

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA**

**SCUOLA DI SCIENZE MEDICHE E FARMACEUTICHE  
DIPARTIMENTO DI MEDICINA SPERIMENTALE (DIMES)**

*Corso di laurea in Scienze e Tecniche dello Sport*



Elaborato scritto per la prova finale in  
Scienze e Tecniche dello Sport

**L'IMPORTANZA DEI NEURONI A SPECCHIO NELLA DIDATTICA: RELAZIONI  
NELLA PRATICA MUSICALE E NELLO SPORT DEL TENNIS**

**Relatore**

*Prof.ssa Federica Limardo*

**Candidato**

*Federica Piccarolo*

*Anno Accademico 2022-2023*

## RINGRAZIAMENTI

Vorrei ringraziare in prima istanza la mia Relatrice, la Professoressa Limardo, senza il cui prezioso aiuto, conoscenza, pazienza e motivazione, questo lavoro di ricerca non sarebbe stato possibile.

Un ringraziamento va ai miei compagni e colleghi, con cui ho condiviso discussioni stimolanti, esperienze e momenti di crescita personale. Le nostre costanti conversazioni e sfide hanno contribuito in modo importante a rendere questa esperienza formativa e quest'avventura accademica ancora più significativa e memorabile.

Un particolare Grazie va a Sara, senza la quale questi due anni a Genova sarebbero stati decisamente meno colorati. Non voglio dilungarmi, sai già tutto.

È successo tutto molto in fretta, due anni sono passati senza quasi avvisare.

Citando infine Emily Dickinson, ci tengo a ricordare che “Il cervello è più vasto del cielo”, perché il nostro cervello possiede un potenziale immenso, ma grazie ad esso ogni giorno siamo in grado di comprendere i misteri non solo del sistema nervoso e della mente, ma di tutto l'ambiente ed il mondo che ci circonda e troppo spesso ci coglie alla sprovvista.

Mi impegnerò a continuare ad esplorare, imparare e aver fame della conoscenza che la magia della mente comporta.

## ABSTRACT

L'elaborato affronta la tematica dei neuroni specchio, del funzionamento di questi e del loro ruolo nella pratica musicale e sportiva. Lo scopo dello studio è quello di collocare l'azione del Sistema Specchio in due contesti differenti ma molto simili e correlati tra loro, come possono essere l'ambito musicale e l'ambito sportivo.

Inoltre, si ricerca l'importanza di un allenamento cognitivo e come questo possa coadiuvare, se non migliorare, una futura performance, che sia questa musicale o sportiva. Partendo da una riflessione ed un approfondimento sull'ambito delle neuroscienze e sull'anatomia e fisiologia del Sistema Nervoso, padre del sistema dei neuroni specchio, lo studio prosegue portando alla luce posizioni e mansioni che questi neuroni hanno in ambiti di pratica musicale e di pratica sportiva, precisamente tennistica.

La ricerca bibliografica delle fonti è stata condotta consultando differenti banche dati, basandosi su informazioni provenienti da illustri database, quali PubMed, Researchgate, Medline, Google Scholar, oltre a distinte fonti sitografiche utilizzando parole chiave come "Mirror Neurons", "imagery", "cognitive training", "Music" e "Tennis".

La prima sezione prevede l'introduzione su quello che è il campo vasto delle neuroscienze nel suo insieme, riportando classificazioni e definizioni più recenti e rilevanti, cercando di sottolineare il ruolo importante rivestito dalle nuove tecnologie di indagine neuronale e di ricerca.

Vengono esaminate le componenti cerebrali, nervose e neuronali più importanti, che possano essere di ausilio nella comprensione dei temi trattati, legati allo sport ed al mondo musicale.

Nelle sezioni specifiche della musica e del tennis sono descritte brevemente le pratiche, con collegamenti al mondo neuroscientifico e rilevanze di un approccio cognitivo al miglioramento della performance.

