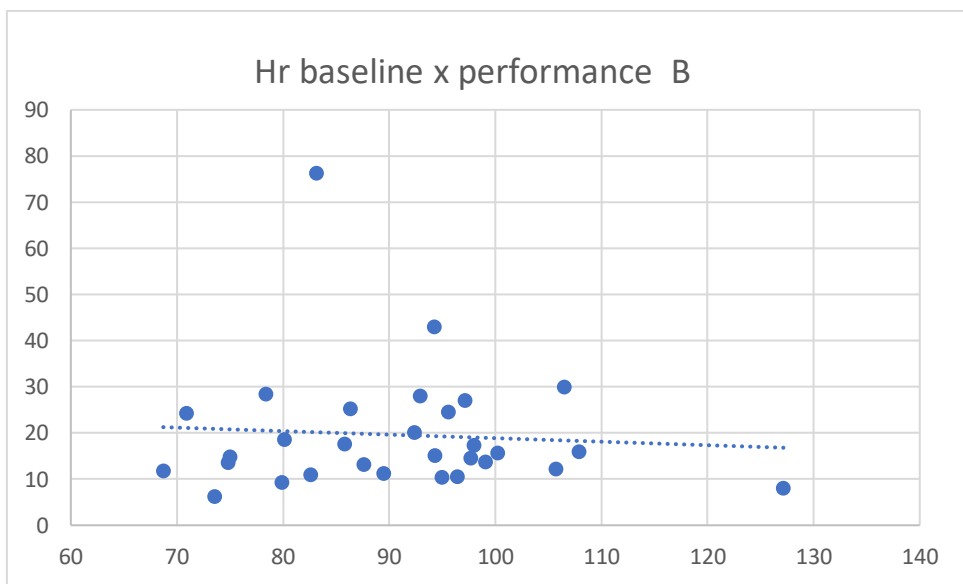
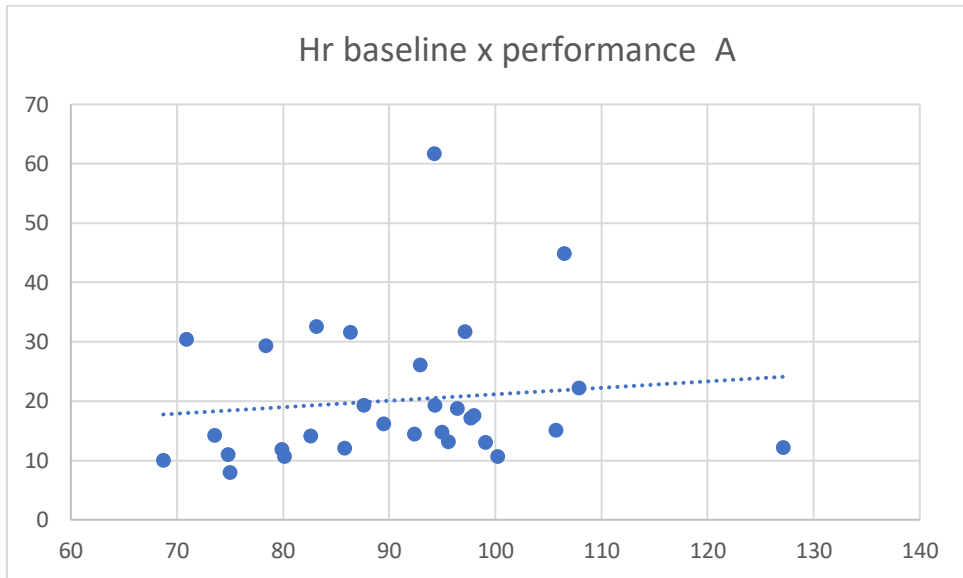
La frequenza cardiaca ricavata dai due minuti di baseline è stata correlata, tramite indice di correlazione di Spearman con la performance media totale dei partecipanti, l'analisi è stata poi ripetuta per la performance media di ogni bersaglio.

