

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Fisica e Astronomia “Galileo Galilei”

Corso di Laurea Triennale in Ottica e Optometria

TESI DI LAUREA

*Allenamento visuo-motorio
di un gruppo di arbitri di rugby:
visione periferica in relazione con il movimento
e valutazioni sul suo miglioramento*

Relatore: Prof. Federico Silvoni

Correlatore: Prof. Luca Stanco

Laureanda: Bottaro Diana

Matricola: 1060917

Anno accademico 2017/2018

INDICE

Abstract	1
Introduzione	2
Capitolo 1 – Cenni di anatomia oculare	3
1.1. La struttura della retina	3
1.1.1 I fotorecettori retinici	4
1.2 La fototrasduzione	6
1.2.1 Primo stadio: attivazione dei pigmenti visivi	7
1.2.2 Secondo stadio: riduzione della concentrazione citoplasmatica di GMP ciclico	8
1.2.3 Terzo stadio: iperpolarizzazione dei fotorecettori	9
1.3 Le cellule gangliari	10
1.3.1 Campo recettivo di una cellula gangliare	11
1.3.2 Cellule P e cellule M	13
Capitolo 2 – La corteccia visiva e l’analisi del movimento	14
2.1. Neuroanatomia della corteccia visiva	16
2.2 Il corpo genicolato laterale	18
2.3 Sistemi funzionali della corteccia visiva	21
2.4 L’analisi del movimento	24
Capitolo 3 – Sport vision e abilità visive	27
3.1. Le abilità visive dell’arbitro	28
3.1.1 Acuità visiva e dinamica	30
3.1.2 La sensibilità al contrasto	32
3.1.3 I movimenti oculari	33
3.1.4 La visione periferica	38
3.1.5 La dominanza oculare e la lateralità corporea	40
Capitolo 4 – Lo studio	43
4.1. I soggetti	43
4.2 Procedura e strumentazione	43

4.3	Il metodo S.V.T.A.	44
4.4	Il kit S.V.T.A.	45
4.5	Lo screening	48
4.6	Il test controllo con il kit S.V.T.A.	51
4.7	Il training con metodo S.V.T.A.	54
4.8	Analisi dei dati	57
4.8.1	T-test	63
4.8.2	Z-test	64
4.8.3	Test di Kolmogorov-Smirnov	66
4.9	Conclusioni	71
	Appendice	73
	Bibliografia	76
	Sitografia	78

Abstract

OBIETTIVO: lo scopo principale di questo studio consiste nell'indagare il grado di influenza che un allenamento visuo-motorio può avere sulle abilità visive e sulla performance sportiva, con l'intento di formare atleti e professionisti più completi sotto il profilo della coordinazione e dei tempi di reazione.

METODO: un gruppo di 13 arbitri di rugby della sezione di Padova, di età compresa tra i 18 e i 51 anni, è stato sottoposto ad un allenamento visuo-motorio con metodo S.V.T.A. (Science Vision Training Academy), comprensivo di test visivi ed esercizi motori. La scelta di entrambi è stata fatta tenendo conto delle necessità e degli obiettivi del campione preso in esame.

RISULTATI: il training visuo-motorio con metodo S.V.T.A. risulta efficace, in quanto saccadi, inseguimenti e visione periferica presentano un miglioramento significativo. Infatti i tre test statistici utilizzati (T-test, Z-test e K-S test) confortano la conclusione positiva, anche se si sono ottenute notevoli differenze quantitative dovute alle relative approssimazioni nelle assunzioni dei singoli test statistici.

CONCLUSIONI: il miglioramento risulta quantitativamente maggiore nel test controllo che nello screening secondo la maggioranza dei test eseguiti, come osservato qualitativamente. Questo fa presupporre che il livello iniziale dei soggetti sia maggiore rispetto al livello di difficoltà degli esercizi proposti durante lo screening e che quest'ultimo sia meno indicato per apprezzare un miglioramento in soggetti con già buone capacità visive di base.

Il campione tuttavia è troppo ridotto per definirlo *statisticamente significativo*.

Introduzione

Capita molto spesso di attribuire ai termini “*vista*” e “*visione*” il medesimo significato. Niente di più sbagliato.

La prima è uno dei cinque sensi, è la capacità innata di registrare oggetti e stimoli esterni per poi riconoscerli. Viene identificata con quella che è definita “*acuità visiva*”, ovvero l’abilità di riconoscere lettere di varie grandezze ed è ritenuta buona quando raggiunge i famosi 10/10.

La seconda, invece, è un fenomeno molto più complesso, in quanto è l’insieme di più attività e abilità visive e cerebrali, la cui finalità è l’elaborazione degli stimoli luminosi per la loro decodificazione ed interpretazione. È una funzione che si acquisisce e per questo motivo può essere plasmata, allenata e migliorata.

Lo studio che è stato fatto vuole proprio dimostrare la veridicità di quest’ultima affermazione. Per poterlo fare è stato deciso di allenare la coordinazione visuo-motoria, con metodo S.V.T.A., di un gruppo di arbitri di rugby di Padova, per vedere se effettivamente le loro abilità visive e motorie finali presentassero un miglioramento o meno rispetto a quelle iniziali.

Capitolo 1

Cenni di anatomia oculare

L'apparato oculare è costituito da un insieme di strutture che nel loro complesso, e in diversa misura, contribuiscono alla realizzazione della funzione visiva.

Tali strutture sono il bulbo oculare, le vie ottiche e gli annessi oculari. Quest'ultimi comprendono le palpebre, l'apparato lacrimale e l'orbita con il suo contenuto.

Il bulbo o globo oculare è un organo dall'aspetto sferoidale, composto da tre tuniche o membrane e contiene al suo interno tre camere¹.

La tunica più esterna, denominata fibrosa, è formata da cornea e sclera, quella intermedia o vascolare dall'uvea², mentre quella più interna o nervosa dalla retina.

La funzione visiva citata inizialmente ha proprio inizio con la ricezione delle immagini da parte della retina e prosegue con la trasmissione di queste attraverso le vie ottiche, rappresentate da nervo ottico, chiasma e corpo genicolato laterale, per poi terminare nelle radiazioni ottiche della corteccia occipitale³.

1.1. La struttura della retina

La retina viene strutturalmente distinta in un foglietto esterno costituito dall'epitelio pigmentato e da un foglietto interno rappresentato da una membrana nervosa, sottile, trasparente e pluristratificata che si estende dal nervo ottico fino all'ora serrata⁴ e che prende il nome di retina sensoriale, perché composta da cellule nervose fotosensibili, di trasmissione e associazione.

¹ La camera anteriore contenente l'umore acqueo prodotto nella camera posteriore e la camera vitrea, chiamata così perché contiene il corpo vitreo. (Bucci M.G., 1993)

² Membrana vascolare pigmentata costituita da iride, corpo ciliare e coroide. (Bucci M.G., 1993)

³ Bucci M.G., 1993

⁴ Linea circolare e seghettata che separa la coroide dal corpo ciliare. (Lupi V., 2004)

La retina viene dunque divisa in dieci strati, che dall'esterno verso l'interno possono essere così elencati:

1. *Epitelio pigmentato*
2. *Strato dei fotorecettori*
3. *Membrana limitante esterna*
4. *Strato nucleare esterno*
5. *Strato plessiforme esterno*
6. *Strato nucleare interno*
7. *Strato plessiforme interno*
8. *Strato delle cellule gangliari*
9. *Strato delle fibre nervose*
10. *Membrana limitante interna*

1.1.1 I fotorecettori retinici

La luce viene focalizzata dalla cornea e dal cristallino e deve attraversare il corpo vitreo, che occupa la cavità dell'occhio, prima di raggiungere i fotorecettori retinici, gli elementi nervosi deputati alla trasformazione dello stimolo luminoso in impulso elettrico.

Le cellule dell'epitelio pigmentato sono di forma esagonale e presentano una porzione basale, adiacente alla membrana di Bruch della coroide, e una porzione apicale, a contatto con gli articoli esterni dei fotorecettori. Mentre l'epitelio pigmentato contiene grandi quantità di pigmento nero, la melanina, la retina sensoriale risulta trasparente. Questa differenza li porta al medesimo obiettivo: evitare che la luce vada incontro a processi di assorbimento e rifrazione per salvaguardare la qualità dell'immagine visiva⁵.

I fotorecettori sono localizzati nella parte posteriore dell'occhio, immediatamente davanti all'epitelio pigmentato, mentre tutte le altre cellule retiniche⁶ sono disposte davanti ai fotorecettori, in posizione più prossima al cristallino. La luce di conseguenza deve attraversare tutti gli strati dei neuroni retinici prima di colpire i fotorecettori.

La retina dell'uomo contiene due tipi di fotorecettori: i *coni* e i *bastoncelli*.

⁵ Kandel E.R. et al., 2003

⁶ Cellule bipolari, gangliari, orizzontali, amacrine e gliali, tra cui la cellula di Müller, gli astrociti e le microgliali. (Bucci M.G., 1993)

Si calcolano circa 7 milioni di coni e circa 120 milioni di bastoncelli. La concentrazione dei primi è massima nella *fovea*, la porzione centrale della retina, sede della discriminazione visiva e dove l'acuità visiva è massima. Per questo motivo sono responsabili della visione dei dettagli e dei colori in condizioni fotopiche⁷.

Per quanto riguarda i bastoncelli, invece, questi raggiungono la loro maggiore densità a circa 20 gradi dalla fovea e sono deputati alla visione periferica e alla percezione del movimento, questa volta in condizioni scotopiche⁸.

Sia i bastoncelli che i coni possiedono tre principali regioni funzionali:

1. Il *segmento esterno*, localizzato a livello della superficie esterna della retina e specializzato nella fototrasduzione;
2. Il *segmento interno*, localizzato all'interno della retina e contenente il nucleo della cellula e la maggior parte degli organuli responsabili dei processi biochimici che vi si svolgono;
3. Una *terminazione sinaptica* che prende contatto con le cellule bersaglio dei fotorecettori;

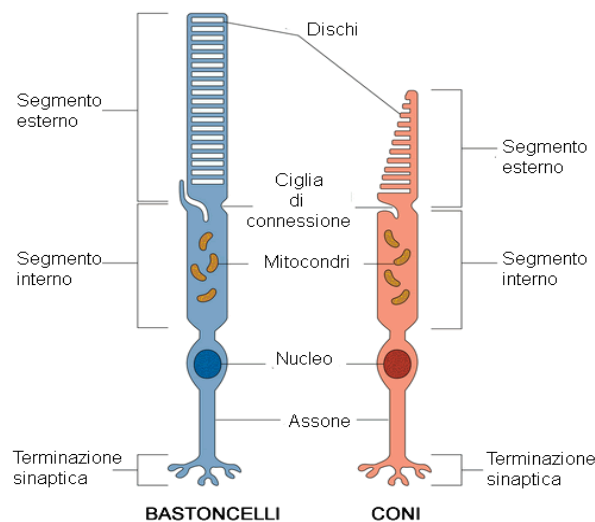


Figura 1: struttura dei fotorecettori oculari.

Fonte: <http://www.my-personaltrainer.it/salute-benessere/fotorecettori.html>

I segmenti esterni dei bastoncelli e dei coni contengono un'elevata concentrazione di pigmenti visivi *fotolabili*⁹: *rodopsina* nei bastoncelli e *iodopsina* nei coni. Quest'ultima a sua volta è differenziabile in *cianopsina*, *cloropsina* e *eritropsina*, che reagiscono rispettivamente alle radiazioni di lunghezze d'onda (λ) corte (blu), medie (verde) e lunghe (rosse).

⁷ In condizioni di luce diurna, di elevata luminanza.

⁸ In condizioni di bassa luminanza.

⁹ Che si scinde per azione della luce. (Rossetti A., Gheller P., 2003)

Ogni molecola di pigmento comprende una molecola di piccole dimensioni, dotata di proprietà di assorbimento della luce, legata ad una proteina di membrana di grandi dimensioni¹⁰. I bastoncelli e i coni contengono una grande quantità di queste proteine di membrana¹¹, in quanto il loro segmento esterno ha sviluppato un complicato sistema di dischi membranosi sovrapposti che aumentano enormemente la superficie delle loro membrane. Questi dischi si sviluppano come una serie di invaginazioni della membrana plasmatica della cellula che finiscono col disporsi le une sulle altre, come una pila di monete. Nei coni questi dischi sono continui con la membrana plasmatica, mentre nei bastoncelli si separano da questa per diventare degli organuli intracellulari.

Come la maggior parte dei neuroni, i fotorecettori non vanno incontro a mitosi; i loro segmenti esterni, tuttavia, si rinnovano continuamente. Tale processo è molto rapido: nei bastoncelli infatti vengono sintetizzati approssimativamente tre dischi all'ora. L'estremità del segmento esterno si distacca e viene eliminata dall'attività fagocitica delle cellule dell'epitelio pigmentato.

Analogamente a molti altri recettori, i coni e i bastoncelli non danno origine a potenziali d'azione, al contrario essi rispondono alla luce con modificazioni graduali del loro potenziale di membrana.

1.2 La fototrasduzione

L'assorbimento della luce da parte dei pigmenti visivi dei bastoncelli e dei coni dà inizio a una serie di eventi a cascata che determina, in ultima analisi, una variazione dei flussi ionici ai capi della membrana di queste cellule e una conseguente variazione del loro potenziale di membrana.

La molecola chiave in questa sequenza di eventi è rappresentata dal nucleotide *guanosin-monofosfato 3'-5' ciclico*, abbreviato in *GMPc*. Nei bastoncelli la molecola del *GMPc* funge da secondo messaggero citoplasmatico in grado di convogliare l'informazione proveniente dai dischi, che galleggiano liberamente nel citoplasma e nei quali viene assorbita la luce, verso la membrana plasmatica della cellula, dove vengono modificati i flussi ionici.

¹⁰ Rispettivamente retinale, l'aldeide della vitamina A, e opsina, una glicoproteina.

¹¹ Fino a 10⁸ molecole per cellula. (Kandel E.R. et al., 2003)

Nei coni, come già detto in precedenza, i dischi sono in continuità con la membrana plasmatica e dunque un secondo messaggero non dovrebbe essere necessario; tuttavia, anche in queste cellule viene impiegato GMPc, analogamente a quanto accade nei bastoncelli.

Il GMPc controlla i flussi ionici di membrana in quanto apre un canale ionico specializzato, specificamente attivato da GMPc, che determina l'ingresso nella cellula di un flusso di corrente trasportato in gran parte da ioni Na⁺.

Al buio la concentrazione di GMPc è relativamente elevata, i canali controllati dal GMPc sono in gran parte aperti e la corrente entrante che passa per questi canali mantiene i fotorecettori in uno stato di relativa depolarizzazione.

Il processo di fototrasduzione avviene in tre stadi:

1. La luce attiva i pigmenti visivi;
2. I fotopigmenti attivati stimolano una *GMPc-fosfodiesterasi*, un enzima che riduce la concentrazione citoplasmatica di GMPc;
3. La riduzione della concentrazione di GMPc fa chiudere i canali attivati dal GMPc stesso, iperpolarizzando i fotorecettori.

1.2.1 Primo stadio: attivazione dei pigmenti visivi

Il pigmento visivo dei bastoncelli, chiamato *rodopsina*, è costituito da due componenti: l'opsina, una glicoproteina, e il retinale, l'aldeide della vitamina A¹².

L'opsina è localizzata nella membrana dei dischi e di per sé non è in grado di assorbire la luce, compito che viene portato a termine dal retinale, il quale può assumere diverse forme isomere, due delle quali rivestono grande importanza in fasi diverse del ciclo visivo: nella sua forma inattiva, la rodopsina contiene il retinale come isomero 11-*cis*, che si adatta in un sito di legame della molecola dell'opsina.

L'attivazione della rodopsina ha inizio con l'assorbimento della luce che fa sì che il retinale cambi la propria conformazione da 11-*cis* a tutto-*trans*.

¹² La iodopsina, il fotopigmento dei cono, ha le stesse caratteristiche della rodopsina, per cui basta prendere quest'ultima come esempio.

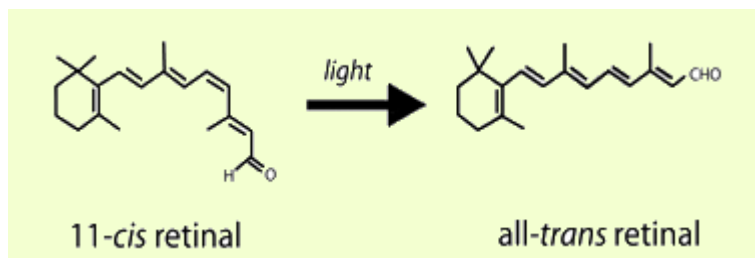


Figura 2: isomerizzazione del retinale.
 Fonte: <http://photobiology.info/Crouch.html>

In seguito a questa modifica il retinale non si adatta più nel suo sito di legame con l'opsina e ciò fa sì che quest'ultima vada incontro ad una modificazione della propria conformazione, trasformandosi in un composto instabile detto *metarodopsina II*, il quale in poco tempo si scinde in opsina e retinale tutto-*trans* che, a sua volta, viene trasportato dai bastoncelli alle cellule dell'epitelio pigmentato, dove viene ridotto a *retinolo tutto-trans*¹³ ed infine trasportato di nuovo ai bastoncelli.

La vitamina A, dunque, è un composto chiave per il sistema visivo, in quanto è un costituente essenziale dei pigmenti visivi e poiché nell'uomo non viene sintetizzato, deve obbligatoriamente essere introdotto con la dieta.

1.2.2 Secondo stadio: riduzione della concentrazione citoplasmatica di GMP ciclico

L'attivazione delle molecole di pigmento da parte della luce determina una riduzione della concentrazione citoplasmatica del secondo messaggero GMPc. Tale messaggero viene sintetizzato a partire da GTP dalla *guanilil-ciclastasi* e viene idrolizzato a 5'-GMP dalla *GMPc-fosfodiesterasi*, una proteina adesa alla superficie della membrana dei dischi. La concentrazione di GMPc è sotto il controllo della luce in quanto la *GMPc-fosfodiesterasi* stessa è controllata dai pigmenti visivi.

Nell'oscurità l'attività della *fosfodiesterasi* è modesta e la concentrazione del GMPc relativamente elevata.

La luce, invece, determina l'attivazione della *fosfodiesterasi* che idrolizza il GMPc riducendone la concentrazione.

La fotoattivazione di una singola molecola di rodopsina può determinare l'idrolisi di più di 10⁵ molecole di GMPc al secondo.

¹³ Vitamina A.

Ogni molecola di rodopsina diffonde attraverso la membrana dei dischi ed attiva centinaia di molecole di *transducina*, una molecola regolatrice che attiva a sua volta una molecola di fosfodiesterasi. Ogni molecola di fosfodiesterasi, infine, può idrolizzare più di 10^3 molecole di GMPc al secondo. Inoltre la transducina è un membro della famiglia delle proteine G trimeriche e analogamente a loro, la sua attivazione comporta un'interazione caratteristica con i nucleotidi della guanina. Nella sua forma inattiva la transducina è legata strettamente ad una molecola di GDP, l'interazione con una molecola di rodopsina, attivata nella membrana dei dischi, fa sì che la transducina scambi il GDP con una molecola di GTP, attivandosi a sua volta.

I due meccanismi che pongono fine alla risposta alla luce sono l'inattivazione della transducina a causa della propria attività GTPasica¹⁴ e la reazione tra la rodopsina fosforilata¹⁵ e una proteina regolatrice specifica chiamata *arrestina*.

1.2.3 Terzo stadio: iperpolarizzazione dei fotorecettori

La diminuzione della concentrazione citoplasmatica di GMPc innescata dalla luce determina la chiusura dei canali attivati dal GMPc nei fotorecettori, con conseguente iperpolarizzazione di questi ultimi¹⁶.

Il GMPc controlla direttamente questi canali ionici legandosi ad essi e la loro attivazione richiede il legame cooperativo di almeno tre molecole di di GMPc.

Al buio invece, nei fotorecettori vi sono due correnti predominanti: una corrente entrante che passa attraverso i canali controllati dal GMPc, che sono presenti soltanto nel segmento esterno, e una corrente K^+ uscente che passa attraverso canali selettivi per i K^+ , localizzati esclusivamente nel segmento interno.

La corrente uscente che passa attraverso i canali K^+ tende ad iperpolarizzare il fotorecettore verso valori vicini al potenziale di equilibrio del K^+ (circa -70 mV). La corrente entrante, al contrario, tende a depolarizzare il fotorecettore.

¹⁴ Idrolisi del proprio GTP in GDP.

¹⁵ Una volta attivata, la rodopsina diventa un substrato capace di venir fosforilato da una protein-chinasi specifica: l'opsina-chinasi. (Kandel E.R. et al., 2003)

¹⁶ Passaggio da -40 mV a -70/75 mV. (Leonardi A., 2014)

Nonostante questi intensi flussi ionici, il fotorecettore è in grado di mantenere costanti le concentrazioni interne di Na^+ e K^+ , in quanto il suo segmento interno possiede delle pompe sodio-potassio che lasciano fuoriuscire Na^+ dalla cellula e vi immettono K^+ . Pertanto, al buio, la concentrazione citoplasmatica del GMPc è elevata, in quanto i canali attivati da esso sono aperti e lasciano passare una corrente costante. Il potenziale di membrana del fotorecettore si aggira attorno a -40 mV ed è quindi molto più depolarizzato di quello della maggior parte dei neuroni.

1.3 Le cellule gangliari

Le cellule gangliari meritano particolare attenzione in quanto rappresentano i neuroni di uscita della retina. I loro assoni vanno a confluire nel disco ottico, dove diventano mielinici, andando a formare il nervo ottico¹⁷ che trasmette le informazioni visive prima al chiasma ottico, per terminare infine in tre principali regioni sottocorticali: il pretetto¹⁸, il collicolo superiore¹⁹ e il corpo genicolato laterale²⁰.