Infine, l'elaborato verte sulla trattazione di un possibile protocollo cognitivo come strumento di miglioramento delle varie sezioni volte alla preparazione ad una competizione, tennistica o musicale, comparando le due attività e osservando come la componente cognitiva e neuronale affiancata all'allenamento fisico sia in grado di portare a risultati positivi e miglioramenti.

## ABSTRACT

The paper addresses the topic of mirror neurons, their functioning and their role in music and sports practice. The purpose of the study is to situate the action of the Mirror System in two different but very similar and interrelated contexts, as may be the musical and the sporting domains.

In addition, we research the importance of cognitive training and how this can assist, if not improve, a future performance, be it musical or sports. Starting with a reflection and investigation of the field of neuroscience and the anatomy and physiology of the Nervous System, the father of the mirror neuron system, the study goes on to bring to light positions and tasks that these neurons have in areas of musical practice and sports practice, specifically tennis.

The literature search of sources was conducted by consulting different databases, relying on information from distinguished databases such as PubMed, Researchgate, Medline, Google Scholar, as well as distinct sitographic sources using keywords such as "Mirror Neurons," "imagery," "cognitive training," "Music," and "Tennis."

The first section provides an introduction on what is the broad field of neuroscience as a whole, reporting more recent and relevant classifications and definitions, trying to emphasize the important role played by new technologies of neuronal investigation and research.

The most important brain, nerve, and neuronal components that can assist in understanding the topics discussed, related to sports and the musical world, are examined.

In the sections specific to music and tennis, practices are briefly described, with links to the neuroscientific world and relevance of a cognitive approach to performance enhancement.

Finally, the paper is concerned with the discussion of a possible cognitive protocol as a means of improving the various sections aimed at preparing for a competition, tennis or music, comparing the two activities and observing how the cognitive and neuronal component side by side with physical training is able to lead to positive results and improvements.

## Sommario

1	CAPITOLO 1.....	1
1.1	Cenni di neuroscienze.....	1
1.2	Cenni anatomici dell'encefalo.....	4
1.3	Il cervello propriamente detto.....	5
1.4	Il sistema nervoso.....	9
1.5	Neuroni Specchio.....	18
1.6	Allenamento cognitivo.....	23
1.6.1	Immaginazione motoria e applicazione del protocollo PETTLEP nei domini musicale e tennistico.....	30
2	CAPITOLO 2.....	32
2.1	L'apprendimento musicale nel bambino.....	32
2.2	I neuroni specchio nella musica.....	34
2.3	Musica e Apprendimento motorio: relazioni.....	39
2.4	Performance musicale e inner game method.....	46
3	CAPITOLO 3.....	52
3.1	Il Tennis.....	52
3.2	Il modello prestativo nel tennis.....	56
3.3	L'allenamento cognitivo nel tennis.....	59
3.4	Neuroni specchio e miglioramento della performance tramite tecniche di visualizzazione.....	63
4	CONCLUSIONI.....	69
4.1	Conclusioni e Riflessioni sul confronto con possibili approcci futuri.....	69
5	BIBLIOGRAFIA.....	73

# 1 CAPITOLO 1

## 1.1 Cenni di neuroscienze

Le neuroscienze sono un insieme di discipline differenti che si occupano di analizzare il sistema nervoso con il fine di porsi domande per comprendere le basi biologiche del comportamento. (Squire et al., 2016)

Queste domande possono trovare risposte all'interno delle varie discipline che compongono le neuroscienze come la genetica, la biologia cellulare e molecolare, l'anatomia e fisiologia, la biologia comportamentale e la psicologia. (Siegel et al., 2019)

Si tratta di un campo di studi rivoluzionato dalle più nuove acquisizioni, con innumerevoli approcci all'analisi del cervello e del suo funzionamento.