Tutti e quattro i test hanno restituito un'assenza di correlazione (performance media:  $\rho=0.100$ ,  $p=0.599$ ; A:  $\rho=0.228$ ,  $p=0.225$ ; B:  $\rho=0.042$ ,  $p=0.823$ ; C:  $\rho=-0.060$ ,  $p=0.752$ ).

Di seguito sono riportati i grafici di correlazione della frequenza cardiaca media (sempre sull'asse delle ascisse) e le performance, prima con la performance media totale, successivamente con le performance ottenute sui 3 tipi di bersagli.

Grafico 8-11: mostrano gli scatterplot delle correlazioni tra la frequenza media delle baseline e le performance





### 3.4 DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Lo scopo principale di questa ricerca era scoprire se effetti simili a quelli ottenuti negli studi di Witt et al. nel golf fossero riproducibili anche in un compito di mira come quello del tiro al bersaglio.

Al fine di verificare se una illusione di grandezza impatta sull'accuratezza in un compito motorio fine come un tiro al bersaglio, era necessario innanzitutto dimostrare che l'illusione ottica fosse percepita dai partecipanti. I risultati hanno mostrato sì un effetto illusorio ma non nella direzione attesa: secondo i meccanismi tradizionalmente ipotizzati nella Delboeuf Illusion il centro circondato da una circonferenza più larga dovrebbe apparire minore, mentre quello circondato da una circonferenza più stretta dovrebbe apparire più grande, mentre in questo studio, il bersaglio A, quello circondato da una circonferenza maggiore appariva più grande del bersaglio B, che invece compariva più piccolo. È da tener presente che i due diametri erano in realtà equivalenti e misuravano 27mm. In questo caso entrambi i centri dei bersagli sono stati sovrastimati come dimensione, ma l'effetto ottenuto è stato opposto rispetto a quello atteso. È importante sottolineare che l'illusione è stata presentata ad una distanza di 10 metri dai partecipanti, distanza mai usata, per mia conoscenza, per quanto riguarda questa illusione. È possibile che vi sia una interazione tra i meccanismi di assimilazione/contrasto e la dimensione dell'immagine retinica: superata cioè una certa soglia (ad esempio un'immagine retinica molto piccola, come quella del bersaglio visto da 10 metri) vi sia una inversione dell'effetto per cui quello che da vicino per contrasto appare più grande, da lontano per la prevalenza di un meccanismo di assimilazione, appare più piccolo (e viceversa). In alternativa è possibile che i partecipanti – pur dichiarando di aver compreso che dovevano stimare la grandezza del cerchio bianco interno – non siano riusciti a dissociare la dimensione del cerchio bianco dal relativo contorno esterno nero. Di conseguenza, lo stimolo circoscritto dal cerchio nero più grande è stato ricordato da loro come più grande dell'altro. Un'altra ipotesi che si potrebbe fare parte dai risultati ottenuti Girgus e colleghi (1972) i quali scoprirono che, per quanto riguarda l'illusione di Ebbinghaus, nel caso in cui il centro dovrebbe essere sovrastimato, l'effetto dell'illusione si invertiva quando aumentava la distanza dei cerchi circostanti dal centro. Jaeger (1978) ha sottolineato una serie di similitudine tra l'illusione di Ebbinghaus e quella di Delboeuf, suggerendo che le due illusioni possano essere, in realtà una variante l'una dell'altra. Se si prendessero in considerazione i risultati di questi studi si potrebbe quindi supporre che un effetto simile possa essersi

verificato nel caso della nostra illusione, ovvero, nel tentativo di riprodurre l'illusione sui bersagli è possibile che i rapporti tipici alla base dell'illusione siano stati variati e che l'inversione di illusione dipenda in parte anche da questo fattore.