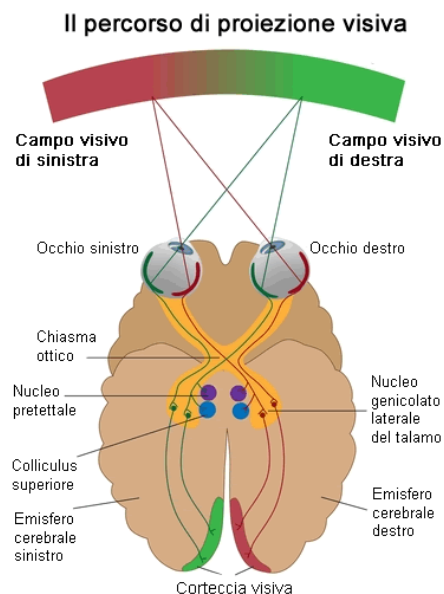


Figura 3: il percorso di proiezione visiva

Fonte: <http://www.my-personaltrainer.it/salute-benessere/nervo-ottico.html>

¹⁷ Secondo paio di nervi cranici.

¹⁸ Area del mesencefalo che si continua con il talamo e che controlla i riflessi pupillari.

¹⁹ Struttura costituita da strati di sostanza grigia (ammassi cellulari) che si alternano a strati di sostanza bianca (fibre nervose) formando il tetto del mesencefalo. (Kandel E.R. et al., 2003)

²⁰ La più importante stazione sottocorticale che trasmette le informazioni visive alla corteccia visiva.

Fra i recettori e le cellule gangliari sono interposte tre classi diverse di interneuroni, quali cellule bipolari, orizzontali ed amacrine, che modificano i segnali dei fotorecettori modellando l'immagine visiva trasmessa attraverso la retina.

A differenza dei fotorecettori che rispondono alla luce con modificazioni graduali del loro potenziale di membrana, le cellule gangliari trasmettono le proprie informazioni sotto forma di scariche di potenziali d'azione.

1.3.1 Campo recettivo di una cellula gangliare

La regione della retina che, se stimolata adeguatamente, produce una variazione nella frequenza di scarica e che si forma a seguito di connessioni eccitatorie ed inibitorie, prende il nome di *campo recettivo*²¹.

Tale campo recettivo si forma perché l'informazione viene trasmessa non solo verticalmente²², ma anche orizzontalmente, attraverso le cellule orizzontali dello strato plessiforme esterno e le cellule amacrine dello strato plessiforme interno, dimostrando che l'attivazione di una determinata cellula dipenderà anche da quella delle cellule vicine.

I campi recettivi delle cellule gangliari sono circolari e suddivisi in due parti: una zona circolare centrale, detta *centro del campo recettivo*, e la restante parte, detta *periferia*.

Inoltre, le cellule gangliari si possono distinguere in due diverse classi a seconda della risposta che forniscono a una piccola macchia luminosa proiettata nel centro del loro campo recettivo: le cosiddette *cellule gangliari centro-on* e le cosiddette *cellule gangliari centro-off*. Le prime vengono eccitate quando si proietta luce sul centro del loro campo recettivo e inibite quando la luce viene applicata alla loro periferia, per le seconde, invece, capita proprio l'opposto, per cui risultano inibite dalla luce proiettata nel centro del loro campo recettivo ed eccitate quando la luce viene spenta al centro e accesa in periferia.

²¹ Casco C., 2014.

²² Fotorecettori → cellule bipolari → cellule gangliari

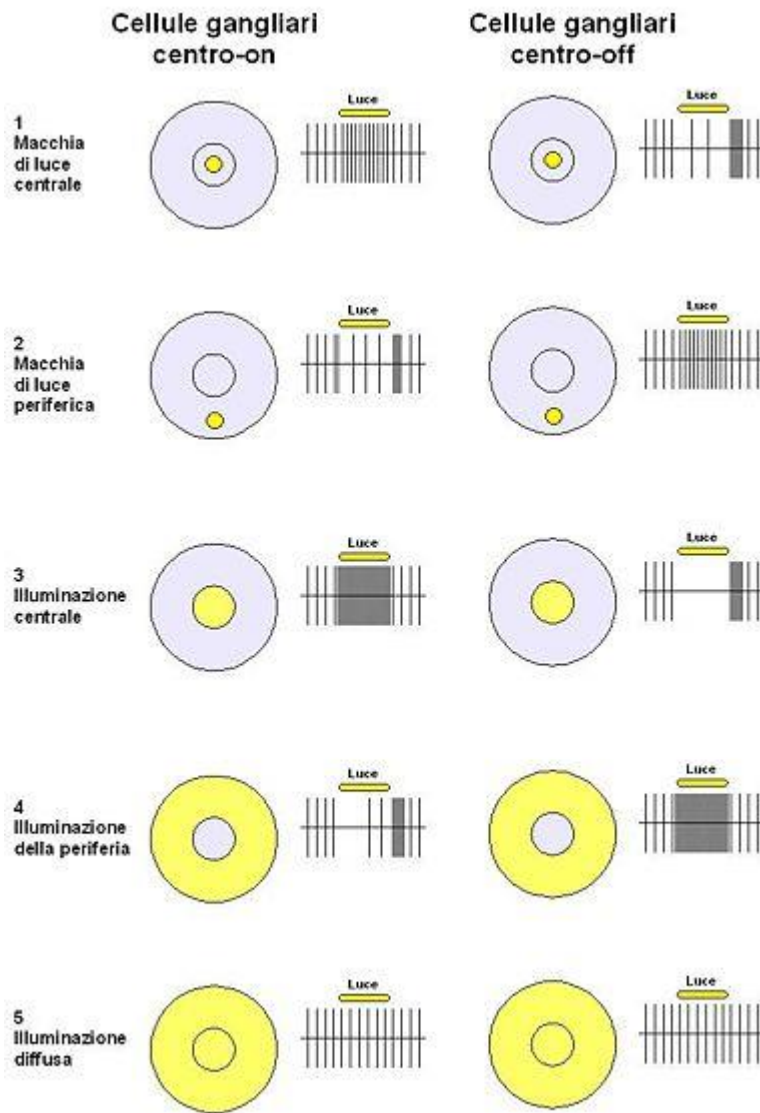


Figura 4: Eccitazione ed inibizione di una cellula gangliare centro-on e di una cellula gangliare centro-off
 Fonte: https://it.wikipedia.org/wiki/Apparato_visivo

Come si può notare dalla figura 4, l'illuminazione diffusa di tutto il campo recettivo è in grado di evocare soltanto una risposta debole in entrambi i tipi di cellule, questo perché questo tipo di cellule rispondono molto meglio quando le condizioni di illuminazione del centro e della periferia sono molto diverse.

Il numero delle cellule gangliari centro-on e centro-off è approssimativamente uguale ed ogni fotorecettore invia i propri segnali di uscita a cellule gangliari di entrambi i tipi. In tal modo le cellule gangliari vanno a costituire due vie in parallelo per l'elaborazione dell'informazione visiva. Inoltre le dimensioni dei loro campi recettivi variano notevolmente da una regione della retina all'altra: nella fovea sono piccoli ed hanno un centro che si estende

soltanto per pochi minuti di arco²³, in periferia sono molto più grandi ed hanno zone centrali che vanno da 3° a 5°²⁴.

1.3.2 Cellule P e cellule M

La maggior parte delle cellule gangliari possono essere classificate in due gruppi: le cellule P²⁵ e le cellule M²⁶.

Le prime sono le più numerose e danno risposte selettive per le diverse lunghezze d'onda e sono deputate quindi alla percezione dei colori e delle forme. Si ritiene inoltre che la loro funzione sia legata all'analisi dei dettagli delle immagini visive, ma sembra che questa funzione possa essere svolta anche da alcune cellule M, le quali invece rispondono bene a stimoli rappresentati da oggetti di grandi dimensioni e la loro funzione, dunque, sembra essere in rapporto con l'analisi delle caratteristiche grossolane e del movimento degli stimoli luminosi.

²³ 60 minuti = 1 grado. (Kandel E.R. et al., 2003)

²⁴ 1° sulla retina equivale a circa 0,25 mm. (Kandel E.R. et al., 2003)

²⁵ P, dal latino, sta per "*parvae*", ovvero "piccole", perché possiedono campi recettivi piccoli.

²⁶ M, dal latino, sta per "*magnae*", ovvero "grandi", perché possiedono campi recettivi grandi.

Capitolo 2

La corteccia visiva e l'analisi del movimento

La corteccia cerebrale è quella parte di sistema nervoso centrale più recente da un punto di vista evolutivo e pertanto più sviluppata nei mammiferi, in particolar modo nell'uomo.

Analizzata da un punto di vista microscopico, la corteccia cerebrale umana presenta uno spessore di circa due millimetri ed è una struttura laminare organizzata in sei strati di neuroni sovrapposti, ordinati da 1 a 6 dalla superficie alla profondità e che sono per lo più disposti in senso radiale nello spessore della corteccia, cioè con il loro asse maggiore perpendicolare alla superficie corticale.

Tali strati²⁷ sono:

1. *Primo strato o strato molecolare*
2. *Secondo strato o strato granulare esterno*
3. *Terzo strato o strato delle cellule piramidali esterne*
4. *Quarto strato o strato granulare interno*
5. *Quinto strato o strato delle cellule piramidali interne*
6. *Sesto strato o strato delle cellule polimorfe (o polimorfo)*

Le zone di corteccia cerebrale deputate all'elaborazione delle informazioni sensoriali presentano una caratteristica preponderanza delle piccole cellule granulari, chiamate anche cellule dei granuli; pertanto la corteccia delle aree sensoriali viene globalmente definita corteccia granulare, caratterizzata da un particolare sviluppo del IV strato, dove giungono principalmente le informazioni delle vie sensoriali.

L'organizzazione generale delle regioni corticali deputate all'elaborazione degli stimoli sensoriali prevede aree specifiche per ciascuna modalità sensoriale²⁸.

²⁷ Sono riconoscibili nella Neocortex, che copre la quasi totalità (95%) del telencefalo.

Paleocortex, correlata all'olfatto, e Archicortex, correlata alla memoria, rappresentano le porzioni della corteccia filogeneticamente più antiche presenti nel lobo temporale, con un minor numero di strati. Esse corrispondono al restante 5% della corteccia umana. (Valenza V. et al., 2001)

²⁸ Visiva, uditiva, somatosensoriale, olfattiva, gustativa e vestibolare. (Geminiani G.C., 2003)

Aree funzionali e strutturali della corteccia cerebrale

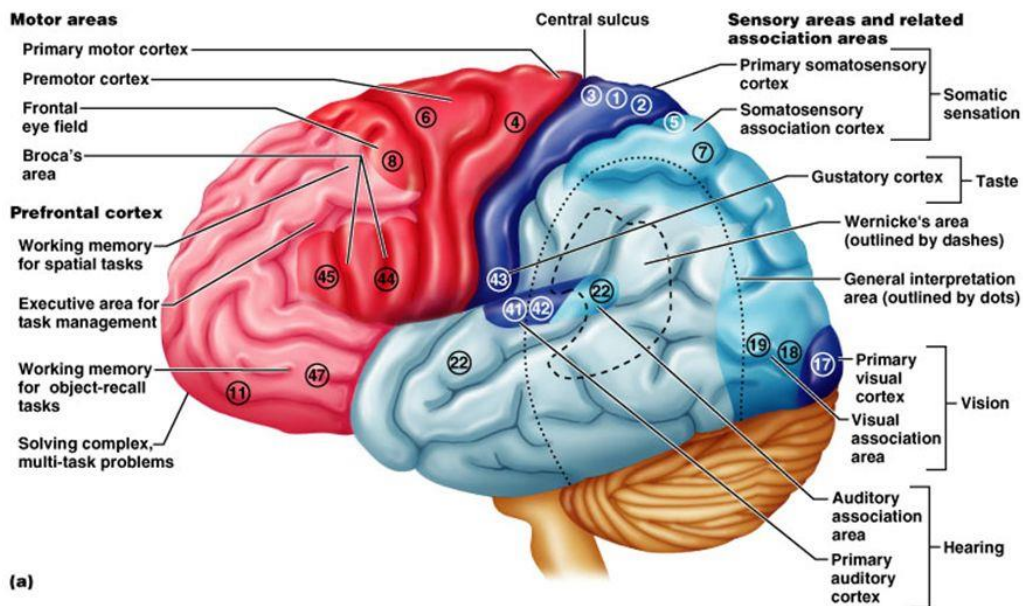


Figura 5: Aree cerebrali
Fonte: <http://slideplayer.it/slide/607584/>

Aree funzionali e strutturali della corteccia cerebrale

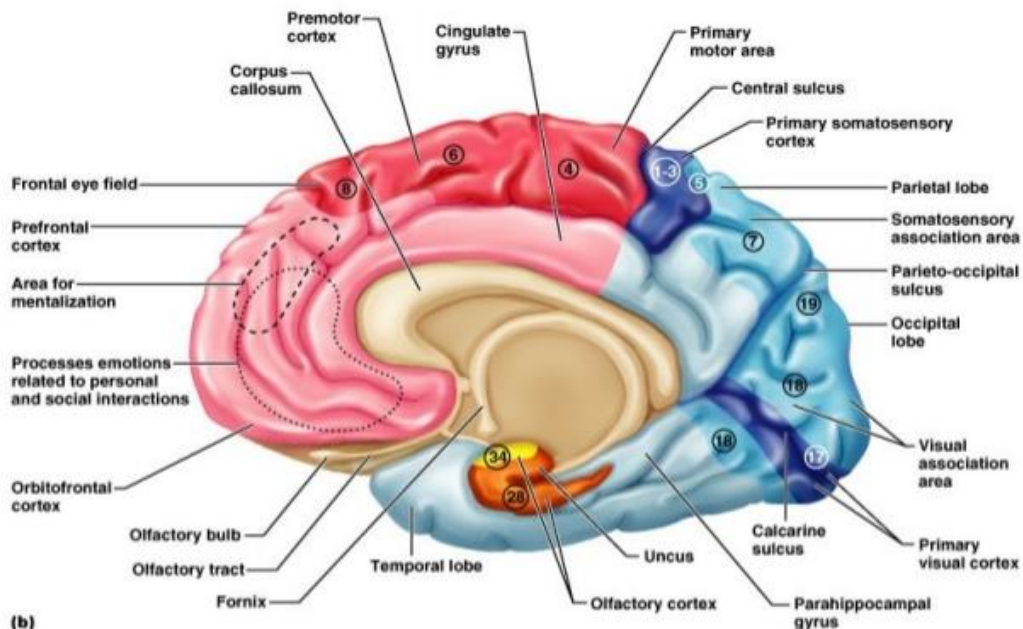


Figura 6: Aree cerebrali
Fonte: <https://www.slideshare.net/imartini/introduzione-al-sistema-nervoso>

2.1. Neuroanatomia della corteccia visiva

Con il termine “corteccia visiva” si vuole indicare quell’insieme di regioni della corteccia cerebrale, per lo più localizzate nel lobo occipitale, deputate esclusivamente all’elaborazione delle informazioni sensoriali provenienti dalla retina²⁹.

La corteccia visiva viene classicamente distinta in *corteccia visiva primaria*, a cui arrivano le informazioni visive dal corpo genicolato laterale, e *corteccia visiva associativa secondaria e terziaria* che elaborano ulteriormente le informazioni visive provenienti dalla corteccia visiva primaria.

La corteccia visiva primaria, che per comodità è anche possibile abbreviare in *corteccia VI*, è deputata alla prima elaborazione corticale degli stimoli visivi implicati nella percezione visiva.

È detta anche *corteccia striata* in quanto coincide con l’area citoarchitettica 17 di Brodmann³⁰, caratterizzata dalla presenza al suo interno di un’ampia stria di fibre mieliniche chiamata *stria di Gennari*.

L’area 17 è localizzata nella porzione mediale di ciascun lobo occipitale intorno ad un solco della corteccia detto *scissura calcarina*; in tale area, inoltre, sono particolarmente sviluppati gli strati granulari interno³¹ ed esterno, strati che ricevono afferenze da regioni sottocorticali.

Le afferenze alla corteccia visiva primaria provengono principalmente dalla parte dorsale del corpo genicolato laterale.

Le cellule gangliari della retina proiettano in modo ordinato sul corpo genicolato laterale, secondo una *rappresentazione retinotopica o visuotopica*, cioè topologicamente organizzata in relazione alla retina e quindi al campo visivo: informazioni provenienti da regioni adiacenti alla retina proiettano su regioni adiacenti al corpo genicolato laterale.

Tale rappresentazione non è metricamente uniforme in quanto la regione del corpo genicolato laterale su cui proietta la parte foveale della retina è più ampia rispetto alle regioni più periferiche.

Tale caratteristica si ritrova anche a livello della corteccia visiva primaria.

²⁹ Geminiani G.C., 2003.

³⁰ Dal nome del neurologo tedesco che divenne famoso per la sua suddivisione della corteccia cerebrale in 52 regioni, distinte per caratteristiche di citoarchitettura. (Wikipedia)

³¹ Strato IV.

L'area visiva primaria è circondata dalle aree visive secondarie e terziarie, dette *aree extrastriate* o *prestriate*: l'area 18 o *area parastriata* e l'area 19 di Brodmann o *area peristriata*.

Da un punto di vista citoarchitettonico³², le aree extrastriate sono caratterizzate da un relativo sviluppo degli strati III e V, strati a funzione efferente.

La corteccia visiva contiene almeno sei mappe a diverso significato funzionale, organizzate topologicamente rispetto alla retina e al campo visivo: nell'area 17 è contenuta la *mappa VI*, la più estesa di queste mappe visive, nell'area 18 le *mappe V2* e *V3* e nell'area 19 le *mappe V3a*, *V4* e *V5*³³.

La corrispondenza visuotopica è differente nelle varie mappe, la più precisa è l'organizzazione della mappa VI nell'area 17: l'emicampo visivo destro proietta alla corteccia visiva dell'emisfero sinistro e viceversa per l'emicampo visivo sinistro.

Avendo una linea mediana come punto di riferimento, la superficie retinica può venir suddivisa in una *emiretina nasale*, mediale alla fovea, ed in una *emiretina temporale*, situata invece lateralmente ad essa.

Ogni emiretina può essere, a sua volta, distinta in un quadrante *dorsale* o *superiore* e in un quadrante *ventrale* o *inferiore*.

I quadranti superiori del campo visivo sono rappresentati nella regione dell'area 17 e localizzati al di sotto della scissura calcarina, mentre nella porzione superiore sono rappresentati i quadranti inferiori.

Infine, le parti foveali del campo visivo sono rappresentate più posteriormente, mentre le parti più periferiche sono rappresentate più anteriormente; la rappresentazione foveale è proporzionalmente più estesa rispetto a quelle delle regioni più periferiche.

Il campo visivo è la parte del mondo esterno che viene vista dai due occhi in assenza di movimenti del capo; è possibile definire la metà destra e sinistra del campo visivo quando le fovee di entrambi gli occhi fissano un solo punto nello spazio³⁴.

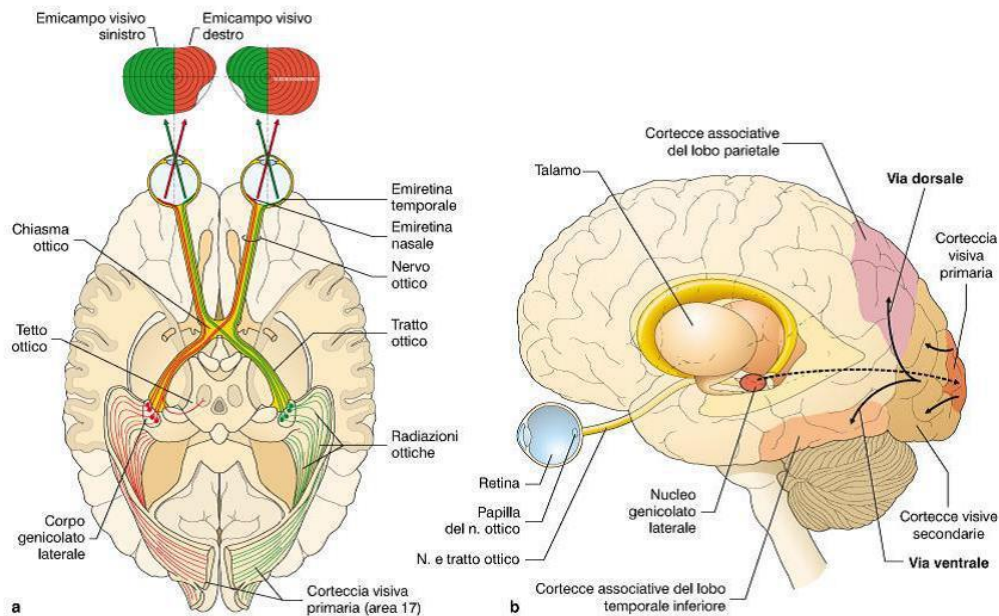
³² La Citoarchitettura o Citoarchitetonica è lo studio al microscopio della composizione cellulare dei tessuti. I due termini sono intercambiabili, ma il secondo è più utilizzato nell'ambito delle neuroscienze, dove si riferisce specificamente alla disposizione dei soma neuronali nel cervello e nel midollo spinale. (Wikipedia)

³³ Studi in vivo del metabolismo cerebrale tramite tomografia ad emissione di positroni (PET) hanno evidenziato che nell'uomo l'area V3 si localizza nella regione occipitale mesiale inferiore (nel giro linguale), l'area V4 nella regione occipito-temporale inferiore (nel giro fusiforme), comprendendo parte dell'area 37, mentre l'area V5 in quella occipito-mediotemporale (MT) posteriore. (Geminiani G.C., 2003)

³⁴ Kandel E.R. et al., 2003.

L'emicampo visivo sinistro proietta le proprie immagini sull'emiretina nasale dell'occhio sinistro e sull'emiretina temporale dell'occhio destro.

L'emicampo visivo destro proietta invece le proprie immagini sull'emiretina nasale dell'occhio destro e su quella temporale dell'occhio sinistro.



© 2006 edi.ermes milano

Figura 7: Proiezioni degli emicampi visivi sulle emiretine nasali e temporali.

Fonte: <http://www.martialnet.it/judo/rubrica-medica-judo/effetti-benefici-del-judo/sistema-visivo/>

I limiti del campo visivo, misurati in gradi a partire dal punto di fissazione³⁵, sono approssimativamente 60° superiormente, 75° inferiormente, 100° temporalmente e 60° nasalmente.

All'interno del campo visivo e temporalmente rispetto al punto di fissazione, esiste la macchia cieca avente le dimensioni di 5,5 ° in larghezza e 7,5° in altezza.