Il termine “neuroscienze” è stato introdotto, per la prima volta, a metà del 1960 (Squire et al., 2016), da parte di Francis O. Schmitt e del suo primissimo gruppo di ricercatori chiamato “Neuroscience Research Program”. (Adelman G, 2010) La nascita di questo termine, appunto, segna l'incipit di un'epoca nella quale le discipline di cui sopra, lavoravano e cooperavano insieme per capire la fisiologia e anatomia del cervello, in condizioni di funzionamento normale e anormale. Si può dire che le neuroscienze vadano ad indagare la maturazione del sistema nervoso e del suo mantenimento, cercando di conoscerne a fondo le connessioni anatomiche e fisiologiche che si vengono a creare tra le differenti e numerose aree cerebrali. La più grande sfida per coloro che si occupano di neuroscienze, si identifica nell'integrazione delle diverse conoscenze che derivano dalle varie discipline per comprendere, più o meno coerentemente, la struttura e la funzione del cervello. Molte problematiche concernono, infatti, la comprensione del meccanismo tramite il quale, le principali cellule del sistema nervoso, i neuroni e le cellule della glia, esplicano le loro funzioni in termini anatomici, elettrofisiologici e molecolari. La grande varietà di neuroni e delle loro cellule di supporto, le cellule gliali, che sono state identificate, è racchiusa all'interno dei cosiddetti circuiti neurali, che rappresentano le componenti principali dei sistemi neurali che processano varie tipologie di informazioni. Questi sistemi promuovono le tre principali funzioni del sistema nervoso: il sistema sensoriale raccoglie ed elabora informazioni relative allo stato dell'organismo e al suo relativo ambiente; il sistema motorio organizza e genera i movimenti, le azioni; e il sistema associativo costituisce un ponte di comunicazione tra la parte motoria e sensitiva del sistema nervoso, gettando

le basi per le funzioni di più alto grado come la percezione, l'attenzione, la cognizione, le emozioni e il pensiero razionale. (Squire et al., 2016)

Agli albori del diciannovesimo secolo, si riconosceva nella cellula l'unità fondamentale di ogni organismo vivente; tuttavia, non fu prima del ventesimo secolo che i neuroscienziati si trovarono d'accordo sul fatto che il tessuto nervoso, così come ogni altro organo, fosse anch'esso composto di particolari cellule.

Alcuni biologi dell'epoca giunsero a conclusione che ogni cellula nervosa fosse collegata alla successiva tramite legami protoplasmatici, formando, così, una rete continua di cellule nervose, chiamata anche, "reticolo". La "teoria reticolare" della comunicazione delle cellule nervose fu sostenuta dal neuropatologo italiano Camillo Golgi<sup>1</sup> venne poi abbandonata per trovare la sua sostituta nella cosiddetta "dottrina del neurone". Questo grande concetto afferma che la teoria della cellula si può applicare al sistema nervoso, cioè che ogni neurone rappresenta un'entità individuale, l'unità di base del sistema neurale.

Si può dire che la storia delle neuroscienze abbia avuto inizio proprio con Camillo Golgi e Santiago Ramòn y Cajal, che rivelarono la meraviglia contenuta nella cosiddetta "scatola magica", Golgi riuscendo a scoprire il modo di osservare e vedere un neurone, il secondo, invece, quello di descrivere la microanatomia della gran parte del sistema nervoso.