Assunto che i partecipanti hanno effettivamente percepito una illusione di grandezza (sebbene non nella direzione attesa), abbiamo analizzato quanto questa illusione avesse impattato sulla performance. Le analisi non hanno evidenziato nessuna differenza significativa tra le performance sui tre tipi di bersaglio. Questo risultato potrebbe essere dovuto ad un possibile effetto soffitto (i tiri infatti risultano molto accurati sempre, a circa 1.5-2 cm dal bersaglio) che potrebbe aver appiattito eventuali differenze sottili che invece potrebbero esistere nelle tre condizioni.

Infine, solo gli anni di pratica, per quanto riguarda le correlazioni, si sono rivelati correlare con la performance. Infatti il test indicava un  $\rho = -0.3576826$ , quindi una correlazione negativa non particolarmente forte tra la performance e gli anni di pratica. Ricordiamo che la performance indica una sorta di errore, cioè la distanza dal centro, questo significa che i tiratori più esperti tiravano in realtà più vicini al centro rispetto a quelli meno esperti, risultato plausibile con l'ipotesi che maggiore esperienza significhi anche maggiore precisione nel tiro. Per quanto riguarda le correlazioni invece tra gli anni di pratica e le performance dei singoli bersagli, come ci si aspettava, le performance su A e B e gli anni di pratica mostrano mantenere una correlazione in linea a quella trovata con la performance totale. Diverso è il risultato del test di correlazione nel caso della performance su C, il quale non evidenzia alcuna correlazione, andando contro le aspettative. Anche in questo caso si può chiamare in causa l'effetto soffitto come possibile spiegazione, in quanto i partecipanti erano già allenati a colpire il bersaglio C, poiché era il loro usuale bersaglio.

Secondo i valori ottenuti, invece, dalle correlazioni tra la performance ed i valori di tensione e stanchezza non sembra che essi abbiano in alcun modo influenzato la prestazione, è probabile che ciò dipenda dal fatto che i tiratori hanno sempre riferito valori medio-bassi di tensione e stanchezza, i quali non hanno avuto impatto sulla prestazione finale.

Infine, l'analisi sui dati fisiologici ha evidenziato un'assenza di correlazione tra la frequenza cardiaca media calcolata nelle baseline e la prestazione dei partecipanti. Non è possibile quindi individuare una frequenza cardiaca che si associa a una migliore performance in questo sport. Questo non significa che l'attività cardiaca non abbia alcuna influenza su di essa, ma

potrebbe indicare che un'analisi solo sulla frequenza cardiaca media prima dell'inizio della prova non sia sufficiente. Ad esempio nello studio di Lafarga e colleghi (2013) gli autori hanno calcolato la variazione della FC media trovando la differenza tra quella ottenuta subito dopo la prova e quella ottenuta durante la baseline, e fu quel valore poi a restituire una correlazione con la performance dei Judoka. Un possibile studio futuro in questo settore potrebbe prendere la variazione della FC come misurazione alternativa dell'attività cardiovascolare.

### 3.5 LIMITI DELLA RICERCA E IMPLICAZIONI PER I FUTURI STUDI

In presenza di diversi dati statisticamente nulli, è necessario tenere conto delle limitazioni che caratterizzano questo studio prima di trarre conclusioni sull'effettiva assenza di un effetto delle variabili indipendenti. Un impatto significativo sui risultati dello studio è dovuto dalla presenza del virus Covid-19 che ha reso difficile il reclutamento dei partecipanti: sebbene 40 soggetti non siano un campione ristretto, rimane comunque un campione molto eterogeneo, con partecipanti che andavano da un'età compresa tra i 10 e i 76 anni, dove non è stato possibile suddividere la popolazione in sottogruppi tra cui fare confronti (14 tiratori "junior", mentre 26 tiratori rientravano nella categoria senior, 14 tiratrici donne e 26 uomini, solo 5 tiratori amatoriali). Il problema del campione non deriva, però, solo dalla presenza del virus, infatti sembra essere una caratteristica intrinseca in questo sport: da quanto è emerso infatti durante lo svolgimento dello studio principalmente due categorie di persone si avvicinano a questo sport, cioè i giovanissimi o le persone più anziane che magari già cacciavano o che avevano già prestato servizio militare.