2.2 Il corpo genicolato laterale

Per comprendere la complessa organizzazione della corteccia visiva primaria è utile ora far riferimento all'organizzazione della principale struttura che proietta alla corteccia visiva: il corpo genicolato laterale. La struttura del corpo genicolato laterale nei primati è organizzata in sei strati disposti in senso ventro-rostrale, ovvero dal basso verso l'alto.

³⁵ Definito come l'oggetto verso il quale l'occhio è diretto. (Bucci M.G., 1993)

I primi due strati contengono cellule relativamente grandi, perciò sono chiamati *magnocellulari*, mentre gli altri sono detti *parvocellulari*.

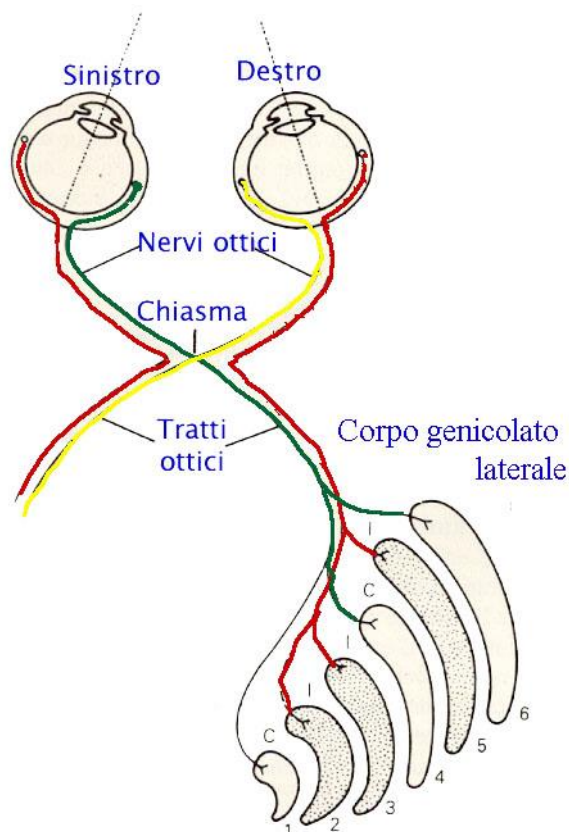


Figura 8: Strati corpo genicolato laterale.

Fonte: http://www.anisn.it/matita_ipertesti/visione/genicolato.html

I neuroni parvocellulari, o Pc, sono sensibili al contrasto cromatico e hanno alta risoluzione spaziale, mentre i neuroni magnocellulari, o Mc, hanno alta risoluzione temporale.

Gli strati magnocellulari ricevono afferenze dalle cellule gangliari retiniche di tipo M e sono deputati all'elaborazione di informazioni relative al movimento; gli strati parvocellulari ricevono afferenze dalle cellule di tipo P e sono deputati all'analisi delle forme e dei colori.

Agli strati 1, 4 e 6 giungono le proiezioni dall'emiretina nasale controlaterale, che incrociano nel chiasma ottico, mentre agli strati 2, 3 e 5 giungono quelle delle fibre del tratto ottico che provengono dall'emiretina temporale ipsilaterale.

Più recentemente è stata proposta l'esistenza di un terzo sistema oltre a quelli Magnocellulare e Parvocellulare³⁶; tale sistema, detto *sistema K*, origina da piccole cellule localizzate nelle zone interlaminari delle lamine superficiali del corpo genicolato laterale³⁷ e proietta agli strati III e I di V1.

³⁶ Casagrande, 1994.

³⁷ Lamine koniocellulari del corpo genicolato laterale delle proscimmie. (Geminiani G.C., 2003)

Ancora poco conosciuto è il significato funzionale di tale sistema: i neuroni K del corpo genicolato laterale presentano risposte eterogenee a stimoli visivi, intermedie tra quelle delle cellule P e M.

La funzione più caratteristica di questo sistema sembra legata alla percezione di stimoli durante i movimenti oculari, controllando la soppressione della visione durante il movimento saccadico dell'occhio³⁸, attraverso un'inibizione della corteccia V1.

Le cellule K ricevono proiezioni dagli strati superficiali dei collicoli superiori, di cui alcuni neuroni mostrano un caratteristico aumento della risposta immediatamente prima di un movimento saccadico.

Attraverso questa funzione il sistema K sembra avere un ruolo in circuiti di controllo di processi attentivi spazialmente localizzati.

Le funzioni generali del corpo genicolato laterale sono ancora relativamente poco conosciute. Data la ricchezza di connessioni in arrivo a tale struttura dalle aree visive, è probabile che a questo livello avvenga una complessa modulazione a feedback delle afferenze alla corteccia visiva.

Le afferenze alla corteccia visiva primaria che provengono dal corpo genicolato laterale terminano nello strato IV della corteccia³⁹; in particolare, gli assoni delle cellule M terminano nella sottolamina IVC α e IVB, mentre gli assoni delle cellule P terminano nella sottolamina IVC β e, in piccola parte, nella sottolamina IVA e nello strato I. Altre proiezioni provenienti dalle zone interlaminari del corpo genicolato laterale terminano invece in aggregati di cellule degli strati II e III, detti *blob* o *addensamenti*. Queste zone di addensamento sono state identificate con metodi istochimici⁴⁰ che hanno dimostrato la presenza, nella corteccia striata, di formazioni ovulari di circa 0.2 millimetri di diametro, ricche di citocromo-ossidasi, un enzima mitocondriale fondamentale per la regolazione metabolica delle cellule.

A livello della corteccia V2 la colorazione con citocromo-ossidasi cambia bruscamente: si alternano bande o strie spesse e sottili di diversa intensità di colorazione che decorrono perpendicolari al confine tra V1 e V2.

Attraverso neuroni intracorticali, le informazioni visive vengono portate dallo strato IV agli strati II e III, e da questi alle altre aree

³⁸ Il cosiddetto fenomeno della *soppressione saccadica*. (Volkman, 1986)

³⁹ Tale strato viene ulteriormente diviso in quattro sottolamine: IVA, IVB, IVC α e IVC β . (Kandel E.R. et al., 2003)

⁴⁰ Wong e Riley, 1989.

visive extrastriate. Dagli strati II e III, inoltre, vi sono proiezioni reciproche con lo strato V e da quest'ultimo ai collicoli superiori, al pulvinar⁴¹ e nel ponte del tronco encefalico. Dal V strato altre proiezioni raggiungono il VI strato e da questo il corpo genicolato laterale e il claustrum.

Alla corteccia visiva primaria giungono afferenze anche da altre aree corticali, soprattutto aree visive extrastriate che terminano a livello degli strati II, V e della parte superiore del VI.

2.3 Sistemi funzionali della corteccia visiva

In relazione all'organizzazione del corpo genicolato laterale è stata individuata un'organizzazione della corteccia visiva in tre sistemi anatomicamente distinti e funzionalmente indipendenti⁴².

Il primo sistema, chiamato *magnocellulare* per il fatto che riceve proiezioni dagli strati magnocellulari del corpo genicolato laterale, origina dagli strati IVB dell'area V1 e proietta, direttamente o attraverso la regione delle strisce spesse dell'area V2, all'area V5, anche conosciuta con il nome di *area visiva mediotemporale* o *MT*. Tale sistema è responsabile dell'analisi della direzione del movimento degli stimoli visivi e della definizione degli aspetti spaziali della percezione visiva.

Strettamente connesso a questo sistema è il sottosistema che inizia, come il precedente, dallo strato IVB dell'area V1, ma che proietta all'area V3, sempre direttamente o attraverso la regione delle strisce spesse di V2. È responsabile dell'analisi delle forme in movimento. Il secondo sistema riceve afferenze dal sistema parvocellulare del corpo genicolato laterale, origina dalle *regioni interblob*, intermedie fra gli addensamenti, degli strati II e III dell'area V1 e proietta, attraverso la regione delle strisce intermedie o pallide dell'area V2, verso l'area V4. Per questi motivi questo sistema è detto *parvocellulare-interblob* e la sua funzione è quella di analizzare le forme colorate.

Il terzo sistema riceve anch'esso afferenze dal sistema parvocellulare, origina dalle *regioni blob*, di addensamento, degli strati II e III

⁴¹ Con il termine pulvinar, in anatomia, si intende la parte posteriore del talamo ottico, connessa con la corteccia del lobo occipitale. Il termine deriva dal latino *pulvinar*, cioè guanciale. È infatti il nucleo posteriore, sporgente del talamo. La denominazione deriva dal fatto che si pone a mo' di cuscino sul talamo. (Wikipedia)

⁴² De Yoe e Van Essen, 1988; Livingstone e Hubel, 1987; Zeki e Shipp, 1988.

dell'area V1 e proietta anch'esso all'area V4, attraverso la regione delle strisce sottili dell'area V2. Chiamato *parvocellulare-blob*, analizza gli attributi cromatici degli stimoli visivi.

Ciascuno dei tre sistemi appena descritti analizza in parallelo aspetti differenti dell'informazione visiva che dalla retina raggiunge la corteccia: movimento, forme e colore. Più precisamente, il sistema che analizza le forme è distinto in due componenti, quali forme in movimento e forme colorate.

Il sistema magnocellulare analizza sia le informazioni visive in termini di movimento, sia quelle che danno origine alla *visione stereoscopica*, comunemente conosciuta con il nome di *stereopsi*.

Tuttavia, studi su animali con lesioni al sistema parvocellulare hanno dimostrato che nella stereopsi interviene anche questo sistema⁴³.

I sistemi parvocellulare-interblob e parvocellulare-blob analizzano invece le informazioni visive in termini di forme statiche e di proprietà cromatiche.

Tutti e tre i sistemi sono differenziabili funzionalmente da altrettante proprietà visive: la risoluzione spaziale, la risoluzione temporale e la sensibilità al contrasto⁴⁴.

1. La *risoluzione spaziale* viene valutata somministrando uno stimolo formato dall'alternarsi di regioni ad opposta luminanza⁴⁵, quali strisce bianche e nere alternate; il numero di coppie di regioni ad opposta luminanza per unità di angolo visivo misurato in gradi è detta *frequenza spaziale*. La più alta frequenza spaziale alla quale si percepisce ancora tale alternanza di luminanza definisce il grado di risoluzione spaziale: tanto più alta è quest'ultima, tanto più alta è la frequenza spaziale a cui si percepisce lo stimolo disomogeneo per luminanza.
2. La *risoluzione temporale* viene valutata somministrando uno stimolo formato da due regioni di opposta luminanza, bianca e nera, che viene invertita continuamente; il numero di inversioni nell'unità di tempo è detto *frequenza temporale*.

⁴³ Schiller et al., 1980.

⁴⁴ Geminiani G.C., 2003.

⁴⁵ La luminanza è una grandezza fotometrica vettoriale, definita come il rapporto tra l'intensità luminosa emessa da una sorgente nella direzione dell'osservatore e l'area apparente della superficie emittente, così come vista dall'osservatore. (Wikipedia)

La più alta frequenza alla quale si percepisce ancora l'inversione dello stimolo definisce il grado di risoluzione temporale: tanto più alta è la risoluzione temporale, tanto più alta è la frequenza temporale a cui si percepisce lo stimolo discontinuo per luminanza.

3. La *sensibilità al contrasto* viene valutata utilizzando uno stimolo, detto *reticolo sinusoidale*, formato dall'alternarsi di zone a diversa luminosità che varia gradualmente da un minimo ad un massimo, ad una certa frequenza spaziale; il grado di variazione tra le due zone di differente luminosità è detto *contrasto* ed è definito come il rapporto tra differenza di luminanza massima e minima e la somma di luminanza massima e minima.

Più chiaramente:

$$\text{Contrasto} = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$$

	Risoluzione spaziale	Risoluzione temporale	Sensibilità al contrasto
Sistema Magnocellulare	Bassa	Alta	Alta
Sistema Parvocellulare interblob	Alta	Bassa	Bassa
Sistema Parvocellulare blob	Bassa	Bassa	Alta

Tabella I

Esperimenti con stimoli isoluminanti⁴⁶ ma aventi colori differenti hanno dimostrato che la percezione del movimento scompare⁴⁷; questo dimostrerebbe che l'informazione cromatica, elaborata dal sistema parvocellulare, non contribuisce in modo significativo alla percezione del movimento. Similmente anche visione stereoscopica, prospettiva, profondità di campo, dimensioni relative degli oggetti e i rapporti figura-sfondo scompaiono in condizioni di isoluminanza.

⁴⁶ Con uguale luminanza.

⁴⁷ Ramachandran e Gregory, 1978.

2.4 L'analisi del movimento

Il movimento delle immagini nel campo visivo riveste particolare importanza non solo perché gli organismi si muovono nell'ambiente e perché gli occhi si muovono in continuazione durante l'esplorazione visiva dell'ambiente, ma soprattutto perché il movimento è fonte di informazioni visive che aiutano la percezione visiva piuttosto che renderla più complicata, realizzando quello che lo psicologo sperimentale James J. Gibson ha concettualizzato come *flusso ottico* nel 1950.

Quando noi ci muoviamo nell'ambiente che ci circonda abbiamo la percezione che sia il campo visivo che si muova attorno a noi. Tale percezione soggettiva è proprio il flusso ottico. Con esso è l'intero campo visivo che si muove e non i singoli oggetti presenti nel campo stesso.

Il flusso ottico è fonte di due tipi di informazioni: informazioni relative all'ambiente circostante⁴⁸ e quelle relative al controllo della postura⁴⁹.

Gibson osservò come il flusso ottico rivesta grande importanza nel guidare la direzione del movimento dell'osservatore, per esempio quando una persona si muove in avanti, con gli occhi e la testa sempre diretti verso l'avanti: il flusso ottico si espande verso l'esterno a partire dal punto centrale del campo visivo. Nei film questo elemento viene spesso sfruttato per rappresentare il volo di un aeroplano nello spazio.

Questo flusso ottico si può rappresentare tramite un vettore velocità in ogni punto della retina che rappresenta la direzione e la velocità del punto dell'ambiente visivo che si proietta su di essa⁵⁰.

La percezione visiva si è evoluta a partire da informazioni in movimento: i vertebrati inferiori sono in grado di percepire visivamente solo stimoli in movimento e tale limitazione permane anche nell'uomo per quanto riguarda la visione nell'estrema periferia del campo visivo.

Vi sono due modi principali attraverso cui il cervello analizza il movimento degli stimoli visivi: per mezzo dell'attivazione di diversi

⁴⁸ Gli oggetti più vicini sembrano muoversi più velocemente rispetto a quelli più lontani. (Kandel E.R. et al., 2003)

⁴⁹ I movimenti in senso laterale del campo visivo inducono oscillazioni del corpo. (Kandel E.R. et al., 2003)

⁵⁰ Berthoz A., 1998.

recettori retinici determinata dal movimento reale o apparente di uno stimolo nel campo visivo, oppure attraverso il movimento del capo e degli occhi quando viene mantenuta la fissazione di uno stimolo in movimento. Entrambe le modalità vengono messe in atto quando viene esplorato visivamente uno stimolo statico. Questo stretto legame tra movimenti oculari e percezione visiva è confermato dai collegamenti tra l'area V5, deputata alla percezione del movimento, e regioni pontine deputate al controllo dei movimenti di inseguimento oculare.

Il flusso ottico, però, ha una propria rappresentazione cerebrale? Nelle aree V1, V2 e V5 o MT sono stati evidenziati tre tipi di neuroni rilevanti per l'analisi del movimento⁵¹:

1. ***Direction-selective cells***: neuroni selettivi per la direzione del movimento di uno stimolo rispetto allo sfondo;
2. ***Velocity-tuned cells***: neuroni sintonizzati sulla velocità, ovvero neuroni che rispondono preferibilmente a certe velocità di spostamento di uno stimolo nel campo recettivo;
3. ***Motion-segregation cells***: neuroni per la segregazione del movimento, cioè neuroni che mostrano una risposta selettiva per la direzione di uno stimolo in movimento, ma solamente a certe condizioni; ad esempio vi sono neuroni di questa categoria che rispondono al movimento di uno stimolo solo se anche lo sfondo è in movimento.

A livello della corteccia V1 vi sono neuroni connessi al sistema magnocellulare che rispondono a stimoli unidimensionali che si muovono parallelamente al loro orientamento. Tuttavia, quando il movimento riguarda configurazioni più complesse, ad esempio bidimensionali o addirittura tridimensionali, tale sistema di rilevazione del movimento non è efficace e quindi si possono creare ambiguità o percezioni illusorie.

Infatti quando l'immagine di una struttura a righe che si muove in tre direzioni diverse viene osservata attraverso un'apertura circolare molto piccola, la direzione in cui essa si muove appare sempre la stessa. L'osservatore riuscirà a rilevare soltanto la componente del movimento che è perpendicolare all'orientamento delle linee dell'immagine stessa. Questo fenomeno è noto come il *problema*

⁵¹ Orban et al., 1981, 1988.

dell'apertura. Singoli neuroni della corteccia V1, sensibili a margini in movimento e con campi recettivi relativamente piccoli, non sono in grado di discriminare la direzione del movimento di una superficie relativamente ampia. Se, invece, si considerano contemporaneamente diversi di questi neuroni, è possibile stabilire la direzione del movimento. Ed è proprio quello che avviene a livello di alcuni neuroni della corteccia V5 o MT, chiamati *neuroni selettivi per la direzione globale*, su cui convergono più neuroni sensibili al movimento e appartenenti alla corteccia V1. Questi neuroni rispondono alla direzione di movimento di configurazioni bidimensionali.

Il contributo dei neuroni di MT alla percezione del movimento è stato dimostrato in esperimenti in cui una scimmia era stata addestrata ad indicare la direzione di un movimento sistematico in una nuvola di punti che si muovevano a caso.

Lo sperimentatore modificava, di volta in volta, il numero dei punti che si muovevano in maniera coerente in una determinata direzione.

Quando la correlazione era zero il moto di tutti i punti era casuale, mentre per il 100% di correlazione il movimento di tutti i punti avveniva in una certa direzione.

Mentre per una scimmia sana era sufficiente che circa il 10% dei punti si muovesse in una certa direzione perché fosse in grado di eseguire correttamente questo compito di riconoscimento, per una scimmia portatrice di una lesione di MT era necessario quasi il 100% di coerenza dei punti per ottenere uguali risultati positivi.

Impiegando questo stesso metodo, è stata osservata la perdita della percezione del movimento anche in un soggetto portatore di una lesione cerebrale bilaterale.

Sia nella scimmia che nell'uomo il danno cerebrale non alterava l'acuità visiva verso gli stimoli immobili.

Le alterazioni dei movimenti lenti di inseguimento e della percezione della direzione del movimento indicano perciò che le lesioni di MT riducono la capacità delle scimmie di percepire il movimento nel campo visivo.

Tali lesioni, tuttavia, creano soltanto disturbi transitori, perché sembrerebbe che le cellule selettive per la direzione del movimento, presenti in altre aree corticali, possano compiere la funzione che normalmente spetta alle cellule di MT.

Il recupero funzionale appare comunque molto lento se le lesioni non interessano soltanto MT, ma anche altre aree extrastriate.

Capitolo 3

Sport vision e abilità visive

“Visual training may well make the difference between winning and losing, between revelling in keen competition or shrinking from it”

Revien and Gabor, 1981

“L’allenamento visivo può benissimo fare la differenza tra la vittoria e la sconfitta, tra il destreggiarsi e il divertirsi in una competizione o il ritirarsi da essa”

Lo sport vision è un’area di studio che combina l’optometria, l’oftalmologia, l’apprendimento motorio, la biomeccanica, la psicologia dello sport e la neuroanatomia in relazione alle prestazioni motorie visive e percettive.

C’è una vasta letteratura su come la visione sia usata in molti sport come il baseball, il basket, il golf, il calcio ed il tennis⁵²: lo sport vision è diventato una componente essenziale nell’allenamento sportivo, qualunque sia il livello di agonismo.

Molti autori sono convinti che la performance sportiva sia strettamente collegata alle abilità cognitive e percettive, così come a quelle fisiche e motorie, e che l’obiettivo dell’allenamento visivo nello sport sia quello di migliorare specifici parametri o competenze visive tali da permettere agli atleti di migliorare la loro performance sul terreno di gioco.

Nel 2007 è stato concluso che i requisiti più importanti per selezionare le procedure di formazione degli atleti fossero l’identificazione di particolari capacità visive critiche per le prestazioni sportive e l’utilizzo di sistemi di valutazione e di allenamento della visione direttamente correlati a specifiche richieste in particolari discipline sportive⁵³.

Tali abilità visive permettono di interagire con il mondo esterno, sono continuamente apprese durante lo sviluppo mentale e corporeo e, se

⁵² Burroughs nel 1984, Vickers nel 1992 e 1996, Steinberg, Frehlich e Tennant nel 1995, Williams, Davids, Burwitz nel 1994, Abernethy, Wollstein e Moen nel 1989, Buckolz, Prapavesis e Fairs nel 1988.

⁵³Erickson, 2007.

vengono allenate, possono influenzare le capacità coordinative e motorie e di conseguenza anche la performance sportiva.

3.1. Le abilità visive dell'arbitro

Gli arbitri sono figure cruciali nei campionati professionistici, con il compito di dirigere e far rispettare le regole di uno sport in cui sono in gioco interessi economici, gestionali e finanziari oltre che di risultato. Sono naturalmente soggetti alle medesime condizioni ambientali dei giocatori e le loro esigenze visive di base, pur non essendo esattamente le medesime, condividono molte somiglianze.

In un certo senso le esigenze visive degli arbitri sono maggiori di quelle dei giocatori dal momento che sono costantemente tenuti a prendere decisioni e hanno solo una breve finestra temporale in cui farlo.

In un'epoca in cui telecamere televisive multiple, ad alta risoluzione spaziale e temporale, sono collocate in varie posizioni intorno al terreno di gioco per facilitare la visione dettagliata in tempo reale e replay a rallentatore, gli arbitri professionisti operano sotto un attento scrutinio.

Fondamentale per un arbitro è mantenere sempre la posizione più corretta possibile per decidere su ogni episodio. Un arbitro vicino all'azione aumenterà la propria credibilità, diminuiranno i suoi errori e di conseguenza le proteste, con l'effetto di una miglior direzione di gara.