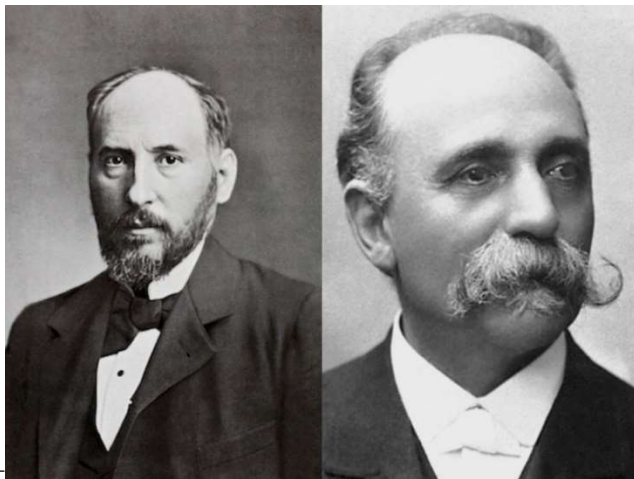


Figura 1, Cajal & Golgi, rispettivamente<sup>2</sup>

I principali sostenitori di questa nuova prospettiva furono proprio il neuro anatomista spagnolo

---

<sup>1</sup> Da cui prende nome l'apparato di Golgi nelle cellule. L'apparato di Golgi è un organulo di composizione lipo-proteica, scoperto nel 1898 dal medico e microscopista italiano Camillo Golgi. Golgi diede all'organulo il nome di apparato reticolare interno.

<sup>2</sup> Immagine presa da "Santiago Ramòn y Cajal & Camillo Golgi: The Two Fathers of Neuroscience", David Warmflash, MD, 2016"

Santiago Ramón y Cajal e il fisiologo britannico Charles Sherrington. I punti di vista, contrastanti, di questi rappresentanti delle neuroscienze, Golgi e Cajal, diedero vita a un vivace dibattito che si tenne all'inizio del XX secolo e che ha segnato il corso delle moderne neuroscienze. In base ad esami eseguiti al microscopio ottico da Golgi, Cajal sostenne fortemente che le cellule nervose sono entità distinte e che comunicano tra loro grazie a contatti specializzati chiamati “sinapsi”. Si arrivò, tuttavia, alla consegna del premio Nobel per la Fisiologia e la Medicina nel 1906 ad entrambi gli esponenti, Golgi e Cajal, suggerendo un continuo dubbio su chi fosse dalla parte della ragione, nonostante le schiaccianti prove di Cajal. Infatti, la teoria reticolare non è del tutto scorretta, in quanto alcuni neuroni agiscono in modo sincrono attraverso giunzioni intercellulari, soprattutto nei processi di embriogenesi. (Squire et al., 2016)

Alcuni lavori successivi di Sherrington dimostrarono la presenza di segnali elettrici che venivano trasferiti alle giunzioni sinaptiche tra cellule nervose, fornendo un grande sostegno alla teoria della “dottrina del neurone”. Tuttavia, si dovette aspettare sino agli anni Cinquanta del novecento per estinguere ogni dubbio sull'autonomia dei neuroni, provando che le cellule nervose sono unità funzionali indipendenti.

Ulteriori studi istologici eseguiti sia da Cajal che Golgi, concordarono sul fatto che le cellule del sistema nervoso possono essere suddivise in due grandi categorie: le cellule nervose, chiamate anche neuroni e le cellule di supporto, chiamate anche neuroglia o semplicemente glia.

I neuroni sono specializzati nella trasmissione di segnali elettrici su lunghe distanze; le cellule di supporto, al contrario, non sono in grado di emettere segnali elettrici ma svolgono diverse funzioni essenziali al cervello. (Squire et al., 2016)

La normale funzione del tessuto cerebrale è garantita dalla presenza di una grande varietà di elementi cellulari. Il neurone è la cellula comunicante per eccellenza e molte sottocategorie neuronali sono connesse tra loro tramite circuiti complessi molto spesso caratterizzati da una numerosa presenza di connessioni sinaptiche. La fisiologia del neurone è supportata dalle cellule di supporto, le cellule gliali, che hanno funzioni diverse, come la mielinizzazione, la secrezione di fattori trofici e la rimozione di detriti molecolari e cellulari. Queste cellule, inoltre, partecipano alla formazione della barriera emato-encefalica e al suo mantenimento, struttura, questa, interposta tra il sistema circolatorio e la sostanza cerebrale, fungendo da porta di accesso al tessuto cerebrale.