Oltre alle problematiche dovute al campione è necessario anche tener conto delle difficoltà incontrate nell'applicare uno studio di questo tipo in uno sport come il tiro a segno, dove mantenere la "naturalità" della situazione è estremamente importante in quanto la performance dei tiratori è molto legata all'abitudine. Infatti il sistema di mira varia da persona a persona, ma spesso si basa su indizi visivi presenti sul bersaglio (ad esempio lo spazio tra la circonferenza più esterna ed il bordo inferiore del cartoncino del bersaglio) e variare i bersagli potrebbe aver notevolmente inficiato le abilità dei tiratori. Sarebbe interessante studiare, magari in futuro, se bersagli diversi hanno impatti differenti su tiratori esperti o amatoriali, infatti abbiamo già visto che la performance migliora all'aumentare degli anni di



pratica, ma si potrebbe verificare se tiratori esperti o meno hanno prestazioni differenti se messi di fronte a contesti nuovi.

Un altro dettaglio da tenere in considerazione è la difficoltà riscontrata dai tiratori portare a termine l'esperimento, infatti venivano richiesti loro 30 colpi, l'equivalente di una prestazione da gara, richiesta che ha messo sotto pressione alcuni dei partecipanti. Inoltre la durata media dell'esperimento per partecipante era di circa un'ora, di cui 40 minuti venivano spesi sparando. Probabilmente sfruttando un campione più numeroso si potrebbe, in futuro, diminuire il numero di colpi per singolo soggetto, rendendo più leggero il compito per il singolo individuo. Un'altra soluzione, questa volta non possibile a causa dei limiti temporali imposti dalle scadenze, potrebbe essere quella di suddividere l'esperimento in più sessioni, in modo da renderlo più facile per i vari partecipanti, sebbene andrebbe considerati per bene i tempi, prevedendo magari dei tempi più lunghi per il riscaldamento e la familiarizzazione con l'arma. Anche la scelta dello strumento è importante, infatti gli atleti hanno sparato con le pistole ad aria compressa fornite dal poligono, che non in tutti i casi corrispondevano con l'arma solitamente utilizzata dal tiratore, dettaglio che potrebbe aver portato ad una variazione della performance per coloro che non hanno potuto usufruire del loro solito strumento.

È necessario inoltre sottolineare che una mancanza di differenza significativa nelle performance medie sui tre tipi di bersaglio può essere dovuta ad un'inadeguatezza della metodologia di raccolta dati, infatti i cartoncini, quando entravano in contatto con il piombino, si rompevano in maniera irregolare, rendendo difficile calcolare la distanza esatta dal centro del punto di impatto. Tale distanza è stata inoltre calcolata manualmente per ogni singolo bersaglio, lasciando quindi spazio all'errore umano e la misurazione risultava inoltre limitata dalla taratura dello strumento (in questo caso un righello, il quale limitava la scala ai millimetri).

Una parentesi a parte riguarda la scelta della strumentazione per la raccolta dei dati fisiologici: i due E4 wristband utilizzati sono stati fondamentali per la misurazione dell'attività cardiaca sebbene questo ha comportato anche delle problematiche. Infatti la raccolta dati è continuata per due mesi in quanto solo due tiratori alla volta potevano eseguire la prova in contemporanea, fatto che ha allungato di molto i tempi e creato difficoltà anche per il Poligono di Padova in quanto ha dovuto riservare all'esperimento due linee di tiro per volta, in maniera ripetuta, creando disagio anche agli altri tiratori che avevano bisogno di esercitarsi.