Per questi motivi l'arbitro di successo, oltre ad aver bisogno di una preparazione fisica e motoria adeguata, richiede anche una piena conoscenza e corretta applicazione delle regole di gioco ed eccellenti capacità percettive-cognitive che implicheranno dove e quando guardare e il saper percepire e vedere, in anticipo e con successo, le azioni in campo.

In una situazione di gioco, la percezione consente di reagire agli stimoli che appaiono all'improvviso, come ad esempio il movimento su uno sfondo immobile, l'immobilità su uno sfondo in movimento o un improvviso cambiamento di direzione.

Ciò che accresce la percezione dell'arbitro sono la concentrazione volontaria e involontaria sul compito: i processi cognitivi che una situazione innesca nell'arbitro indipendentemente dalla propria volontà e che si attivano quando l'arbitro indirizza istintivamente e

inconsapevolmente le proprie facoltà alla fonte degli stimoli sono chiamati *involontari*, quelli con funzione opposta *volontari*.

Entrambi i tipi di percezione accompagnano gli arbitri in tutte le loro attività durante il gioco.

Un altro elemento integrale della percezione è l'attenzione che in alcune situazioni può essere trattata come un processo percettivo a sé stante. L'attenzione è uno strumento che consente all'arbitro di selezionare le informazioni ricevute ed è caratterizzata da:

1. Un livello di concentrazione espresso da una gamma limitata di oggetti selezionati per ricevere attenzione;
2. Una gamma di attenzione intesa come il numero di oggetti o di caratteristiche dell'oggetto che possono essere inclusi nel raggio di attenzione e percepiti allo stesso tempo;
3. Divisibilità dell'attenzione, ovvero la capacità di dividere l'attenzione tra due o più attività;
4. Alternanza di attenzione, che consente di spostare rapidamente l'attenzione tra oggetti o persone.
5. Sostenibilità dell'attenzione, cioè la capacità di mantenere l'attenzione su un oggetto o un'attività per un tempo più lungo⁵⁴.

Dal momento che le informazioni necessarie per arbitrare sono in gran parte di natura visiva e che l'arbitro frequentemente si trova a una certa distanza dall'azione in corso, ci si potrebbe aspettare che le abilità visive di base giochino un ruolo cruciale nel determinare il grado di preparazione e di successo dell'arbitro stesso.

Le esigenze visive di diversi sport sono state studiate empiricamente e si ritiene che le richieste possano differire notevolmente da sport a sport⁵⁵.

Certamente *l'acuità visiva*, in particolare in condizioni dinamiche, può essere fondamentale, dal momento che arbitri e giocatori sono costantemente in movimento.

⁵⁴ Pietraszewski P. et al., 2014.

⁵⁵ Baptista A.M.G. et al., 2017.

3.1.1 Acuità visiva e dinamica

L'abilità di distinguere visivamente i dettagli in un oggetto è detta *acuità visiva*.

Viene comunemente misurata staticamente e prende perciò il nome di *acuità visiva statica*, che potremmo più comodamente abbreviare, anche per citazioni future, in *SVA*⁵⁶.

Al paziente viene chiesto di distinguere caratteri o forme⁵⁷ di dimensioni definite, ad una certa distanza e con un contrasto elevato: una piccola dimensione e una grande distanza di osservazione definiscono un'elevata acuità o *visus*.

Infatti l'acuità visiva è il risultato della frazione di Snellen $V = \frac{d}{D}$, dove d è la distanza a cui il simbolo è stato riconosciuto e D la distanza a cui il simbolo dovrebbe essere riconosciuto.

Il risultato di questa frazione viene da noi espresso in decimi, mentre nei paesi anglosassoni è dato sia in metri che in *piedi* e al numeratore viene posta la distanza di osservazione che sarà, sempre invariata, di sei metri o di venti piedi.

Ci sono molti fattori che possono influenzare l'acuità visiva e che possono essere di natura fisica, anatomica, fisiologica e anche psicologica.

Più precisamente essa può dipendere:

- dall'oggetto, cioè dalla forma dei suoi particolari;
- dalla luminosità e dalla lunghezza d'onda della luce;
- dal punto in cui l'immagine cade sulla retina⁵⁸;
- dalla funzionalità della retina e dalla conduzione degli stimoli lungo il nervo ottico e le vie nervose fino alla scissura calcarina;
- dall'età del soggetto⁵⁹;

⁵⁶ Dall'inglese "*Static Visual Acuity*". (Knudson D., Kluka D.A., 1997)

⁵⁷ I più utilizzati sono i simboli alfabetici o numerici, poi ne esistono di altri tipi come figure o simboli, utilizzati con i bambini, le caratteristiche C di Landolt e le E di Snellen, presentate posizionate in vari orientamenti, e reticoli e scacchiere. (Rossetti A., Gheller P., 2003)

⁵⁸ Sappiamo che anatomicamente solo la regione maculare e precisamente la zona foveolare, che ha un'estensione di circa 300 micron e che è formata solo da coni con caratteristiche lievemente diverse dai rimanenti, può permettere un *visus* massimo di 10/10.

Basta distanziarsi di qualche grado dalla fovea perché la visione si riduca rapidamente a 2/10, in quanto non esistono più i presupposti anatomici per una visione distinta. (Bucci M.G., 1993)

⁵⁹ Diminuisce fisiologicamente con l'età. A 80 anni è ridotta in media del 50%. (Bucci M.G., 1993)

- dall'entità dell'attenzione che il soggetto pone nell'osservare un oggetto e dalla conoscenza o meno di tale oggetto;
- dal tempo a disposizione per concentrarsi su tale oggetto;
- dall'eventuale presenza di difetti visivi;
- il contrasto tra l'oggetto e lo sfondo;

La capacità di discriminare i dettagli di oggetti in movimento è chiamata invece *acuità visiva dinamica*, abbreviabile anch'essa con DVA⁶⁰.

Poiché la maggior parte degli sport è dinamica, il DVA può essere una variabile importante nelle prestazioni sportive.

Avere una buona SVA non garantisce che una persona abbia una buona DVA.

SVA è debolmente correlata alla DVA a bassa velocità e non è correlata ad essa a velocità più elevate⁶¹.

La capacità di osservare i dettagli fissi in condizioni di contrasto variabile (SVA) è diversa dalle condizioni visive che si presentano negli sport che richiedono una DVA in condizioni di movimento, tridimensionalità e contrasto variabile.

La DVA migliora dai 6 ai 20 anni e comincia a declinare in seguito⁶².

Alcuni studi hanno mostrato un miglioramento della DVA con l'allenamento⁶³ e grandi differenze di essa tra gli individui.

Alcune persone non sono fortemente influenzate dal movimento relativo di un oggetto, mentre altre lo sono, il che significa che la percezione visiva è facilmente disturbata dal movimento relativo degli oggetti⁶⁴.

I bambini di età inferiore ai 10 e 12 anni potrebbero non avere una DVA sviluppata a sufficienza per eseguire determinate abilità motorie⁶⁵, per cui prima di quest'età è necessario regolare e ridimensionare le attrezzature, per esempio con palle più grandi e meno elastiche o con racchette grandi e così via, per assistere il bambino.

⁶⁰ Dall'inglese "*Dynamic Visual Acuity*". (Knudson D., Kluka D.A., 1997)

⁶¹ Morris, 1977.

⁶² Burg nel 1966, Ishigaki e Miyao nel 1994.

⁶³ Long e Rourke, 1989.

⁶⁴ Morris, 1977.

⁶⁵ Schalen, 1980.

Altre abilità visive che possono essere importanti per l'arbitro includono la capacità di raggiungere rapidamente una visione chiara e stabile a diverse distanze di visione, modificando accomodazione e convergenza, e una buona sensibilità al contrasto. Quest'ultima infatti può essere importante in quanto i direttori di gara si ritrovano spesso ad arbitrare con condizioni atmosferiche non sempre ottimali, come ad esempio con la pioggia o la nebbia.

3.1.2 La sensibilità al contrasto

Il mondo visivo è dotato di forme che distinguiamo da uno sfondo essenzialmente per differenza di luminanza, ossia per la presenza di contrasto, ma solitamente quest'ultimo è molto minore rispetto a quello tra il bianco e il nero usato per valutare l'acuità visiva d'uso comune⁶⁶, per cui il contrasto tra il simbolo nero su fondo bianco o luminoso dell'ottotipo è di gran lunga superiore alla soglia di percezione del contrasto.

Esiste attualmente la possibilità di valutare in maniera più approfondita, o comunque diversa dall'acuità visiva, la capacità di identificare mire a contrasto ridotto, come per esempio un oggetto grigio su sfondo grigio di differente brillantezza, mediante l'esame della *sensibilità al contrasto*.

La sensibilità al contrasto può essere valutata con molte metodiche che però si basano tutte sullo stesso principio: esse rilevano la capacità di percepire in maniera distinta l'una dall'altra, il susseguirsi di barre parallele nere su fondo bianco, presentate variando la frequenza spaziale od il contrasto.

Occorre a questo punto ricordare come questo susseguirsi di barre sia formato da linee i cui margini, o profili, possono essere netti o sfumati. L'ampiezza di una barra scura o luminosa rappresenta un ciclo e la frequenza spaziale⁶⁷ viene espressa come numero di cicli per grado di angolo visivo.

I test per la valutazione della sensibilità al contrasto possono variare la frequenza delle barre tenendo costante il contrasto oppure la

⁶⁶ Rossetti A., Gheller P., 2003.

⁶⁷ Definita come la funzione inversa del periodo, per cui un periodo breve, cioè un reticolo formato da barre fitte, corrisponde ad una frequenza spaziale alta; viceversa, un reticolo con barre larghe, in cui è presente solo la barra chiara e quella scura, corrisponde ad una frequenza spaziale bassa. (Casco C., 2014)

frequenza, ma variando il contrasto, sfumando i margini della barra nera⁶⁸.

L'esame della sensibilità al contrasto è oggi considerato un test base dell'attività oculistica perché sembra essere utile per la diagnosi precoce e per la valutazione dell'evoluzione di alcune patologie oculari, tra cui le retinopatie vascolari, il glaucoma e l'ambliopia, ma purtroppo è ancora di scarsa diffusione perché si tratta di un esame di recente introduzione nella semeiologia funzionale oftalmologica e su cui sono in corso ancora numerose indagini per definire la sua sensibilità e specificità.

Indubbiamente esso fornisce informazioni di diversa natura o comunque più sensibili rispetto alla semplice valutazione dell'acuità visiva.

Nell'arbitraggio e nello sport in generale, per ottenere prestazioni ottimali ci si deve assicurare che il terreno di gioco e di allenamento sia ben illuminato e che le aree di sfondo siano in netto contrasto con le attrezzature, tra cui palla e rete. In condizioni atmosferiche avverse sarebbe più utile per i giocatori utilizzare divise più visibili e riconoscibili.

Rispetto alla visione dei giocatori, le caratteristiche visive di base degli arbitri sportivi hanno ricevuto molta meno attenzione.

In uno dei pochissimi studi condotti su alcuni arbitri di calcio per valutarne le competenze visive, è stato riscontrato che gli arbitri di alto livello avessero prestazioni migliori rispetto agli arbitri e ai giocatori alle prime armi in alcune abilità visive valutate a distanza ravvicinata e intermedia, tra cui visione periferica, movimenti oculari, in particolare saccadici, e velocità di riconoscimento.

3.1.3 I movimenti oculari

Nel diciannovesimo secolo Hermann Helmholtz ed altri psicofisici della visione manifestarono interesse tra le altre cose anche per i movimenti oculari.

Questi studiosi erano ben consapevoli che l'analisi di questi movimenti fosse essenziale per capire la percezione visiva, ma non si resero conto che esistesse più di un tipo di movimento oculare.

⁶⁸ Rappresentazione sinusoidale. (Bucci M.G., 1993)

Tuttavia, nel 1890 Edwin Landolt scoprì che quando leggiamo gli occhi non si muovono in modo regolare lungo la linea di lettura, ma compiono una serie di piccoli movimenti a scatto, i cosiddetti movimenti saccadici, ognuno dei quali è seguito da una breve pausa. Nel 1902 Raymond Dodge descrisse cinque diversi sistemi motori in grado di portare la fovea sul bersaglio visivo e di mantenervela. Di questi cinque sistemi, tre portano la fovea su un bersaglio visivo posto nell'ambiente circostante e due stabilizzano gli occhi durante i movimenti del capo: i primi sono i *movimenti oculari saccadici*, i *movimenti lenti di inseguimento* e i *movimenti di vergenza*, mentre i secondi sono i *riflessi vestibolo-oculari* e i *riflessi optocinetici*.

1. I *movimenti oculari saccadici*, o più semplicemente *saccadi*, portano rapidamente la fovea verso un bersaglio visivo disposto alla periferia del campo visivo stesso.

Esistono saccadi *riflesse*, guidate da eventi periferici, per esempio quando accade qualcosa di nuovo in visione periferica, e saccadi *volontarie*, guidate da strategie interne, per esempio durante l'esplorazione visiva⁶⁹.

All'interno di questa categoria sono compresi anche i movimenti oculari durante la fase REM del sonno, le fasi rapide del nistagmo e le microsaccadi durante i periodi di fissazione e i movimenti di inseguimento lento.

Sebbene nella vita quotidiana le saccadi avvengano perlopiù in maniera inconsapevole, esse sono sotto il controllo volontario: è possibile modificarne l'ampiezza e la direzione, ma la loro velocità non può essere controllata, in quanto quest'ultima dipende solo dalla distanza del bersaglio dalla fovea.

Sono estremamente rapide, avendo la durata di una frazione di secondo, per cui la loro velocità può raggiungere i 900°/s.

Possono avere un'ampiezza compresa fra meno di 0,1°, per cui si parla di microsaccadi, e quasi 90°.

Tuttavia raramente l'ampiezza delle saccadi è superiore a 20-25°, per cui per ampie escursioni dello sguardo si ricorre di regola ad un movimento combinato occhi-testa⁷⁰ o

all'accoppiamento di una saccade primaria con una correttiva,

⁶⁹ De' Sperati C., 2003.

⁷⁰ Guitton, 1988.

senza cercare, per forza, di essere il più accurati possibile mediante un'unica saccade⁷¹.

I centri sottocorticali che partecipano alla generazione delle saccadi si trovano nel tronco encefalico e nel collicolo superiore: i centri del tronco encefalico sono principalmente la *sostanza reticolare paramediana pontina* e la *sostanza reticolare mesencefalica*.

Movimenti saccadici di precisione possono essere eseguiti non solo verso bersagli visivi, ma anche in risposta a suoni, a stimoli tattili, al ricordo della posizione spaziale degli oggetti e perfino a comandi verbali.

2. I ***movimenti lenti di inseguimento*** mantengono fissa sulla fovea l'immagine di un oggetto in movimento, calcolandone la velocità e facendo muovere gli occhi alla medesima velocità. A differenza dei movimenti saccadici, non sono sufficienti l'ascolto di un comando verbale o l'immaginazione di uno stimolo per generare questo tipo di movimento oculare, ma, per l'appunto, è necessaria la presenza di un bersaglio visivo in movimento.

Questi tipi di movimenti oculari godono di alcune proprietà che li rendono qualcosa di più che un semplice riflesso: in primis necessitano di un atto intenzionale per essere eseguito, ovvero si deve decidere di seguire uno stimolo con gli occhi, in secondo luogo l'attenzione ricopre un ruolo importante nel modularne l'efficienza, perché a seconda del grado di attenzione è possibile fare una distinzione tra inseguimento ***passivo***, in cui si può seguire in maniera distratta uno stimolo in movimento con un guadagno basso, e inseguimento ***attivo***, in cui siamo ben concentrati sullo stimolo e il guadagno è elevato⁷².

Infine il movimento di inseguimento lento si avvale di un'importante ed interessante componente predittiva: se lo stimolo è periodico, un meccanismo interno, peraltro ancora in gran parte da chiarire, consente di emettere la risposta motoria, non solo senza ritardo rispetto allo stimolo, ma spesso in anticipo⁷³.

⁷¹ Jacobs, 1987.

⁷² Pola e Wyatt, 1991.

⁷³ St Cyr e Fender, 1969.

Che un pattern motorio organizzato esista davvero anche in assenza dello stimolo retinico è dimostrato dal fatto che, se lo stimolo scompare improvvisamente dopo alcuni secondi di inseguimento oculare, la risposta motoria persiste, pur degradandosi in breve tempo⁷⁴.

La velocità massima che possono raggiungere i movimenti oculari di inseguimento è di 100°/s, molto più bassa di quella dei movimenti saccadici.

3. I ***movimenti di vergenza*** muovono i due occhi in direzioni opposte in modo che l'immagine di un bersaglio visivo si proietti su entrambe le fovee.

Mentre il sistema del movimento lento di inseguimento e quello del movimento saccadico generano movimenti ***coniugati*** di entrambi gli occhi, per cui ciascun occhio compie un movimento della medesima ampiezza e nella medesima direzione, il sistema del movimento di vergenza genera movimenti ***disgiuntivi***, perché oltre a far muovere gli occhi in direzioni opposte, come già anticipato, a volte li fa muovere anche con ampiezze diverse.

Quando si guarda un oggetto che si avvicina gli occhi convergono, cioè ruotano l'uno verso l'altro, mentre quando si guarda un oggetto che si allontana, essi divergono, cioè ruotano in direzione opposta.

Questi movimenti disgiuntivi fanno sì che un oggetto che suscita interesse formi la propria immagine in punti corrispondenti di entrambe le retine, mentre normalmente gli oggetti formano la loro immagine in punti leggermente diversi delle due retine.

Il sistema visivo utilizza queste differenze nelle posizioni retiniche, o ***disparità retiniche***, per creare il senso della profondità, e il sistema del movimento di vergenza le utilizza per generare questi movimenti disgiuntivi.

Il mondo visivo non è mai tutto a fuoco sulla retina: quando guardiamo un oggetto vicino, gli oggetti più lontani diventano sfocati; per metterli a fuoco, il sistema oculomotore fa contrarre il muscolo ciliare ed in questo modo fa sì che il raggio di

⁷⁴ Whittaker e Eaholtz, 1982.

curvatura del cristallino si modifichi in modo da mettere a fuoco l'oggetto stesso sulla retina.

Questo processo è noto con il nome di *accomodazione*.

Quest'ultima e la vergenza sono accoppiate tra di loro: un'immagine sfocata è lo stimolo che provoca l'accomodazione e tutte le volte che questa si verifica, viene eseguito un movimento di convergenza, durante il quale si verifica ancora un'accomodazione.

Contemporaneamente la pupilla si restringe transitoriamente per aumentare la profondità di campo.

L'accoppiamento dei sistemi di accomodazione e vergenza con la costrizione pupillare forma la risposta per la visione da vicino.

4. I ***riflessi vestibolo-oculari*** mantengono stabili le immagini sulla retina durante i movimenti del capo e sono chiamati così perché vengono prodotti da segnali provenienti dal sistema vestibolare.

Dai recettori dei canali semicircolari, attraverso l'VIII nervo cranico⁷⁵, il segnale di rotazione della testa giunge ai nuclei vestibolari e da qui ai nuclei oculomotori. Il risultato finale è una controrotazione degli occhi in direzione opposta a quella della testa.

Esistono tre diversi tipi di riflessi vestibolo-oculari⁷⁶:

- di ***rotazione***, che compensa la rotazione del capo e riceve segnali prevalentemente dai canali semicircolari;
- di ***traslazione***, che compensa i movimenti lineari del capo;
- ***la risposta oculare controrotatoria***, che compensa l'inclinazione del capo rispetto al piano verticale;

Il secondo ed il terzo di questi riflessi sono mediati prevalentemente da segnali provenienti dagli organi otolitici e quindi vengono denominati *riflessi otolitici*.

Sebbene la maggior parte dei movimenti del capo siano costituiti da complesse combinazioni di movimenti di rotazione e traslazione, i riflessi hanno proprietà tali che consentono loro

⁷⁵ Branca vestibolare. (De' Sperati C., 2003)

⁷⁶ Kandel E.R. et al., 2003.

di analizzare in modo indipendente le singole componenti dei movimenti.

Inoltre, a dispetto della loro natura di movimento riflesso, i riflessi vestibolo-oculari sono modificabili da fattori cognitivi come l'attenzione o l'immaginazione.

5. I *riflessi optocinetici* mantengono stabile l'immagine sulla retina durante i movimenti rotatori prolungati del capo e sono evocati da stimoli visivi.

Tali riflessi, infatti, possiedono proprietà complementari a quelle dei riflessi vestibolo-oculari: innanzitutto rispondono a movimenti molto lenti delle immagini visive, a cui non rispondono bene i canali semicirculari, si sviluppano lentamente e quindi, in secondo luogo, forniscono un segnale di movimento che subentra al segnale vestibolare quando questo diminuisce di intensità.

Tutto questo perché i due tipi di riflesso si comportano diversamente in funzione del tipo di movimento del capo: quando questo viene ruotato repentinamente prevale il contributo del riflesso vestibolo-oculare, quando invece viene fatto ruotare in maniera lenta e uniforme prevale quello del riflesso optocinetico.

Questa collaborazione tra riflessi vestibolo-oculari e optocinetici garantisce la qualità e la nitidezza della visione.

Esistono situazioni in cui gli occhi devono rimanere stabili all'interno dell'orbita, in modo tale da poter esaminare un oggetto fermo.

Per questo motivo è stato aggiunto alla lista un sesto sistema, chiamato di *fissazione*, che provvede a mantenere gli occhi stabili quando lo sguardo resta fisso intenzionalmente in una particolare direzione, sopprimendo i movimenti oculari.

3.1.4 La visione periferica

Come già enunciato nei capitoli precedenti, la visione periferica è quella parte di visione che risiede al di fuori del centro di sguardo, a circa 20 gradi della fovea, particolarmente sviluppata in condizioni di visione scotopica, cioè di buio e di notte, e sede di particolari elementi nervosi chiamati bastoncelli, responsabili della trasformazione dello

stimolo luminoso in impulso elettrico e della percezione del movimento.

Nello sport la visione periferica si identifica con la quantità di spazio che l'atleta riesce ad abbracciare con la coda dell'occhio, senza distogliere lo sguardo dalla posizione di fissazione centrale.

Come ogni abilità visiva, anche essa può essere allenata e perfezionata per migliorare l'anticipazione e la velocità di reazione di un giocatore ma anche del singolo arbitro.