## 1.2 Cenni anatomici dell'encefalo

Per poter comprendere a pieno la struttura, il funzionamento e lo sviluppo di ciò che concerne l'intero mondo delle neuroscienze, è bene partire dalle basi anatomiche e dalla terminologia con cui si trattano queste componenti che riguardano l'encefalo e la sua funzione. I termini con cui si vanno a identificare le relazioni che si creano tra le aree cerebrali e il midollo spinale sono, essenzialmente, cinque: mediale-laterale, anteriore-posteriore, rostrale-caudale, dorsale-ventrale e superiore-inferiore.

Il termine "mediale" identifica una zona che si avvicina al piano mediano, mentre "laterale" al contrario, che si allontana da questo. Per quanto riguarda il termine "anteriore", facendo riferimento al mesencefalo, si va ad indicare una zona che si avvicina alla parte frontale dell'encefalo; "posteriore" verso la zona occipitale. Come per i termini sopra, "rostrale" e "caudale", rispettivamente, indicheranno la parte frontale e la parte occipitale del cervello "dorsale" e "ventrale", a loro volta, indicheranno una zona superiore ed una zona inferiore del corpo. Infine, "superiore" e "inferiore" indicano porzioni in alto e in basso della corteccia cerebrale. (Siegel et al., 2019).

Andando a descrivere la struttura anatomica del nostro cranio, sarà possibile, secondo gli anatomisti, identificare due regioni distinte, quali il "NEUROCRANIO" e lo "SPLANCNOCRANIO".

Il neurocranio ha una funzione ben precisa ovvero quella di proteggere interamente l'encefalo grazie alle ossa che lo compongono, come l'osso frontale, le due ossa temporali, le due ossa parietali, l'osso sfenoide, l'osso etmoide e l'osso occipitale. Queste ossa, ulteriormente, creano due sezioni differenti: la volta cranica, ovvero la porzione superiore del nostro cranio e la base del cranio, nella quale troveremo sezioni inferiori del frontale, delle ossa parietali, dell'osso occipitale e le intere ossa dello sfenoide, etmoide e temporali.

D'altro canto, lo splancnocranio è sede delle 14 ossa che si occupano della formazione della faccia, ovvero le cavità nasali, quelle orbitarie e la cavità buccale.

L'encefalo, protetto dalle ossa del cranio, è, a sua volta, composto da ulteriori sottostrutture, come il cervello propriamente detto, le strutture sottocorticali come talamo, ipotalamo, tronco encefalico ed infine, come ultima struttura, si trova il cervelletto.

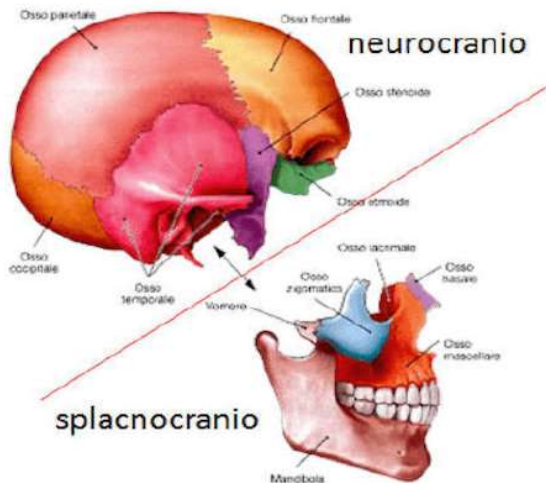


Figura 2. Neurocranio e Splanchnocranio<sup>3</sup>

### 1.3 Il cervello propriamente detto

Il cervello, che compone l'encefalo, è suddiviso in due emisferi tra loro simmetrici, uno destro ed uno sinistro. L'emisfero sinistro è più dominante nelle abilità linguistiche, logiche e matematiche. L'emisfero destro è più creativo, essendo dominante nelle situazioni artistiche e musicali e nell'intuizione. (Thau L et al., 2022)

La loro divisione è resa possibile dalla presenza della scissura interemisferica e, la loro connessione, dal corpo calloso.