Utilizzando più bracciali il Poligono avrebbe invece potuto mettere a disposizione l'intera sala per poche sessioni concentrate. Inoltre i braccialetti hanno mostrato alcuni difetti dovuti proprio alla loro conformazione: in un paio di casi l'orologio risultava molto piccolo per il polso del tiratore e si adattava male, risultando in tracciati praticamente inutilizzabili. Inoltre, nonostante sia stato messo sul braccio non dominante, ogni volta che il tiratore si muoveva tra un colpo e l'altro il tracciato si poteva riempire di artefatti, rendendone difficile la lettura.

Infine per quanto riguarda i dati fisiologici sarà necessario ampliare l'indagine anche temporalmente. Le registrazioni di tutta la prova dei partecipanti sono state archiviate ed è prevista, in futuro prossimo, un'analisi sulla frequenza cardiaca dei 10 secondi antecedenti ad ogni sparo, la quale potrebbe fornire informazioni molto utili che dalla semplice baseline pre-sessione non sono ricavabili.

Tenendo conto dei risultati e delle debolezze di questo studio sarebbe interessante cercare di capire, in futuro, quale sia stata la causa dell'inversione dell'illusione, il che potrebbe portare a mettere in luce nuovi aspetti sull'illusione di Delboeuf mai evidenziati prima. Sarebbe cioè importante replicare le conclusioni di questo studio presentando la illusione a 10 metri, 5 metri e 1 metro, verificando se la direzione dell'effetto illusorio varia in funzione della distanza dallo stimolo.

### 3.6 CONCLUSIONI

In conclusione in questo studio i partecipanti hanno dimostrato di percepire l'illusione di grandezza ma questo non appare aver influenzato la prestazione nel compito di tiro. Inoltre non sono emerse prove che confermassero una correlazione tra la frequenza cardiaca nei tiratori e la performance degli stessi, a suggerimento del fatto che non dovrebbe esserci una frequenza cardiaca ideale che comporterebbe una miglior esecuzione in questo sport. Sebbene i limiti di questo studio richiedono un approfondimento sperimentale, questi dati non incoraggiano l'uso di questa illusione nelle procedure di addestramento degli atleti, al fine di migliorare la prestazione con uno stimolo che appare più piccolo pur di fatto avendo la stessa dimensione a livello retinico del bersaglio standard.

Siamo ancora lontani dal “fare centro” in questo ambito di ricerca, sarà meglio non “illudersi”.

## FONTI

- Buckle, E. C., Udawatta, V., M.Straus, C. (2013). Now You See It, Now You Don't: Visual Illusions in Radiology, *RadioGraphics*, 33:2087–2102
- Camm, A., Malik, M., Bigger, J. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, *Circulation*, 93(5):1043-65
- Clarke, P., Macleod, I. (2013). The illusion of caries from anatomical variance: a case report. *Prim Dent J*. 2(3):50-1
- Coon, D., Mitterer J. O. (2016). *Psicologia generale*. Milano, Italia: Utet università
- Coren, S., Girgus, J.S., Erlichman, H.P., & Hakstian, A.R. (1976). An empirical taxonomy of visual illusions. *Perception & Psychophysics*, 20, 129-137.
- Eysenck M. W., Keane, M. T. (1995). *Cognitive Psychology. A Student's Handbook*. 3rd Edition. Hove, Est Sussex: Psychology Press.
- Gallicchio, G., Cooke, A., Ring, C. (2017). Practice Makes Efficient: Cortical Alpha Oscillations Are Associated With Improved Golf Putting Performance. *Sport Exerc Perform Psychol.*,6(1):89-102
- Girgus, J.S., Coren, S., Agdern, M. (1972). The interrelationship between the Ebbinghaus and Delboeuf illusions. *J Exp Psychol*,95(2):453-5
- Ikeda, H., Obana, T. (1955). Studies in figural after-effects (iv), *Jap. Psychol. Research.*, 2:17-23
- Jaeger, T. (1978). Ebbinghaus illusions: size contrast or contour interaction phenomena? *Percept Psychophys*, 24(4):337-42
- Kaufmann, T., Sütterlin, S., Schulz, S.M., Vögele, C. (2011). ARTiiFACT: a tool for heart rate artifact processing and heart rate variability analysis. *Behav Res Methods.*,43(4):1161-70
- Köhler, W. (1967). Gestalt psychology. *Psychol. Forsch.* 31,18–30