La sua ampiezza non è solo importante nella valutazione di un "oggetto" in movimento, che si tratti di un compagno di squadra o di un avversario, di un collega guardalinee o del pallone, ma soprattutto è essenziale nella fase di percezione e quindi di previsione delle azioni di gioco.

Inoltre una buona visione periferica non è solo vantaggiosa per il monitoraggio dell'ambiente circostante, ma anche per il mantenimento di un equilibrio e livello costante negli sport di squadra⁷⁷: permette di percepire informazioni indispensabili per organizzare risposte adeguate senza dover costantemente girare la testa⁷⁸, consentendo così al giocatore o all'arbitro non solo di poter continuare o seguire l'azione in corso, ma anche di poterne percepire e notare altre intorno a loro.

Per esempio quando un giocatore vuole passare il pallone al suo compagno di squadra, non deve per forza guardarlo direttamente, perdendo magari del tempo prezioso o il pallone stesso, ma percepire la sua presenza utilizzando la visione periferica e concludere il passaggio nel minor tempo possibile; non girando la testa verso il proprio compagno, il giocatore impedisce anche ad un eventuale avversario di capire la traiettoria del passaggio.

Pertanto se un giocatore o un arbitro ha una migliore visione periferica, può notare più velocemente un compagno di squadra, un'azione o un fallo e agire di conseguenza con un tasso di successo più alto.

Un altro aspetto della visione che influisce sulle prestazioni è certamente l'occhio dominante.

⁷⁷ Nan W. et al., 2014.

⁷⁸ Campher, 2008.

3.1.5 La dominanza oculare e la lateralità corporea

La laterizzazione è un processo di specializzazione funzionale con il quale non ci si riferisce solo all'uso preferenziale di un emicorpo rispetto all'altro, ma anche, e soprattutto, ad una diversa distribuzione di funzioni a livello degli emisferi cerebrali. È infatti la dominanza di un emisfero cerebrale sull'altro a determinare la manifestazione di maggiore forza ed energia in una metà del corpo rispetto all'altra. La laterizzazione è una tappa fondamentale dello sviluppo motorio del bambino e che caratterizza tutta l'esistenza e, essendo un processo, si svolge in tappe successive che sono state identificate e suddivise in vari stadi, più o meno sovrapponibili, dagli autori che se ne sono occupati.

Secondo Piaget, il processo di lateralizzazione si compie in tre stadi così denominati: *indifferenziato*, per cui si ha l'uso dei due indistintamente, *alternato*, per cui si usano entrambe le mani per capire quale sia la più efficace, e *definitivo*, dove il bambino ha scelto una mano in modo stabile.

Secondo Danielski, invece, gli stadi sono cinque: *antagonismo destra-sinistra*, *inizio simmetria*, *simmetria*, *inizio lateralizzazione* e *lateralizzazione*.

Al di là delle parziali discrepanze di stadiazione del processo di lateralizzazione, gli autori concordano sull'identificazione dell'epoca dell'ontogenesi nella quale il processo si attua: sono stati individuati dal medico Orton due periodi fondamentali per il corretto, mancato o distorto sviluppo della lateralizzazione, ovvero il periodo compreso tra i due ed i tre anni e quello compreso tra i sei e gli otto anni, nei quali si sottolinea l'importanza dell'educatore a "porre particolare attenzione alla definizione di lateralizzazione, cercando di individuarla e rafforzarla".

Come già accennato in precedenza, la lateralizzazione è accompagnata da una differente distribuzione delle funzioni a livello cerebrale, dove l'emisfero sinistro è la sede primaria delle funzioni logico-linguistiche e del pensiero analitico, mentre l'emisfero destro è la sede delle funzioni visuo-spaziali, immaginative, musicali e del pensiero intuitivo-sintetico.

La dominanza dell'emisfero destro o sinistro determina, ad incrocio, rispettivamente il mancinismo ed il destrismo. Questo non si riflette

solo sulla scelta della mano con cui scrivere, ma anche sul movimento e l'apprendimento delle varie discipline, motorie e non.

Per quanto concerne il movimento, la lateralizzazione incide sulla coordinazione motoria, principalmente su quella oculo-manuale che coordina gli stimoli ricevuti dagli occhi con i movimenti delle mani, e sull'equilibrio, in particolare nel passaggio da un equilibrio in movimento a quello in volo, in cui devono essere perfettamente integrate le funzioni di attacco e slancio degli arti dominanti e quelle di appoggio e stacco degli arti complementari⁷⁹.

Proprio per questi motivi si possono elencare diversi tipi di dominanze che possono influire sulla prestazione fisica e sportiva e che sono state prese in considerazione per lo studio di cui si parlerà nel prossimo capitolo.

1. **Occhio dominante:** la presenza di due occhi e la loro possibile rivalità nelle percezioni induce il cervello a sceglierne uno come dominante per facilitare il suo lavoro.

Ogni persona ha un occhio dominante che elabora e trasmette informazioni al cervello pochi millisecondi più velocemente dell'altro, di cui guida anche il movimento e le fissazioni⁸⁰.

Per individuarlo è necessario che il soggetto utilizzi un cartoncino forato al centro, che terrà con le braccia distese in avanti, all'altezza delle spalle e attraverso cui osserverà, con entrambi gli occhi aperti, un punto posizionato sul muro alla distanza di qualche metro. Mediante l'utilizzo di un occlusore, l'esaminatore chiuderà alternativamente i due occhi del soggetto, il quale noterà che con uno dei due occhi non vedrà più il punto sul muro. L'occhio che continua a vederlo è l'occhio dominante.

Usualmente è associato alla dominanza manuale, quindi destro nei destrimani e sinistro nei mancini. Tuttavia, la dominanza crociata, vale a dire occhio destro e mano sinistra o viceversa, è possibile ed è considerata, ma senza accordo, associata a difficoltà di coordinazione occhio-mano e a caratteristiche psicopercettive⁸¹.

2. **Mano dominante:** è quella utilizzata per scrivere.

⁷⁹ Valentini M. et al., 2016.

⁸⁰ Kluka, 1991.

⁸¹ Rossetti A., Gheller P., 2003.

3. ***Spalla dominante:*** facendo un salto di 180°, osservare da che lato avviene il giro. La spalla dominante è quella che gira e non quella che fa da perno.
4. ***Bacino dominante:*** facendo un giro di 360°, osservare da che lato avviene il giro. Il bacino dominante è quello che gira e non quello che fa da perno.
5. ***Piede dominante:*** calciando una palla, osservare il piede usato per farlo. Questo sarà il piede dominante.
6. ***Gamba di agilità e di forza:*** prendendo la rincorsa, saltare un piccolo ostacolo posto per terra. La gamba di agilità è quella che stacca per prima, l'altra è quella di forza.

Capitolo 4

Lo studio

Nei paragrafi che seguono verranno descritti nel dettaglio il metodo e i test statistici utilizzati per analizzare il grado di influenza di un allenamento visuo-motorio in un campione di arbitri di rugby.

4.1. I soggetti

A questo studio hanno partecipato 13 arbitri di rugby della sezione di Padova, di cui 10 uomini e 3 donne, di età compresa tra i 18 e i 51 anni.

I soggetti sono stati selezionati previa autocandidatura seguendo i seguenti criteri: interesse e curiosità nel tipo di studio, disponibilità, collaborazione e perseveranza durante il periodo di valutazione e allenamento.

4.2 Procedura e strumentazione

Lo studio è stato effettuato settimanalmente ogni lunedì sera, nel periodo compreso tra il 7/11/2016 e il 27/03/2017.

La sede è stata la sezione degli arbitri di rugby di Padova presso lo stadio euganeo, in via Nereo Rocco, dove sono state adibite due stanze, una per lo screening iniziale e finale, l'altra per il test controllo iniziale e finale e l'allenamento visuo-motorio con metodo S.V.T.A.

La prima stanza era leggermente più piccola della seconda, ma in entrambe sono state mantenute le stesse condizioni di luce per tutta la durata dello studio, con la strumentazione posizionata ogni volta nello stesso posto.

La strumentazione utilizzata per l'intero studio comprendeva: tavole per la valutazione dell'acuità visiva per lontano e vicino e per la visione periferica, un retinoscopio, test di Weiss per la valutazione della stereopsi, filtri anaglifici rosso/verde, un occlusore, un cartoncino forato, due matite, kit S.V.T.A., conetti, un balance disc in gomma, una balance board in legno e un pallone da rugby.

4.3 Il metodo S.V.T.A.

Il metodo S.V.T.A., basato sul training percettivo ed in particolare sul training visivo, è perfettamente integrato con il sistema motorio e cognitivo ed è in grado di rispondere alle esigenze di tutti soggetti con o senza deficit, persone comuni e atleti.

Inoltre diventa indispensabile per migliorare la performance degli atleti, in quanto molti neuroscienziati ritengono che l'allenamento visuo-motorio sia l'anello mancante per l'eccellenza nella prestazione sportiva.

Il percorso di training S.V.T.A. nasce da anni di interazione interdisciplinare tra diverse figure professionali quali optometristi, oftalmologi, psicologi, neurologi, neuroscienziati, osteopati, kinesiologi ed esperti in scienze motorie.

Il metodo S.V.T.A. è studiato per coinvolgere e far interagire:

1. *Abilità visive;*
2. *Equilibrio;*
3. *Sistema vestibolo-oculare;*
4. *Senso cinestetico;*
5. *Abilità motorie-coordinative;*
6. *Udito;*
7. *Abilità cognitive;*

Attraverso l'allenamento delle abilità visive si prepara un atleta a ricevere ed elaborare le informazioni nel modo più rapido ed efficiente possibile, predisponendolo ad ottimizzare la sua performance agendo nel modo giusto e al momento giusto, con estrema precisione e destrezza.

I nuovi studi sulla neuroscienza hanno messo in evidenza che allenando le abilità visive si agisce sul nucleo caudale o pulvinar, ovvero uno dei nuclei talamici più importanti che presiede alla discriminazione visiva tra input salienti e distrattori, stimolando:

1. *La visione attiva;*
2. *La concentrazione;*
3. *La visualizzazione;*
4. *L'attenzione sostenuta e selettiva;*

Il metodo S.V.T.A. è studiato per far interagire la visione e il sistema motorio in modo da ridurre i tempi di latenza per l'elaborazione e l'interpretazione degli stimoli e, di conseguenza, eseguire il gesto motorio nel miglior modo possibile.

La valutazione delle dominanze, delle lateralità e delle asimmetrie funzionali aiuta a creare un allenamento percettivo-motorio personalizzato sul singolo atleta o sulla singola squadra, aumentando la qualità e riducendo i tempi di apprendimento.

Il training S.V.T.A. è un'integrazione dell'allenamento quotidiano di ogni sport, attraverso sessioni specifiche durante la preparazione atletica, diventando così indispensabile per mantenere attivo il sistema visuo-motorio e velocizzare anche il rientro in campo dopo un infortunio.



Figura 9: Kit S.V.T.A.
Fonte: <http://home.svta.it/>

4.4 Il kit S.V.T.A.

Il kit è contenuto in una borsa personalizzata contenente tutto il materiale in maniera compatta e facilmente trasportabile.

Il kit comprende:

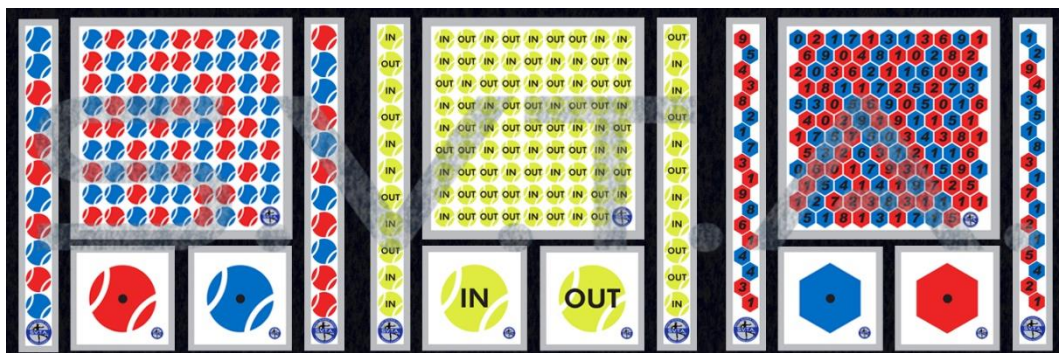


Figura 10: Pannelli a due impulsi (rosso e blu e in e out, strisce saccadiche, pannelli per fissazioni e coordinazione oculo-manuale o oculo-podalica).
Fonte: <http://home.svta.it/>

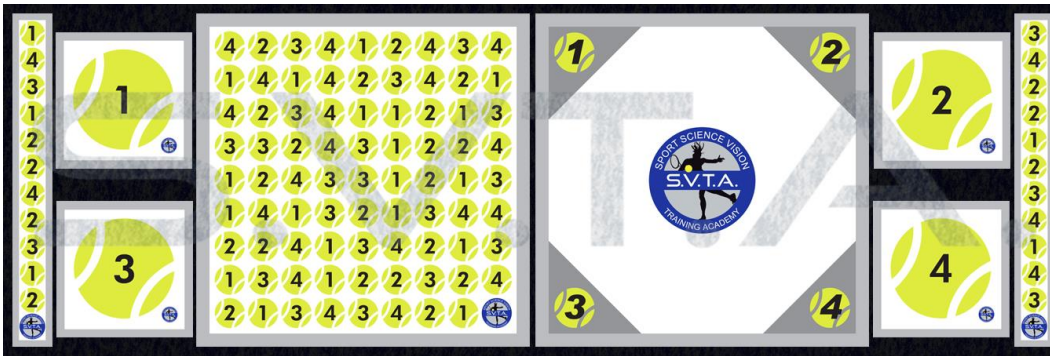


Figura 11: Pannelli a 4 impulsi (1,2,3 e 4, ai lati strisce per saccadi, proseguendo verso l'interno pannelli per coordinazione oculo-manuale o oculo-podalica e pannello per fissazioni).

Fonte: <http://home.svta.it/>



Figura 12: Pannelli a 4 impulsi (giallo, rosso, blu e verde, ai lati strisce saccadiche, all'interno pannelli per fissazioni e coordinazione visuo-motoria).

Fonte: <http://home.svta.it/>

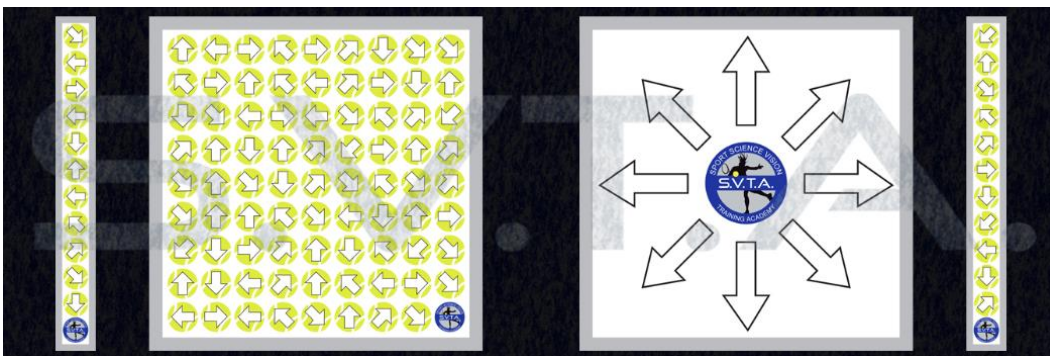


Figura 13: Pannelli a 8 impulsi (8 frecce per 8 direzioni, ai lati strisce saccadiche, all'interno pannelli per fissazioni e coordinazione visuo-motoria).

Fonte: <http://home.svta.it/>

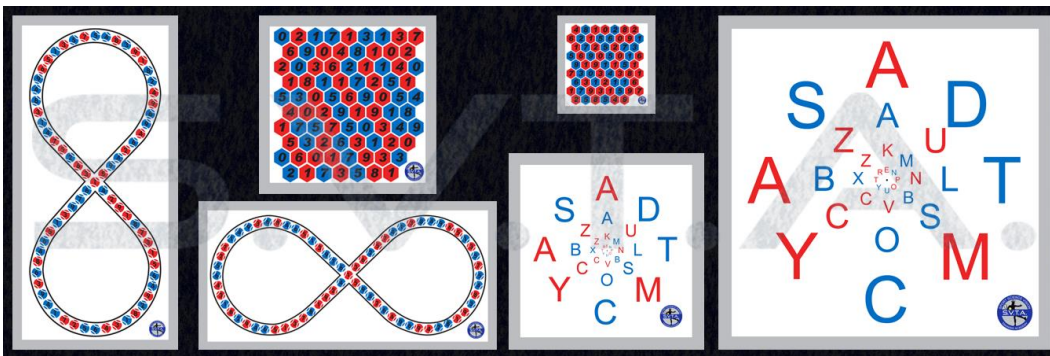


Figura 14: Pannelli per inseguimenti (simbolo dell'infinito), pannelli per visione periferica (lettere) e i rimanenti pannelli per flessibilità di accomodazione e vergenza.

Fonte: <http://home.svta.it/>

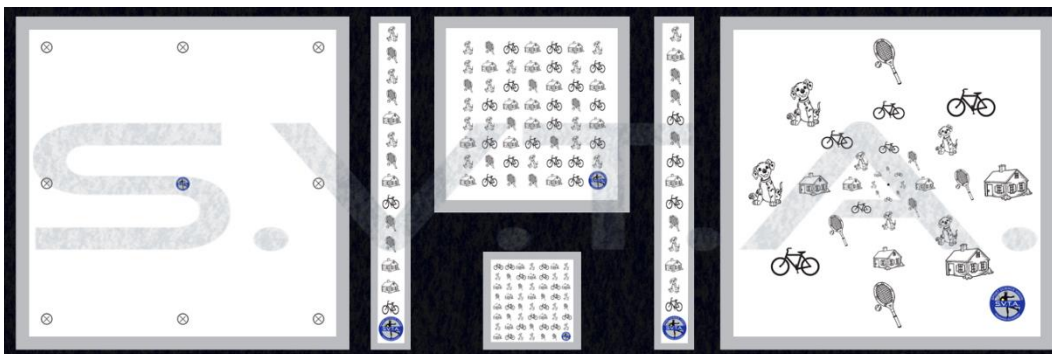


Figura 15: Pannello per fissazioni, visione periferica e per flessibilità di accomodazione e vergenza e strisce saccadiche per bambini.

Fonte: <http://home.svta.it/>



Figura 16: Occhiali anaglifici rosso/blu ciano.

Fonte: <http://home.svta.it/>



Figura 17: Metronomo.

Fonte: <http://home.svta.it/>

Tutti i pannelli sono stati realizzati in cloruro di polivinile, o PVC, senza effetto memoria di forma, sono resistenti ed adatti ad un uso intenso di tipo sportivo in condizioni climatiche difficili; infatti può essere bagnato, lavato ed esposto al sole senza perdere colore o deteriorarsi.

Il kit infine contiene al suo interno anche un manuale di istruzioni.

	VALUTAZIONE (1→5)
SACCADI	
INSEGUIMENTI	
VISIONE PERIFERICA	

DOMINANZE E LATERALITA'	DX/SX
<u>OCCHIO</u> Dominante	
<u>SPALLA</u> Dominante	
<u>MANO</u> Dominante	
<u>BACINO</u> Dominante	
<u>PIEDE</u> Dominante	
<u>GAMBA AGILE e GAMBA DI FORZA</u>	

Il campione era composto sia da persone che non portavano alcuna correzione ottica, sia da altre che invece ne facevano uso. In entrambi i casi è stato riscontrato che l'acuità visiva rilevata fosse buona, raggiungendo almeno i 10/10 bino.

Si è deciso di valutare con un voto da 1 a 5, dove 1 è il voto minimo e 5 quello massimo, saccadi, inseguimenti e visione periferica, in quanto parametri presi in considerazione durante questo studio.

Durante lo screening in questione tali parametri sono stati esaminati con queste semplici modalità:

- **Saccadi:** mediante l'utilizzo di due matite, valutazione della fluidità del movimento oculare senza movimento del capo nel passaggio da una matita all'altra;

- **Inseguimenti:** mediante l'utilizzo di una sola matita, valutazione della fluidità del movimento oculare nel seguire la matita senza movimento del capo lungo una traiettoria a forma di “∞”;
- **Visione periferica:** lettura di una tavola per la valutazione della visione periferica, come in figura 18, senza distogliere lo sguardo dal centro;

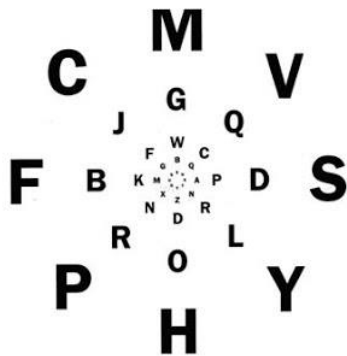


Figura 18: Tavola visione periferica.

Qui di seguito è riportata la tabella di valutazione utilizzata:

Scala di valutazione saccadi-inseguimenti-visione periferica

1	6 o più recuperi e/o stop
2	5 recuperi e/o stop
3	4 recuperi e/o stop
3.5	3 recuperi e/o stop
4	2 recuperi e/o stop
4.5	1 recupero e/o stop
5	0 recuperi e/o stop

Tabella II

Legenda: Recupero = movimento della testa

Stop = interruzione dell'esercizio per ricominciare da capo

4.6 Il test controllo con il kit S.V.T.A.

Terminato lo screening iniziale si è proceduto con il training con metodo S.V.T.A.

Dal momento che il metodo S.V.T.A. abbina test visivi ad esercizi motori per valutare l'influenza che la qualità delle abilità visive può avere sul gesto motorio e tecnico e quindi sulla performance sportiva, è stato ritenuto interessante effettuare prima e dopo l'allenamento un test controllo composto da esercizi visivi e motori considerati utili e specifici per il campione preso in esame, sulla base di attitudini e obiettivi.

Per questi motivi ad ogni esercizio proposto, uno per ogni abilità visiva che si desiderava testare, per un totale di tre⁸², è stato dato un voto da un minimo di 1 ad un massimo di 5 sia alla componente visiva, sia a quella motoria dell'esercizio in questione.