Ogni emisfero si compone di tre facce differenti: inferiore, che si posiziona sul tentorio del cervelletto; la faccia esterna, che equivale alla volta del cranio e, infine, la faccia interna che si connette a quella opposta dell'altro emisfero, grazie a specifiche commessure interemisferiche (Siehel et al., 2019).

Le visioni mediale e laterale dell'emisfero cerebrale ci mostrano alcuni punti di riferimento che possono essere utilizzati per andare a dividere la corteccia nei suoi principali lobi. Sulla facciata laterale, possiamo osservare la scissura centrale, chiamata "Scissura di Rolando", che divide il lobo frontale dal lobo parietale. (Jacobson et al., 2008).

La corteccia cerebrale è lo strato più esterno che circonda il cervello. È composta da materia grigia e piena di miliardi di neuroni utilizzati per svolgere funzioni esecutive di alto livello. La corteccia si

<sup>3</sup> Immagine presa da [chimica-online.it](http://chimica-online.it)

divide in quattro lobi: frontale, parietale, occipitale e temporale attraverso diversi solchi. (Squire et al., 2016)

Il lobo frontale, situato anteriormente al solco centrale, è responsabile della funzione motoria volontaria, della risoluzione dei problemi, dell'attenzione, della memoria e del linguaggio. Nel lobo frontale si trovano la corteccia motoria e l'area di Broca. La corteccia motoria consente i precisi movimenti volontari dei nostri muscoli scheletrici, mentre l'area di Broca controlla le funzioni motorie responsabili della produzione del linguaggio. (Thau L. et al., 2022).

Per quanto riguarda il “LOBO FRONTALE”, all'interno di questo possono essere identificate:

- *La corteccia motoria*: funzione motoria, aree 4 e 6 dell'encefalo.
- *La corteccia prefrontale*: considerate aree associative o intellettive, le aree 9,10,11,45 e 46.
- *Strutture appartenenti al sistema limbico*: giro cingolato, area orbito-frontale posteriore, aree 24, 33, 32, 24.

Nella corteccia motoria si trovano le due aree con funzione motoria, le aree 4 e 6. L'area 4 riguarda una motricità molto discriminata, mentre l'area 6 rappresenta una motricità globale, meno fine che può essere descritta tramite movimenti sinergici automatici, movimenti che siano di sostegno ad altri volontari fini o a movimenti sinergici posturali che garantiscono una posizione eretta corretta.

L'area 44 dell'emisfero dominante equivale all'area del linguaggio, conosciuta anche come “area di Broca”. È deputata al controllo della dizione e svolge un ruolo importante per suonare strumenti dove è richiesta l'articolazione delle labbra (la tromba).

Al lobo frontale, quindi, sono riservate delle funzioni di massimo livello, dalla pianificazione di azioni future, al controllo dei movimenti. In un certo senso potrebbe essere considerato come il direttore d'orchestra dell'encefalo.

Successivamente, troviamo il LOBO PARIETALE, la cui funzione è collegata con i lobi vicini, in particolare il temporale e l'occipitale. Nella corteccia del lobo parietale possiamo individuare tre aree distinte:

1. l'area sensitiva primaria, costituita dalle aree 3, 1, 2, la cui stimolazione porta a sintomatologie neurologiche come il formicolio e le scosse elettriche.
2. le aree 7 e 5, che formano le aree sensitivo-psichiche.
3. le aree 39 e 40 che hanno funzioni prassiche e di conservazione degli schemi corporei.