- Mansier, P., Clairambault, J., Charlotte, N., Médigue, C., Vermeiren, C., LePape, G., Carré F., Gounaropoulou, A., Swynghedauw, B. (1996). Linear and non-linear analyses of heart rate variability: a minireview. *Cardiovasc Res.*,31(3):371-9
- Maquestiaux, F., Arexis, M., Chauvel, G., Ladoy, J., Boyer, P., Mazerolle, M. (2021). Ebbinghaus visual illusion: no robust influence on novice golf-putting performance. *Psychol Res.*, 85(3)
- Massaro, D.W., Anderson, N.H. (1971). Judgmental model of the Ebbinghaus illusion. *J Exp Psychol*, 89(1):147-51
- Mecacci, L. (2001). *Manuale di psicologia generale*. Firenze, Italia: Giunti Editore
- Menghini, L., Gianfranchi, E., Cellini, N., Patron, E., Tagliabue, M., Sarlo, M. (2019). Stressing the accuracy: Wrist-worn wearable sensor validation over different conditions. *Psychophysiology*, 56(11):e13441
- Milner, P. M. (1980). *Psicologia fisiologica*. Bologna, Italia: Zanichelli
- Oyama, T., & Nanri, R. (1960). The effects of hue and brightness on the size perception. *Japanese Psychological Research*, 2, 13-20.
- Piaget, J. (1973). *Psicologia della percezione*. Roma, Italia: Newton Compton italiana
- Rash, E. C. (2008) A 25-year retrospective review of visual complaints and illusions associated with a monocular helmet-mounted display, *ScienceDirect*, 29(2):70-80
- Redelmeier, DA, Raza, S. (2018). Optical illusions and life-threatening traffic crashes: A perspective on aerial perspective. *Med Hypotheses*,114:23-27
- Robbins, S.E., Gouw, G.J. (1991).Athletic footwear: unsafe due to perceptual illusions. *Med Sci Sports Exerc.*, 23(2):217-24.
- Roncato, S. (2017). *Psicologia della percezione*. Padova, Italia: Domeneghini editore
- Ross, M., Macmillan P. (2014). *3D Cinema: Optical Illusions and Tactile Experiences*. Londea, Regno unito: Palgrave Macmillan

- Sánchez-Tena, M.Á., Alvarez-Peregrina, C., Valbuena-Iglesias, M.C., Palomera, P.R. (2018). Optical Illusions and Spatial Disorientation in Aviation Pilots. *J Med Syst.*, 42(5):79
- Shim, J., & van der Kamp, J. (2017). The Effects of Optical Illusions in Perception and Action in Peripersonal and Extrapersonal Space. *Perception*, 46(9), 1118–1126
- Spinicci, P. (2000). *Sensazione, percezione, concetto*. Urbino, Italia: Il mulino
- Thompson, P., Mikellidou, K. (2011). Applying the Helmholtz illusion to fashion: horizontal stripes won't make you look fatter. *Iperception.*, 2(1):69-76.
- Van der Kamp, J., & Masters, R. S. W. (2008). The Human Müller-Lyer Illusion in Goalkeeping. *Perception*, 37(6), 951–954.
- Watson, A., French, C. (1966) Muller-Lyer Haptic Illusion and a Confusion Theory Explanation, *Nature*, 209: 942
- 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
- Wood, G., Vine, S.J. & Wilson, M.R. (2013). The impact of visual illusions on perception, action planning, and motor performance. *Atten Percept Psychophys*, 75, 830–834