Il test controllo è stato così pensato ed eseguito:

Abilità visiva valutata	Pannelli S.V.T.A. utilizzati	Esercizio visivo	Esercizio motorio
Saccadi	Strisce saccadiche raffiguranti 8 frecce per 8 direzioni.	Posizionando le strisce a circa 100 cm tra loro, spostare lo sguardo da una striscia all'altra fissando le frecce.	A una distanza di lavoro di circa 150 cm dalle strisce sul muro, effettuare una corsa attorno a 8 conetti raffiguranti le direzioni delle frecce per poi tornare ogni volta al riferimento centrale dopo ogni impulso di direzione fissato.

⁸² Saccadi, inseguimenti e visione periferica.

Abilità visiva valutata	Pannelli S.V.T.A. utilizzati	Esercizio visivo	Esercizio motorio
Inseguimenti	Simbolo dell'infinito con palline blu e rosse contenenti numeri neri.	Indossando un paio di occhiali anaglifici rosso/blu ciano, ad una distanza di lavoro di circa 150 cm dal pannello sul muro, muovere gli occhi simultaneamente da una pallina all'altra lungo il percorso nei due sensi, orario e antiorario.	Passaggio di una palla da rugby da una mano all'altra.
Visione periferica	Pannello per visione periferica con lettere rosse e blu.	Posizionandosi ad una distanza di lavoro di circa 50 cm dal pannello sul muro, mantenere la fissazione centrale cercando di percepire e leggere le lettere in periferia.	Utilizzando una balance disc, equilibrio su un piede solo a scelta.

Tabella III

Scala di valutazione componente visiva

Valutazione	Saccadi	Inseguimenti	Visione periferica
1	Non riesce ad eseguire l'esercizio.	Non riesce ad eseguire l'esercizio o a leggere tutti i numeri sul blu.	Non riesce ad eseguire l'esercizio.
2	Passa da una striscia all'altra molto lentamente e guarda dietro di sé o in basso per muoversi correttamente.	Legge i numeri molto lentamente e si avvicina con la testa al pannello per tenere il segno.	Percepisce e legge con molta fatica poche lettere, distogliendo lo sguardo dal centro anche muovendo la testa per tenere il segno.
3	Passa da una striscia all'altra lentamente e distoglie lo sguardo poche volte.	Legge i numeri lentamente ma riesce a mantenere la distanza adeguata dal pannello.	Percepisce e legge con meno fatica abbastanza lettere e distoglie meno lo sguardo dal centro senza muovere troppo la testa per tenere il segno.
4	Aumenta la velocità e l'efficacia esecutive.	Aumenta la velocità e l'efficacia esecutive.	Aumenta la velocità e l'efficacia esecutive.
5	Passa velocemente da una striscia all'altra senza errori.	Legge e velocemente e correttamente tutti i numeri.	Percepisce e legge velocemente e correttamente tutte le lettere senza mai distogliere lo sguardo dal centro e senza mai muovere la testa per tenere il segno.

Tabella IV

Scala di valutazione componente motoria

Valutazione	Saccadi	Inseguimenti	Visione periferica
1	Non riesce ad eseguire l'esercizio.	Non riesce ad eseguire l'esercizio.	Non riesce ad eseguire l'esercizio.
2	Non gira correttamente attorno ai conetti e/o li sposta con i piedi.	Aspetta molto tempo nel passaggio della palla da una mano all'altra o gli cade la palla.	Perde l'equilibrio 3 volte o più e barcolla vistosamente.
3	Riesce a girare attorno ai conetti senza troppi errori.	Il tempo di passaggio da una mano all'altra non è molto regolare ma la palla non cade.	Perde l'equilibrio 2 volte e barcolla poco.
4	Aumenta la velocità e l'efficacia esecutive.	Aumenta la velocità e l'efficacia esecutive.	Perde l'equilibrio 1 volta e barcolla leggermente.
5	Esegue l'esercizio velocemente e senza errori.	Il tempo di passaggio da una mano all'altra è costante e il movimento fluido e regolare.	Non perde mai l'equilibrio mantenendo una posizione eretta senza barcollare.

Tabella V

4.7 Il training con metodo S.V.T.A.

Il training è iniziato il 21 novembre, una settimana dopo aver valutato i 13 arbitri con il test controllo iniziale, per terminare il 20 marzo, una settimana prima dello screening finale.

In quanto allenamento, esso non è stato oggetto di alcun giudizio o voto, ma per tutta la sua durata si è basato su due semplici ed importanti principi: la gradualità e la differenziazione.

Partendo da livelli di difficoltà bassi, senza inserimento di elementi accessori, si incrementava sempre più la complessità dei compiti motori, uditivi o di equilibrio via via che l'abilità del soggetto progrediva.

Questo incremento si traduceva in un utilizzo di pannelli S.V.T.A. quasi sempre differenti ogni volta, escludendo così la possibilità di memorizzare posizioni o movimenti ma costringendo l'utilizzatore a dover pensare ad ogni esercizio andando così a sviluppare maggiormente la base cognitiva e a lavorare su quella che prima è stata già anticipata con il nome di visione attiva.

Sessioni di allenamento

Abilità visiva allenata: SACCADI

Compito: movimento a salto degli occhi da una striscia all'altra fissando e leggendo numeri/colori/input ed eseguendo contemporaneamente il gesto motorio ad una distanza di lavoro di circa 150 cm, senza mai distogliere lo sguardo dall'esercizio visivo.

Stimolo: *ESAGONI* a due impulsi ROSSO/BLU, *PALLINE* a 2 impulsi ROSSO/BLU o IN/OUT;
RIQUADRI a 4 impulsi/colori GIALLO/ROSSO/BLU/VERDE,
PALLINE a 4 impulsi 1/2/3/4.

Bassa difficoltà: pannelli a 2 soli impulsi con esagoni BLU e ROSSI e corsa sul posto, palline gialle a due impulsi con scritte nere IN/OUT e salto a piedi pari avanti e indietro dove riportato "IN" e "OUT".

Media difficoltà: pannelli a 4 impulsi con palline gialle con numeri neri 1/2/3/4 e coordinazione oculo-manuale incrociata in avanti, cioè 1 "mano destra in avanti verso sinistra", 2 "mano sinistra in avanti verso destra", e coordinazione oculo-podalica incrociata all'indietro, cioè 3 "piede destro all'indietro verso sinistra", 4 "piede sinistro all'indietro verso destra".

Elevata difficoltà: pannelli a 4 impulsi con riquadri di un colore e scritte all'interno di un altro, con corsa e simulazione del passaggio del rugby a livello del conetto nella direzione del colore letto che può essere quello del riquadro o del colore interno su indicazione, rispettivamente GIALLO "in avanti verso sinistra", ROSSO "in avanti verso destra", BLU "all'indietro verso sinistra", VERDE "all'indietro verso destra", tornando ogni volta al riferimento centrale.

Utilizzo di occhiale anaglifico rosso/blu ciano e metronomo.

Abilità visiva allenata: INSEGUIMENTI

Compito: movimento simultaneo e veloce dei due occhi da una pallina all'altra lungo il percorso, in senso orario o antiorario, fissando e leggendo i numeri/colori ed eseguendo contemporaneamente il gesto motorio ad una distanza di lavoro di circa 150 cm, senza mai distogliere lo sguardo dall'esercizio visivo.

Stimolo: pannello raffigurante SIMBOLO DELL'INFINITO, orizzontale o verticale, con all'interno *PALLINE ROSSE E BLU* con numeri neri.

Bassa difficoltà: saltelli sul posto o passaggio della palla attorno al bacino.

Media difficoltà: equilibrio su una gamba sola a piacere su balance disc e utilizzo di occhiali rosso/blu ciano.

Elevata difficoltà: lettura dei numeri agendo però secondo "PARI" e "DISPARI", ovvero salto a piedi pari verso destra ogni qualvolta si legge un numero pari e verso sinistra con i numeri dispari. Utilizzo del metronomo a velocità crescenti.

Abilità visiva allenata: VISIONE PERIFERICA

Compito: mantenendo la fissazione centrale, percepire e leggere le lettere dal centro alla periferia e viceversa, con andamento circolare o rettilineo e obliquo, ad una distanza di lavoro di circa 50 cm.

Stimolo: pannello per la valutazione della visione periferica con *LETTERE ROSSE E BLU* o pannello con *SIMBOLI* in BIANCO e NERO.

Bassa difficoltà: lettura simboli bianchi e neri e stretching spalle e braccia o passaggi della palla da una mano all'altra.

Media difficoltà: lettura delle lettere agendo però secondo "VOCALI" e "CONSONANTI", ovvero allungamento di entrambe le braccia verso l'alto ogni qualvolta si percepisce una vocale, lateralmente con le consonanti. Utilizzo del metronomo a velocità crescenti.

Elevata difficoltà: equilibrio su entrambi i piedi su una balance board e lettura lettere blu e rosse con coordinazione oculo-manuale omonima sul colore percepito ogni volta. Utilizzo degli occhiali anaglifici rosso/blu ciano.



Figura 19



Figura 20



Figura 21

4.8 Analisi dei dati

Si è quindi proceduto con l'analisi statistica dei dati ricavati prima e dopo lo screening e il training nel campione di arbitri di rugby preso in esame.

Tale analisi è stata effettuata mediante l'utilizzo del programma Microsoft Excel 2016 dove sono state riportate dominanze e valutazioni di screening e test controllo prima e dopo il training di ciascun soggetto, con relativi grafici e test statistici adottati allo scopo. Per praticità nelle legende, nei titoli dei grafici e nelle tabelle dell'intero capitolo sono state utilizzate delle denominazioni di

comodo, che a rigore di logica si riferiscono invece alla componente visiva o alla componente motoria del test. Si mostrano innanzitutto gli istogrammi delle frequenze di valutazione.

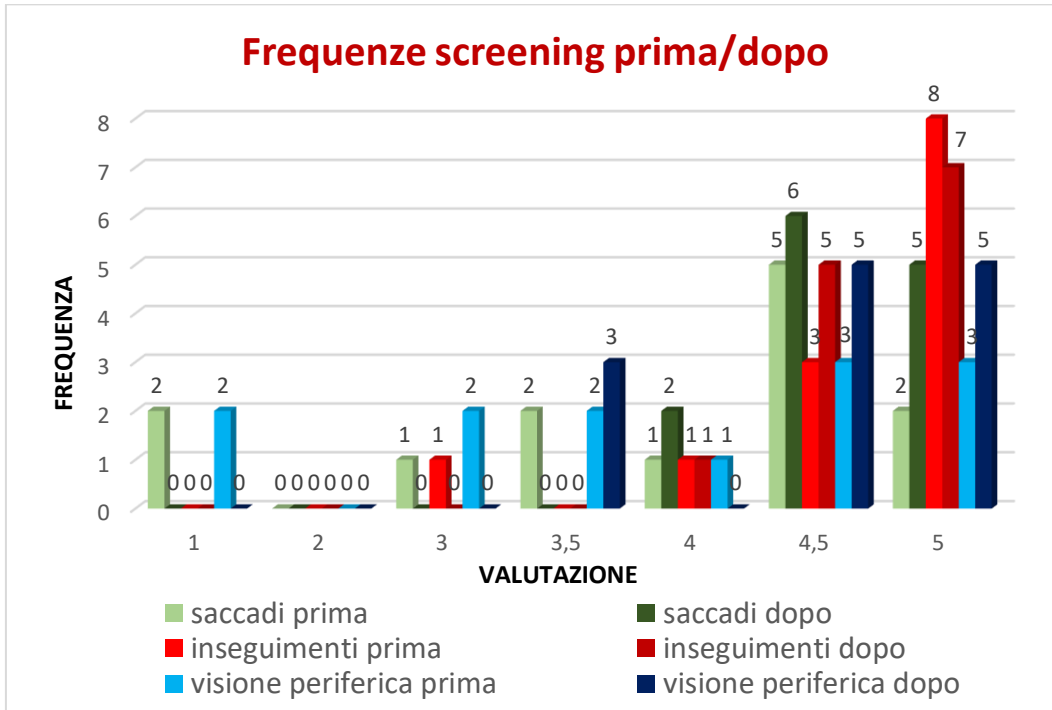
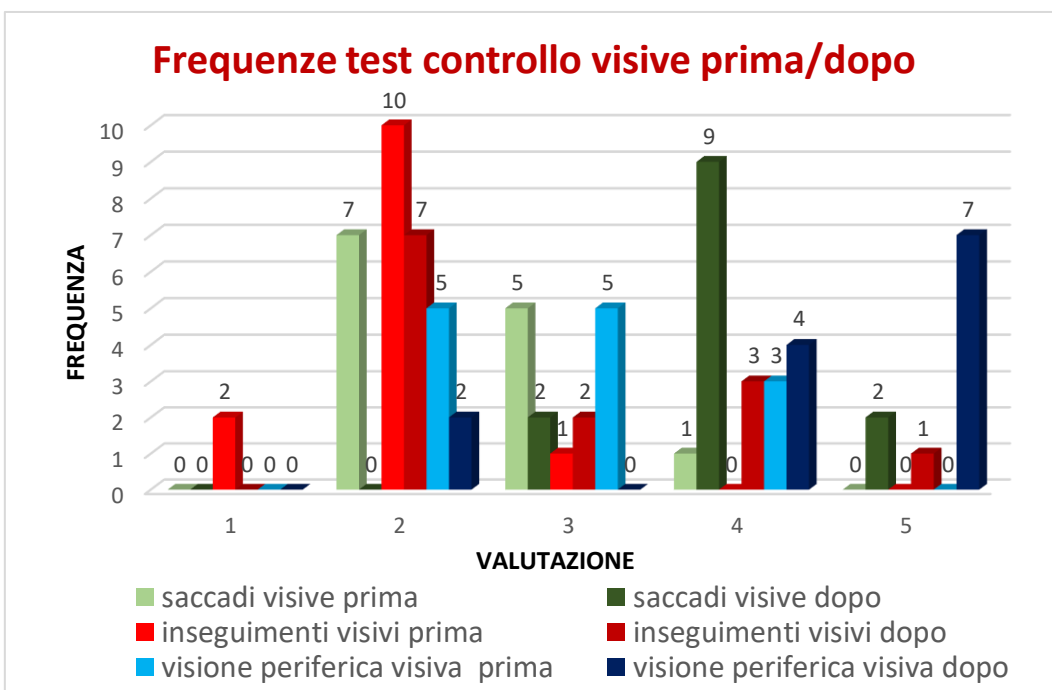


Figura 22

Nel grafico delle frequenze delle valutazioni dello screening, in figura 22, si può notare una frequenza maggiore post training per le valutazioni 4,5 e 5 rispetto a quanto non fosse prima, ad eccezione degli inseguimenti, solo per quanto riguarda la valutazione più alta; si ha in generale una distribuzione delle frequenze post training spostata verso i valori delle valutazioni più alte, differentemente da quanto osservato prima del training.



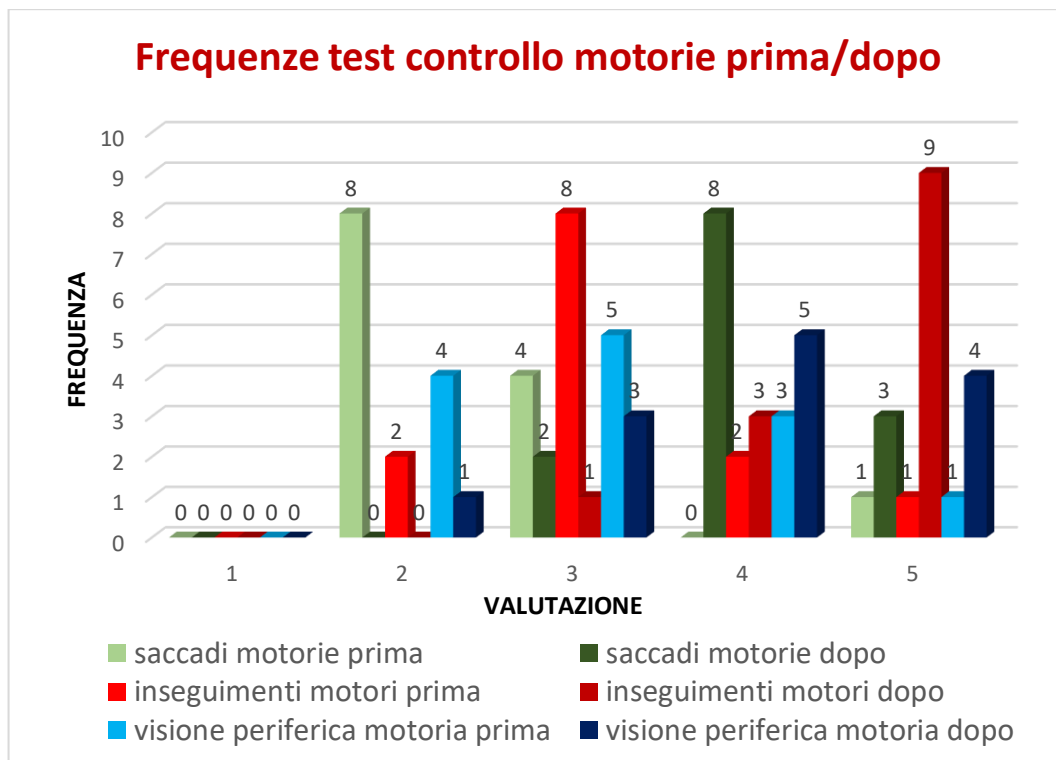


Figura 23 e Figura 23

Dai grafici in figura 23 e figura 24 emerge una frequenza maggiore post-training per le valutazioni 4 e 5 rispetto al pre-training; la distribuzione delle frequenze post-training risulta quindi spostata verso i valori delle valutazioni più alte, ancora più evidente rispetto a quanto già osservato per lo screening.

Si è ritenuto interessante a questo punto realizzare dei grafici a dispersione che restituissero visivamente, candidato per candidato, l'andamento pre-training e post-training per ogni abilità visiva considerata singolarmente.

Per lo screening:

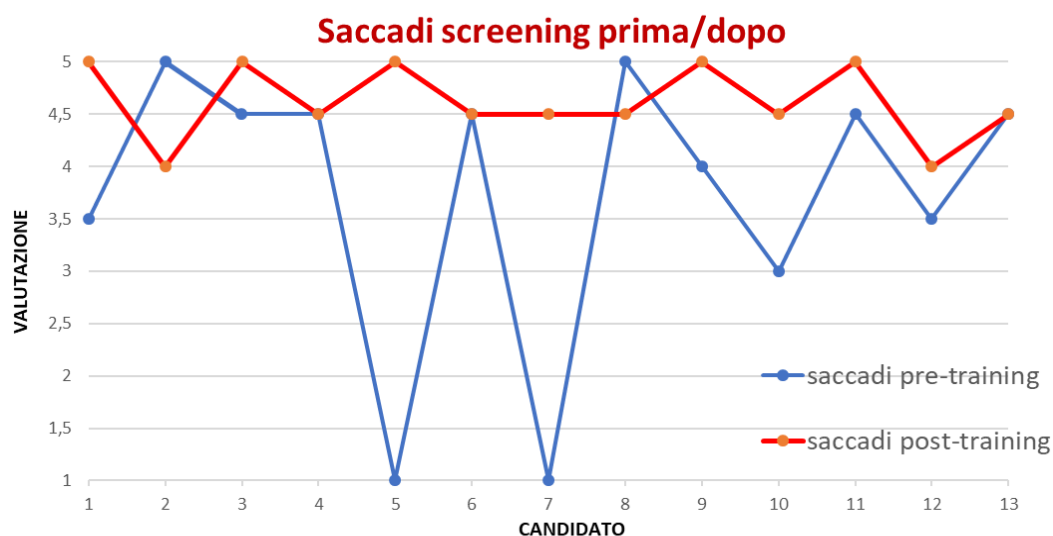


Figura 24

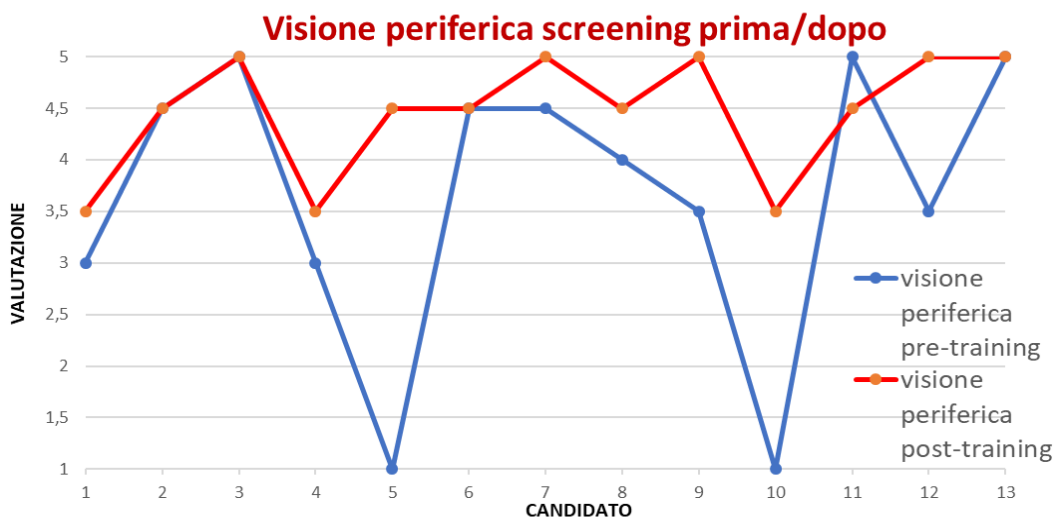
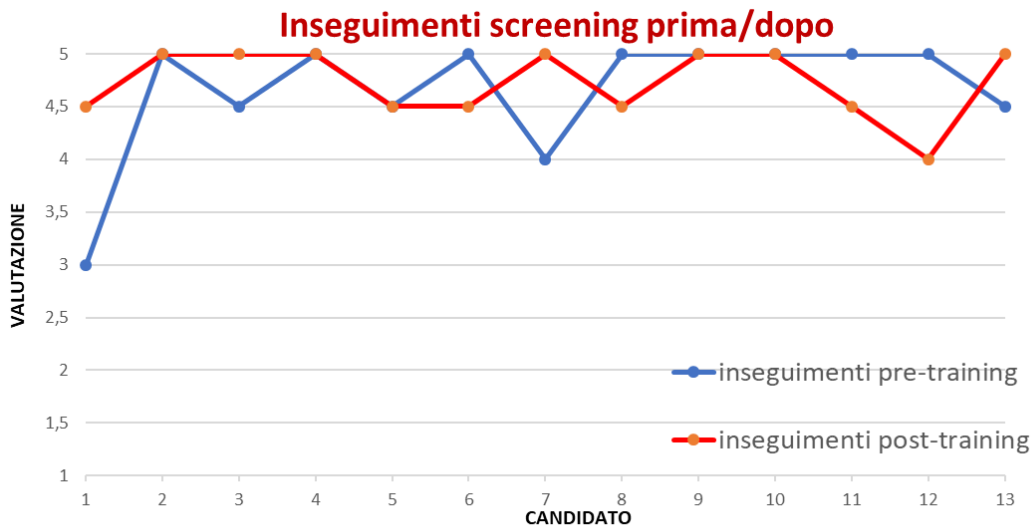