Il lobo parietale è separato dal lobo occipitale dal solco parieto-occipitale e si trova dietro il solco centrale. È responsabile dell'elaborazione delle informazioni sensoriali e contiene la corteccia

somatosensoriale. I neuroni del lobo parietale ricevono informazioni dai sensori e dai propriocettori di tutto il corpo, le elaborano e formano una comprensione di ciò che viene toccato in base alle conoscenze precedenti. (Thau L. et al., 2022)

Proseguendo, incontriamo il solco laterale o “scissura di Silvio” che si occupa di delimitare i confini tra i lobi frontale e temporale.

Proseguendo nella spiegazione delle strutture cerebrali, troviamo il LOBO TEMPORALE, che si trova sotto il lobo parietale, la separazione dal quale è garantita dalla Scissura di Silvio. Le sue “mansioni” principali concernono:

1. L'area 41 e 42, che riguardano le zone uditive e sensoriale dove svolgono la loro funzione nella registrazione di suoni e rumori senza, però, dare un'interpretazione
2. L'area 22, che risulta essere il centro percettivo dei segnali acustici. In quest'area, tutto ciò che viene registrato, viene ulteriormente identificato ed alcuni di questi suoni si tramutano, poi, in parole. Questa operazione avviene all'interno dell'area di Wernicke.
3. Infine, le aree 20, 21, 37 e 38. Considerate aree di integrazione polisensoriale, grazie alle quali è possibile la comunicazione.

Il lobo occipitale è posizionato caudalmente e si occupa principalmente della vista e della prospettiva. Il lobo occipitale, noto come centro di elaborazione visiva, contiene la corteccia visiva. Come il lobo parietale, il lobo occipitale riceve le informazioni dalla retina e utilizza le esperienze visive passate per interpretare e riconoscere gli stimoli. Infine, il lobo temporale elabora gli stimoli uditivi attraverso la corteccia uditiva. I meccanorecettori situati nelle cellule ciliate che rivestono la coclea sono attivati dall'energia sonora, che a sua volta invia impulsi alla corteccia uditiva. L'impulso viene elaborato e memorizzato in base alle esperienze precedenti. L'area di Wernicke si trova nel lobo temporale ed è attiva nella comprensione del parlato. (Thau L. et al., 2022).

Proseguendo l'analisi attenta sulle strutture che compongono l'encefalo, troviamo i Nuclei della Base, noti anche come gangli basali. Sono composti dal nucleo caudato, dal putamen e dal globo pallido; questi nuclei sono i responsabili dei movimenti e della coordinazione muscolare.

Successivamente troviamo il Talamo, ovvero il centro di collegamento dell'encefalo. Ricevendo impulsi afferenti dai recettori di senso, elabora le informazioni distribuendole, successivamente, all'area corticale appropriata.

Spostandoci caudalmente, troviamo il cervelletto, responsabile dei movimenti volontari coordinati. Questo “piccolo cervello” contiene un circuito cerebellare che è in grado di sfruttare le cellule del

Purkinje ed i peduncoli cerebellari per connettersi con altre parti encefaliche. Il cervelletto si trova in costante monitoraggio e comunicazione con la corteccia cerebrale e riceve istruzioni sulle intenzioni del cervello elaborandole e inviando i messaggi di risposta alla corteccia motoria per poter trasformarli in contrazioni muscolari volontarie.

Studi eseguiti tramite l'utilizzo di tecniche di Imaging Neuronale, hanno osservato e descritto l'attivazione di una rete di aree corticali. Nello studio condotto da Antonio Errante & Leonardo Fogassi nel 2020, si è analizzato il reclutamento del cervelletto e dei gangli basali nel momento dell'esecuzione e dell'osservazione della manipolazione di un oggetto esterno. Si è notato come fossero presenti attivazioni condivise durante l'osservazione e l'esecuzione in differenti aree subcorticali. I risultati ottenuti danno supporto all'ipotesi secondo cui la rete di osservazione/esecuzione dell'azione coinvolga non solo aree corticali bensì anche strutture subcorticali come il cervelletto e i gangli basali, formano una rete integrata. Per cui è possibile che siano presenti meccanismi che coinvolgendo queste aree sottocorticali, si posizionino alla base dell'apprendimento di nuove abilità motorie, tramite osservazione e imitazione di gesti ed azioni motorie. (Errante, A. et al., 2020).