Figura 25 e Figura 26

Per il test controllo:

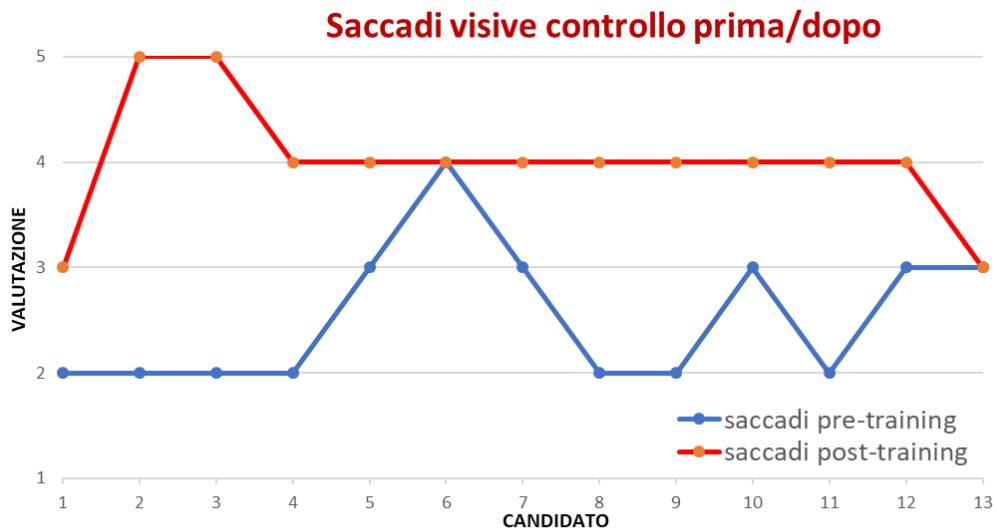


Figura 27

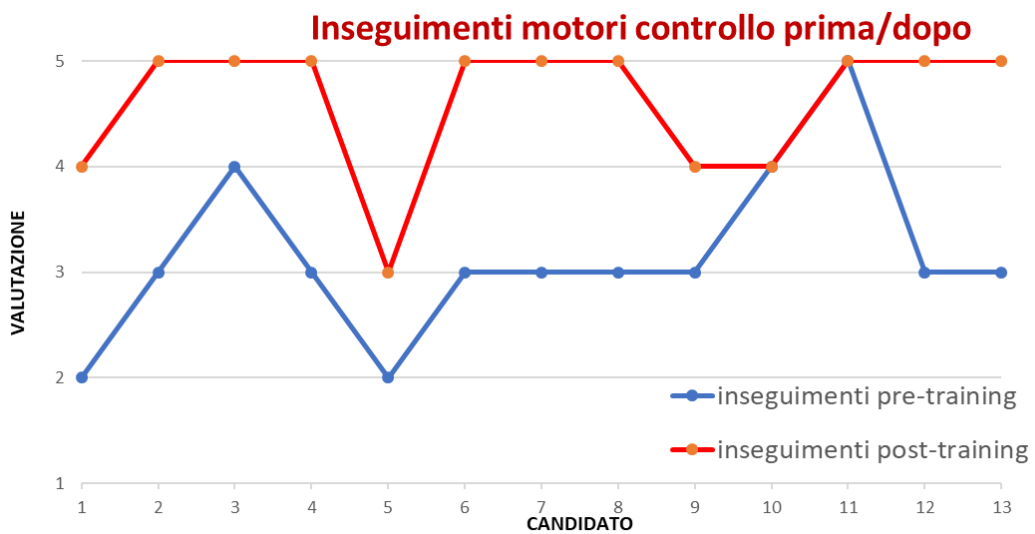
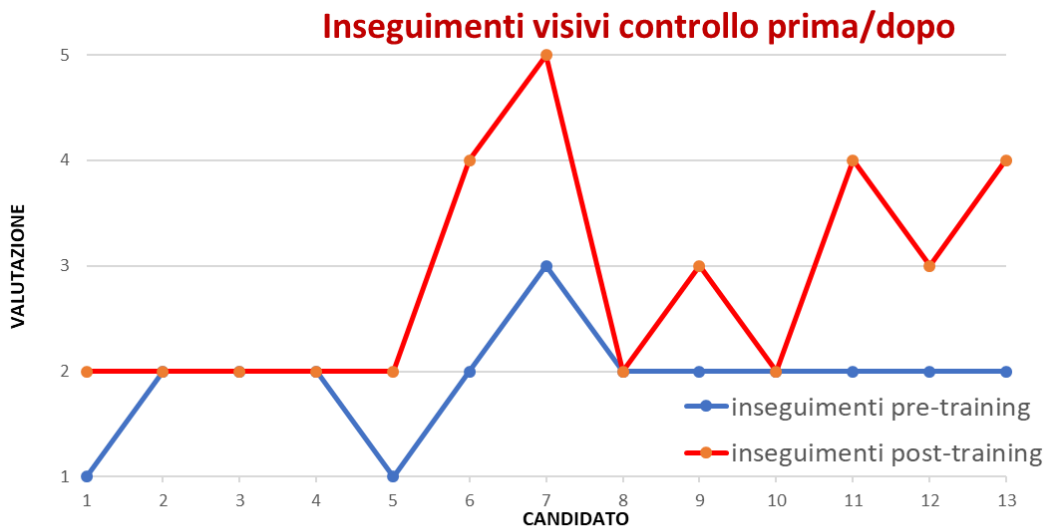
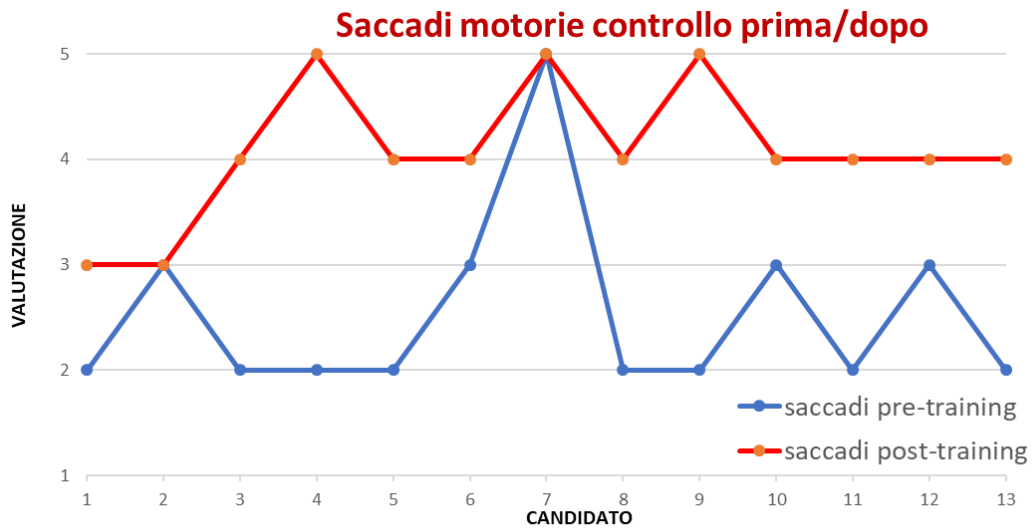


Figura 28 e Figura 29 e Figura 30

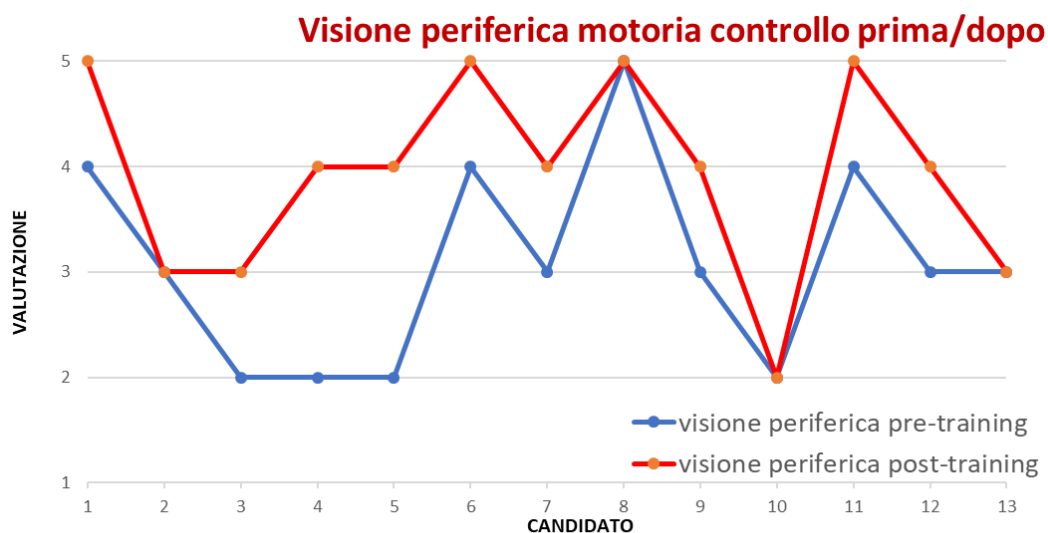
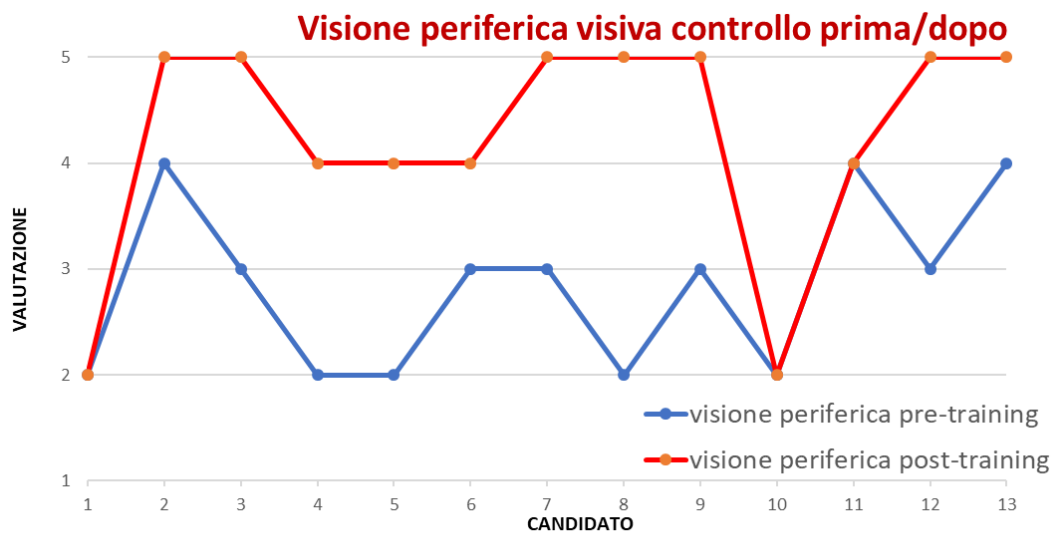


Figura 31 e Figura 32

Dalla serie di grafici si evince qualitativamente che il training è efficace e che in generale nel campione ci sono dei miglioramenti, con le dovute differenze tra lo screening ed il test controllo, e da candidato a candidato. Tuttavia, si registrano talvolta valutazioni opposte che non sostengono l'ipotesi per cui ci sia un miglioramento effettivo. Oltre che graficamente è stato quindi necessario eseguire anche uno studio statistico quantitativo.

A tal fine sono stati eseguiti tre test statistici sul campione di dati, riportati di seguito:

- **T-test;**
- **Z-test;**
- **Test di Kolmogorov-Smirnov;**

La scelta di questi tre test di verifica di ipotesi, rispetto ad altri possibili, è stata suggerita dalla bassa numerosità del campione in esame ed il livello di significanza dei risultati conseguiti.

4.8.1 T-test

La distribuzione simmetrica t-Student, rappresenta una famiglia di distribuzioni dipendenti dai **gradi di libertà**, tanto più “appiattite” quanto è inferiore la numerosità campionaria.

I gradi di libertà vengono così calcolati:

$$\mathbf{g.d.l. = n-1;}$$

con n = numerosità campionaria, essendoci solo 1 grado di libertà dato dalla media aritmetica.

Nel nostro studio la varianza della popolazione σ^2 non è nota e l'n campionario è uguale a 13.

Si procede con la verifica di ipotesi tramite il t-test, eseguito con Microsoft Excel:

T-test					
Restituisce la probabilità associata a un test t di Student. Si utilizza la funzione TEST.T per determinare se due campioni possono essere derivati dalle stesse due popolazioni aventi la stessa media.					
Ipotesi: <i>il valore medio di saccadi/inseguimenti/visione periferica del campione sottoposto al training è uguale alla media dello stesso campione prima del training.</i>					
formalmente: H0: $\mu = \mu_0$ e H1: $\mu > \mu_0$ con μ : media post-training e μ_0 : media pre-training.					
Eseguo il t-test per confrontare le medie calcolate tra di loro e assumo che la distribuzione sia normale.					
Il test viene eseguito a 1 coda (la media non può peggiorare) e si considera la non omogeneità delle varianze.					
Il test t utilizzato è per dati appaiati o dipendenti (stesso soggetto).					
Screening					
sacc.	ins.	vis.per.			
2,47E-02	3,44E-01	1,30E-02			
Test controllo					
sacc. vis.	sacc. mot.	ins. vis.	ins. mot.	vis. per.v.	vis. per.m
7,42E-05	4,70E-05	1,14E-03	9,67E-06	1,12E-04	4,11E-04

In generale, la probabilità (p-value) che la media dopo il training sia uguale alla media prima del training è data dai valori calcolati, per cui si può rifiutare l'ipotesi nulla H_0 (nessuna differenza tra le medie) in favore dell'ipotesi alternativa, o accettarla.

In questo caso, la media post-training è maggiore rispetto alla media pre-training per tutte le categorie considerate (con probabilità dell'98-99%), tranne che per gli inseguimenti screen, dove non posso affermare con alta probabilità che le distribuzioni non siano uguali (probabilità del 65%).

I risultati risultano limitati in significanza e troppo “spinti”, cioè la probabilità che le due distribuzioni siano diverse sembra chiaramente sovrastimata. Questo è dovuto all'assunzione che le distribuzioni di probabilità per le singole misure siano gaussiane, mentre lo studio delle distribuzioni di frequenza mostra un basso livello di Gaussianità dovuto al campione molto ristretto.

Il t-Student definisce statisticamente che c'è stato un miglioramento in tutte le capacità visive e motorie considerate, tranne che per gli inseguimenti dello screening dove non è possibile affermarlo con alta probabilità. Questo risultato corrisponde a ciò che si è osservato anche graficamente.

4.8.2 Z-test

La distribuzione normale standardizzata è un caso particolare della distribuzione normale dove la variabile casuale normale prende il nome di valore Z (valore standard); ha una media pari a 0 e una deviazione standard pari a 1.

μ_0 può essere trasformato in un valore Z attraverso la seguente equazione:

$$Z = (\mu_0 - \mu) / \sigma$$

dove μ_0 è la media post-training, μ è la media pre-training e σ è la deviazione standard.

Per il calcolo del p-value si è utilizzato il calcolatore della distribuzione normale in figura 34.

Il valore della probabilità cumulativa P così calcolato, viene sottratto ad 1 (probabilità certa), ottenendo così il p-value.

- Enter a value in three of the four text boxes.
- Leave the fourth text box blank.
- Click the **Calculate** button to compute a value for the blank text box.

Standard score (z)

Cumulative probability $P(Z \leq z)$

Mean

Standard deviation

Figura 33: Calcolatore p-value.

Fonte: <https://stattrek.com/online-calculator/normal.aspx>

Z-test

Restituisce il valore di probabilità a una coda di un test z.
 Ipotizzando una determinata media della popolazione μ_0 , z-test restituisce la probabilità che la media campione sia maggiore della media di osservazioni nel set di dati, ovvero della media campione osservata.

Ipotesi: *il valore medio di saccadi/inseguimenti/visione periferica del campione sottoposto al training è uguale alla media dello stesso campione prima del training.*

formalmente: **$H_0: \mu = \mu_0$ e $H_1: \mu > \mu_0$**
 con μ : media post-training e μ_0 : media pre-training.

Non si è fissato a priori un livello di confidenza (L.d.C.) poiché si è preferito valutare prima i valori ottenuti per il p-value, cercando di evidenziare comportamenti significativi per sé.
 Considero 12 gradi di libertà.

Calcolo degli Z:

Screening

sacc.	ins.	vis. per.
0,66	0,13	0,59

Test controllo

sacc. vis.	sacc. mot.	ins. vis.	ins. Mot.	vis. per.v.	vis.per.m.
2,21	1,75	1,87	1,83	1,73	0,89

Probabilità cumulativa P ottenuta con Stat Trek:

Screening

sacc.	ins.	vis. per.
0,745	0,552	0,722
74,5%	55,2%	72,2%

Test controllo

sacc. vis.	sacc. mot.	ins. vis.	ins. Mot.	vis. per.v.	vis.per.m.
0,986	0,96	0,969	0,966	0,958	0,813
98,6%	96,0%	96,9%	96,6%	95,8%	81,3%

p-value:

Screening

sacc.	ins.	vis. per.
25,5%	44,8%	27,8%

Test controllo

sacc. vis.	sacc. mot.	ins. vis.	ins. Mot.	vis. per.v.	vis.per.m.
1,4%	4,0%	3,1%	3,4%	4,2%	18,7%

La probabilità che la media post-training sia uguale rispetto alla media pre-training è data dai valori p-value riportati in tabella; posso rifiutare l'ipotesi H0 in favore dell'ipotesi alternativa per tutti i valori del test controllo (usando il taglio al 95% del L.d.C.), tranne che per la componente motoria della visione periferica. Per quanto riguarda lo screening invece non posso affermare che le distribuzioni non siano uguali e pertanto rifiutare H0.

Da questo test risulta che i dati del test controllo riportano un miglioramento evidente per le componenti visive e motorie considerate, incerta invece quella motoria della visione periferica. Per quanto riguarda lo screening, esso è sottoposto ad una incertezza maggiore, alla quale non è possibile attribuire il necessario grado di affidabilità per rifiutare l'ipotesi H0.

4.8.3 Test di Kolmogorov-Smirnov

Il test di Kolmogorov e Smirnov è un metodo di analisi statistica che permette di confrontare tra loro due campioni di dati allo scopo di verificare l'ipotesi che entrambi i campioni provengano dalla stessa popolazione. Il vantaggio di questo test è che può essere usato già per

dimensioni del campione n uguali a 5 ed è una alternativa non parametrica al t-test, ovvero in questo caso vengono utilizzate le frequenze cumulate, non le medie.

Nel test K-S la potenza per piccoli campioni è pari a circa il 95%: la potenza del test rappresenta la probabilità di rifiutare l'ipotesi nulla quando è falsa e quindi dovrebbe essere rifiutata. L'efficacia diminuisce leggermente per campioni grandi.

Per questo motivo, considerata la numerosità campionaria utilizzata, il test K-S risulta essere un ottimo test da svolgere per una più ampia comprensione statistica.

Test K-S

Il test di Kolmogorov-Smirnov consente di stabilire se due campioni provengono da due popolazioni aventi la medesima legge di probabilità.

Ipotesi: *il valore medio di saccadi/inseguimenti/visione periferica del campione sottoposto al training è uguale alla media dello stesso campione prima del training.*

formalmente: **H0: $\mu = \mu_0$ e H1: $\mu > \mu_0$**
 con μ : media post-training e μ_0 : media pre-training.

Si considerano 12 gradi di libertà ed un livello di confidenza al 90%. Si calcolano le frequenze cumulate a partire dalle frequenze relative:

Frequenza cumulata screening pre-training

saccadi	inseguimenti	visione periferica
0,154	0,000	0,154
0,154	0,000	0,154
0,231	0,077	0,308
0,385	0,077	0,462
0,462	0,154	0,538
0,846	0,385	0,769
1,000	1,000	1,000

Frequenza cumulata screening post-training

saccadi	inseguimenti	visione periferica
0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,231
0,154	0,077	0,231
0,615	0,462	0,615
1,000	1,000	1,000

Si eseguono le differenze tra le frequenze cumulate pre e post-training corrispondenti, ottenendo così:

D		
0,154	0,000	0,154
0,154	0,000	0,154
0,231	0,077	0,308
0,385	0,077	0,231
0,308	0,077	0,308
0,231	-0,077	0,154

I valori evidenziati sono i **valori D maggiori** di ogni colonna, facente riferimento alla corrispondente abilità visiva della tabella delle frequenze. Successivamente vengono messi a confronto con il valore **crit D**, calcolato in Excel tramite la formula:

$$\text{crit D} = 1,36 / \text{RADQ}(13)$$

Ottenendo in tabella:

crit D	0,377
--------	-------

Se $D > \text{crit D}$ le distribuzioni sono differenti e posso rifiutare l'ipotesi H_0 in favore dell'ipotesi alternativa H_1 , altrimenti non posso escludere che sia la stessa distribuzione.

Si procede allo stesso modo per il test controllo:

Frequenze cumulate test controllo pre-training

saccadi vis.	saccadi mot.	inseguimenti vis.	inseguimenti mot.	visione periferica vis.	visione periferica mot.
0,000	0,000	0,154	0,000	0,000	0,000
0,538	0,615	0,923	0,154	0,385	0,308
0,923	0,923	1,000	0,769	0,769	0,692
1,000	0,923	1,000	0,923	1,000	0,923
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Frequenze cumulate test controllo post-training

saccadi vis.	saccadi mot.	inseguimenti vis.	inseguimenti mot.	visione periferica vis.	visione periferica mot.
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,538	0,000	0,154	0,077
0,154	0,154	0,692	0,077	0,154	0,308
0,846	0,769	0,923	0,308	0,462	0,692
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

D					
0,000	0,000	0,154	0,000	0,000	0,000
0,538	0,615	0,385	0,154	0,231	0,231
0,769	0,769	0,308	0,692	0,615	0,385
0,154	0,154	0,077	0,615	0,538	0,231

Valori D evidenziati che vengono quindi confrontati con **crit D** già calcolato.

Nello screening le distribuzioni risultano differenti per le saccadi, mentre per gli inseguimenti e la visione periferica non posso rifiutare l'ipotesi H0.

Nel test controllo $D > \text{crit D}$ in tutte le distribuzioni considerate, pertanto le distribuzioni sono differenti e posso rifiutare l'ipotesi H0 in favore dell'ipotesi alternativa H1 per tutte le abilità visive.

Graficamente, come esempio, vengono riportati i confronti tra le distribuzioni delle frequenze cumulate della visione periferica che entrano in gioco nel test K-S.

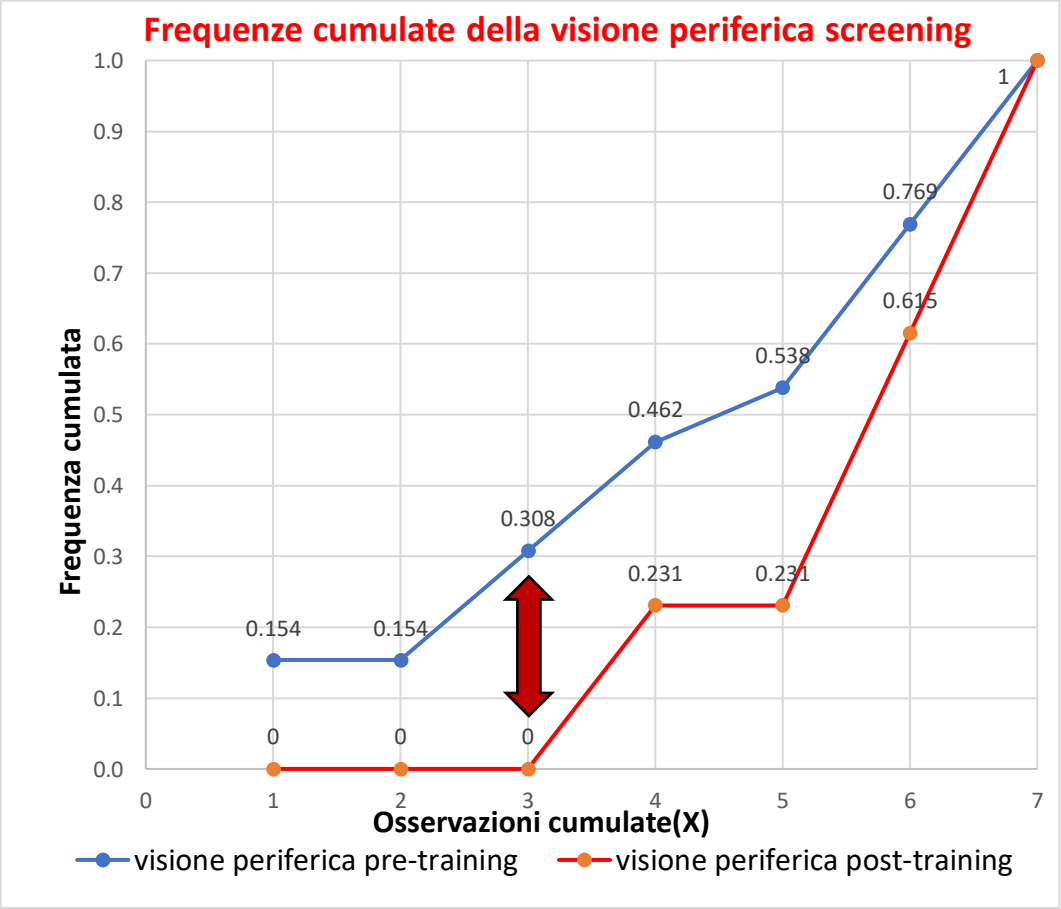


Figura 34

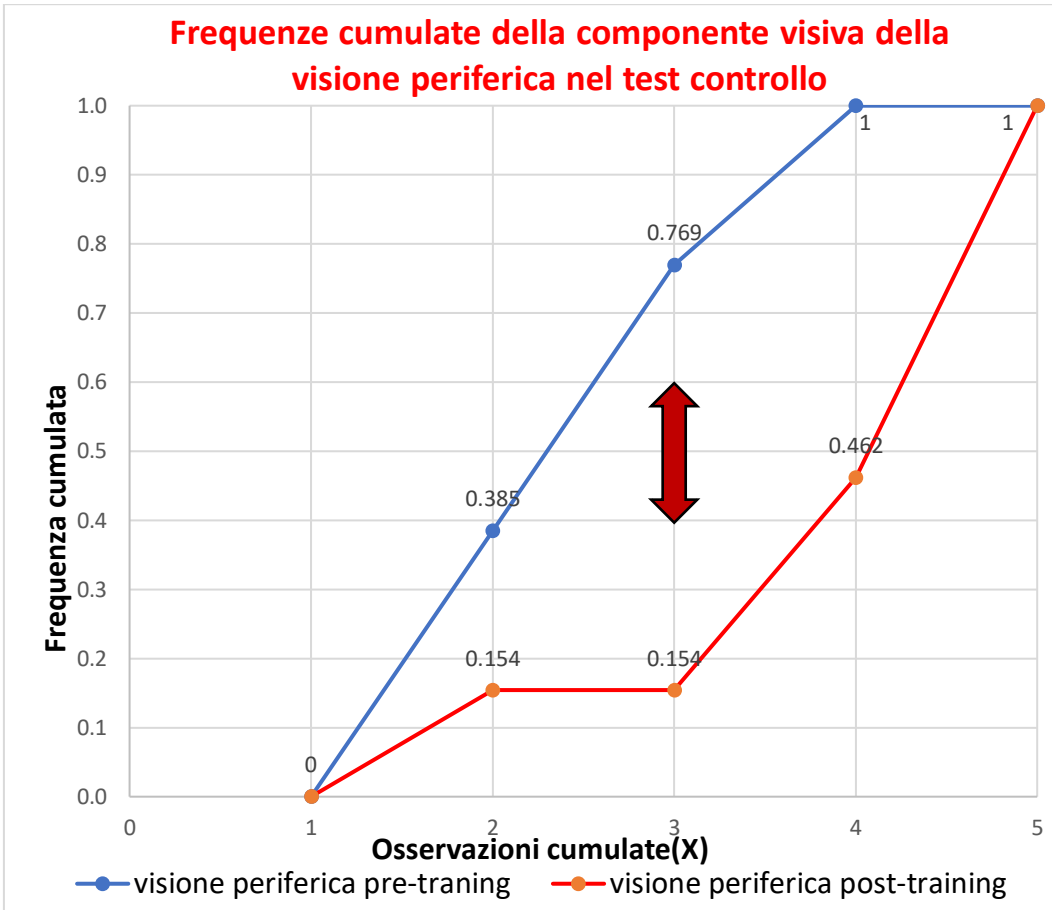


Figura 35

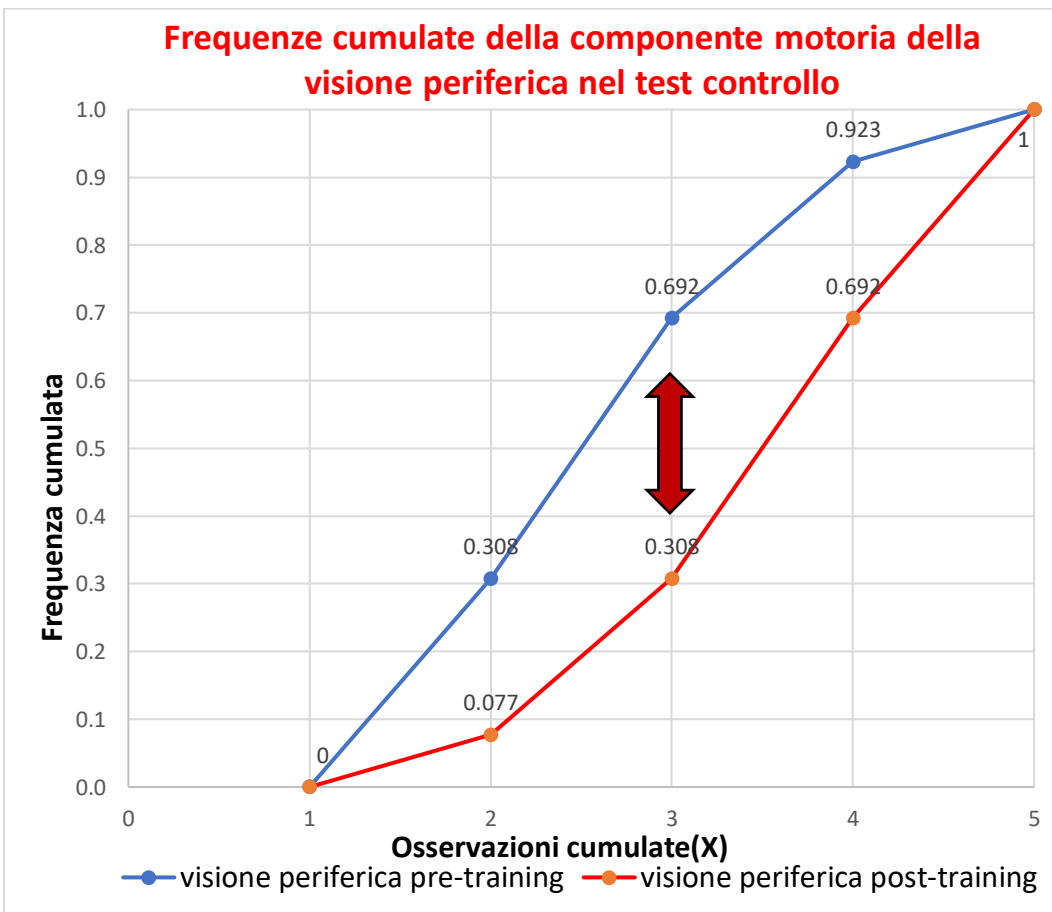


Figura 36

In questo test le distribuzioni risultano tutte differenti tranne che per gli inseguimenti e la visione periferica screening. Per questo si può affermare che il training sia stato efficace nel test controllo e ci sia stato miglioramento.

Nello screening, invece, si è osservato un miglioramento statisticamente significativo per quanto riguarda le saccadi.

4.9 Conclusioni

Al termine di questo studio, prendendo in considerazione i dati raccolti e i risultati statistici del test controllo, si può constatare l'efficacia dell'allenamento visuo-motorio costante e del metodo S.V.T.A.: saccadi, inseguimenti e visione periferica presentano un miglioramento significativo. L'obiettivo dello studio, di dimostrare l'influenza di un allenamento visuo-motorio sulle abilità visive, è stato pienamente soddisfatto.

Data la bassa numerosità del campione, sono stati utilizzati tre differenti metodi statistici di analisi dei risultati. Tutti i metodi confortano la conclusione positiva, anche se si sono ottenute notevoli differenze quantitative dovute alle relative approssimazioni nelle assunzioni dei singoli test statistici.

I motivi per cui tale miglioramento, come già fatto notare, è stato più evidente e maggiore nel test controllo che nello screening possono essere ricondotti anche alla costanza ed alla perseveranza degli arbitri che hanno partecipato al training. Chi si è distinto per presenza, per volontà di superare i propri "limiti" e di migliorare le proprie capacità ha mostrato ottimi risultati e salti di qualità. Ciò è vero anche per chi, seppur molto impegnato e per questo motivo meno presente, ha dimostrato tenacia, desiderio e volontà di riprovare gli esercizi più e più volte e di condensarli in meno sedute.

Chi purtroppo si è infortunato durante lo studio ha dovuto, per cause di forza maggiore, assentarsi per un po' di tempo e questo ha probabilmente condizionato gli esiti dello studio.

Non si è notato un grosso miglioramento in seduta di screening, in particolar modo per gli inseguimenti secondo la maggioranza dei test eseguiti, questo fa presupporre che il livello iniziale dei soggetti fosse maggiore rispetto al livello di difficoltà degli esercizi proposti. Questo inoltre fa pensare che lo screening non sia il test più indicato per apprezzare un miglioramento in soggetti con già buone capacità visive di base.

Un altro aspetto che ha avuto sicuramente un ruolo decisivo in questo studio è stata la numerosità del campione, troppo ridotto per definirlo *statisticamente significativo*, tuttavia l'utilizzo di più test statistici ha comunque fornito indicazioni che avvalorano la tesi affrontata, soprattutto il test di Kolmogorov-Smirnov pensato per piccoli campioni.

Per questo motivo tale studio vuole essere solo un incipit per effettuare, eventualmente, un'indagine più estesa che faccia riferimento ad un campione più numeroso, garantendo la presenza di un gruppo controllo da poter confrontare con il gruppo allenato con metodo S.V.T.A.

Per poter notare e usufruire appieno dei benefici visivi derivanti da questo tipo di training sarebbe consigliabile associarlo costantemente agli allenamenti sportivi di routine. Ogni individuo è diverso, con le proprie capacità e i propri tempi di apprendimento, infatti alcuni arbitri hanno già testimoniato di aver appreso e messo in pratica in campo il concetto di *consapevolezza periferica*, a loro sconosciuta all'inizio di questa esperienza: ora sanno che i loro occhi godono di un'acuità visiva periferica allenabile e perfezionabile e quando una situazione o azione lo richiede, inizialmente possono percepirla e successivamente vederla con un movimento saccadico, accorciando i loro tempi di reazione e decisione.

Appendice

Candidati	Età	Saccadi	Inseguim.	Vis. Perif.
1	51	3,5	3	3
2	18	5	5	4,5
3	43	4,5	4,5	5
4	48	4,5	5	3
5	21	1	4,5	1
6	24	4,5	5	4,5
7	21	1	4	4,5
8	20	5	5	4
9	42	4	5	3,5
10	31	3	5	1
11	30	4,5	5	5
12	20	3,5	5	3,5
13	21	4,5	4,5	5
	media	3,73	4,65	3,65
	s.q.m	1,35	0,59	1,38
	N	13,00	13,00	13,00

Tabella VI: Screening pre-training.

Candidati	Età	Saccadi	Inseguim.	Vis. Perif.
1	51	5	4,5	3,5
2	18	4	5	4,5
3	43	5	5	5
4	48	4,5	5	3,5
5	21	5	4,5	4,5
6	24	4,5	4,5	4,5
7	21	4,5	5	5
8	20	4,5	4,5	4,5
9	42	5	5	5
10	31	4,5	5	3,5
11	30	5	4,5	4,5
12	20	4	4	5
13	21	4,5	5	5
	media	4,62	4,73	4,46
	s.q.m	0,36	0,33	0,59
	N	13,00	13,00	13,00

Tabella VII: Screening post-training.

Candidati	Età	Saccadi		Inseguim.		Vis. Perif.	
1	51	2	2	1	2	2	4
2	18	2	3	2	3	4	3
3	43	2	2	2	4	3	2
4	48	2	2	2	3	2	2
5	21	3	2	1	2	2	2
6	24	4	3	2	3	3	4
7	21	3	5	3	3	3	3
8	20	2	2	2	3	2	5
9	42	2	2	2	3	3	3
10	31	3	3	2	4	2	2
11	30	2	2	2	5	4	4
12	20	3	3	2	3	3	3
13	21	3	2	2	3	4	3
	media	2,54	2,54	1,92	3,15	2,85	3,08
	s.q.m	0,66	0,88	0,49	0,80	0,80	0,95
	N	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00

Tabella VIII: Test controllo pre-training.

Candidati	Età	Saccadi		Inseguim.		Vis. Perif.	
1	51	3	3	2	4	2	5
2	18	5	3	2	5	5	3
3	43	5	4	2	5	5	3
4	48	4	5	2	5	4	4
5	21	4	4	2	3	4	4
6	24	4	4	4	5	4	5
7	21	4	5	5	5	5	4
8	20	4	4	2	5	5	5
9	42	4	5	3	4	5	4
10	31	4	4	2	4	2	2
11	30	4	4	4	5	4	5
12	20	4	4	3	5	5	4
13	21	3	4	4	5	5	3
	media	4,00	4,08	2,85	4,62	4,23	3,92
	s.q.m	0,58	0,64	1,07	0,65	1,09	0,95
	N	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00

Tabella IX: Test controllo post-training.

Candidati	Occhio	Spalla	Mano	Bacino	Piede	Gamba agile	Gamba di forza
1	Dx	Dx	Dx	Sx	Dx	Dx	Sx
2	Dx	Dx	Dx	Sx	Dx	Dx	Sx
3	Dx	Dx	Dx	Dx	Dx	Dx	Sx
4	Sx	Sx	Dx	Dx	Dx	Dx	Sx
5	Dx	Dx	Dx	Dx	Dx	Dx	Sx
6	Sx	Dx	Sx	Dx	Sx	Dx	Sx
7	Dx	Dx	Dx	Dx	Dx	Dx	Sx
8	Dx	Dx	Dx	Sx	Dx	Dx	Sx
9	Dx	Dx	Dx	Dx	Dx	Dx	Sx
10	Dx	Dx	Dx	Dx	Dx	Dx	Sx
11	Dx	Dx	Dx	Dx	Dx	Dx	Sx
12	Sx	Sx	Dx	Sx	Dx	Dx	Sx
13	Sx	Dx	Dx	Sx	Dx	Dx	Sx

Tabella X: Dominanze e lateralità.

Bibliografia

1. Baptista A.M.G., Serra P.M., McAlinden C., Barrett B.T., *Vision in high-level football officials*, PLoS One, 12(11), Published online 2017 Nov 21.
2. Berthoz A., *Il senso del movimento*, McGraw-Hill Companies, pp. 51-53, Milano, I edizione, Novembre 1998.
3. Bucci M.G., *Oftalmologia*, Società Editrice Universo, pp. 1-2, 185, 270-271, 486-487, 563-564, Roma, 1993.
4. Casco C., *Psicofisica della visione*, Corso di Ottica e Optometria, Università degli studi di Padova, 2013-2014.
5. Clark J.F., Graman P., Ellis J.K., Mangine R.E., Rauch J.T., Bixenmann B., Hasselfeld K.A., Divine J.G., Colosimo A.J., Myer G.D., *An exploratory study of the potential effects of vision training on concussion incidence in football*, Optometry & Visual Performance, Volume 3, Issue 2, April 2015.
6. Clark J.F., Ellis J.K., Bench J., Khoury J., Graman P., *High-performance vision training improves batting statistics for university of Cincinnati baseball players*, PLoS ONE, Volume 7, Issue 1, January 2012.
7. Danielski Vanderlei, *Mancini. Analisi di un fenomeno sottovalutato*, Armando Editore, Roma, 2005.
8. Kandel E.R., Schwartz J.H., Jessel T.M., *Principi di neuroscienze*, Casa Editrice Ambrosiana, pp. 503-513, 519, 527, 547-548, 550-551, 771-773, 797-798, Milano, Terza Edizione, 2007.
9. Knudson D., Kluka D.A., *The impact of vision and vision training on sport performance*, Journal of Physical Education, Recreation & Dance, Pages 17-24, Published online 22 Feb 2013.

10. Leonardi A., *Anatomo-fisiologia oculare*, Corso di Ottica e Optometria, Università degli studi di Padova, 2013-2014.
11. Lupi V., *Lezioni di anatomia e fisiopatologia oculare per studenti di optometria*, Fabiano, p. 63, Asti, 2004.
12. Nan W., Migotina D., Wan F., Lou C.I., Rodrigues J., Semedo J., Vai M.I., Pereira J.G., Melicio F., Da Rosa A.C., *Dynamic peripheral visual performance relates to alpha activity in soccer players*, *Frontiers in Human Neuroscience*, 8: 913, Published online 2014 Nov 11.
13. Pietraszewski P., Rocznik R., Maszczyk A., Grycmann P., Roleder T., Stanula A., Fidos-Czuba O., Ponczek M., *The elements of executive attention in top soccer referees and assistant referees*, *Journal of Human Kinetics*, 40: 235–243, Published online 2014 Apr 9.
14. Purghé F., Stucchi N., Olivero A., *La percezione visiva*, UTET Università, pp. 100-102, 104-113, 121-122, Torino, I edizione, Marzo 1999.
15. Rossetti A., Gheller P., *Manuale di optometria e contattologia*, Zanichelli, pp. 75, 132-133, 159, 247, Bologna, II edizione, Aprile 2003.
16. Schwab S., Memmert D., *The impact of a sport vision training program in youth field hockey players*, *Journal of Sports Science & Medicine*, 11(4): 624–631, Published online 2012 Dec 1.
17. Smith T.Q., Mitroff S.R., *Stroboscopic training enhances anticipatory timing*, *International Journal of Exercise Science*, 5(4): 344–353, Published online 2012 Oct 15.
18. Spitz J., Put K., Wagemans J., Williams A.M., Helsen W.F., *Visual search behaviours of association football referees during assessment of foul play situations*, *Cognitive Research*, 1(1): 12, Published online 2016 Oct 31.

19. Valentini M., Gasparri A., Lucertini F., *Physical activity and lateralization: the perfect learning duo. A research project in the primary school*, *Formazione & Insegnamento*, Pages 203-212, Published online 2016.
20. Valenza V., Carini F., *Elementi di neuroanatomia funzionale*, Medical Books, pp. 62-63, Palermo, I edizione, 2001.
21. Wang L., Krasich K., Bel-Bahar T., Hughes L., Mitroff S.R., Appelbaum L.G., *Mapping the structure of perceptual and visual-motor abilities in healthy young adults*, *Acta Psychologica International Journal of Psychonomics*, Pages 74-84, 2015.

Sitografia

1. <http://www.anisn.it/>
2. <http://home.svta.it/>
3. <http://www.martialnet.it/>
4. <http://www.my-personaltrainer.it/>
5. <http://photobiology.info/Crouch.html>
6. <http://slideplayer.it/>
7. <http://www.sportvisionacademy.it/>
8. <https://stattrek.com/online-calculator/normal.aspx>
9. <http://www.treccani.it/>
10. <https://it.wikipedia.org/>