## 1.4 Il sistema nervoso

Il sistema nervoso umano è molto efficiente, rapido e con la capacità di eseguire operazioni estremamente complicate e fini.

Il sistema nervoso è composto da due principali porzioni: il sistema nervoso centrale, formato da cervello e midollo spinale; ed il sistema nervoso periferico, formato dai nervi che diramandosi dal midollo spinale si estendono al corpo intero.

Trasmette segnali tra il cervello ed il resto dell'organismo. Per cui, l'attività del sistema nervoso controlla tutte le capacità del corpo, dal movimento alla respirazione, alla visione e al pensiero.

È un complesso di strutture la cui funzione può essere definita attraverso la loro capacità di ricevere e riconoscere stimoli che provengono dall'ambiente esterno, dall'ambiente interno, quindi dall'organismo stesso, e di elaborare risposte effettrici coordinate di tipo volontario o involontario, chiamate attività riflesse; è costituito da cellule gliali, che svolgono funzioni di sostegno, e da neuroni, specializzati nella produzione e conduzione degli impulsi nervosi. Il neurone, o cellula nervosa, è l'unità funzionale di base del sistema nervoso. Sono contenuti circa 100 miliardi di neuroni all'interno del cervello umano. (Society for Neuroscience, 2018).

Dal punto di vista anatomico e funzionale, i neuroni si identificano in entità cellulari singole: il corpo cellulare, chiamato anche pirenoforo e i dendriti, ramificazioni che si irradiano da esso, rappresentano la parte recettiva della cellula nervosa, quella cui pervengono impulsi nervosi da altri neuroni; l'assone invece è un prolungamento singolo, con decorso più o meno lungo, trasmette impulsi nervosi mediante la sinapsi; quest'ultima rappresenta, il punto di contatto tra due neuroni e permette, tramite il rilascio di un mediatore chimico, il neurotrasmettitore, il passaggio dell'impulso nervoso da un neurone presinaptico a un altro postsinaptico. La porzione presinaptica è formata dai terminali di un assone, mentre quella postsinaptica, dove sono presenti i recettori per i neurotrasmettitori, può essere rappresentata da qualsiasi parte dei neuroni. Le sinapsi possono, quindi, essere asso-somatiche, asso-dendritiche o, più raramente, asso-asoniche. Dal punto di vista funzionale, le sinapsi hanno la caratteristica di essere unidirezionali nella loro trasmissione dell'impulso nervoso e possono essere divise in eccitatorie e inibitorie, capaci cioè di attivare o ridurre l'attività neuronale postsinaptica.

Differenti tipologie di neuroni controllano e svolgono mansioni diverse. I neuroni motori, per esempio, hanno il compito di trasmettere messaggi dal cervello alla componente muscolare per poter generare movimento. Quelli sensoriali, invece, rilevano la luce, il suono, la pressione ed il calore, inviando informazioni al cervello. Molte altre parti del sistema nervoso, invece, controllano i processi

non volontari. Tra questi processi, troviamo quello che mantiene sempre attivo il battito cardiaco, il rilascio di ormoni o la regolazione del sistema digestivo.

Ogni qualvolta un neurone trasferisca un messaggio ad un altro deve inviare un segnale di tipo elettrico lungo l'assone. Alla fine dell'assone questo sarà trasformato in segnale chimico. Tramite i neurotrasmettitori, il segnale chimico è rilasciato nella sinapsi.

Il sistema nervoso, inoltre, possiede anche cellule non neuronali, chiamate GLIA, che svolgono funzioni fondamentali per il corretto funzionamento dello stesso sistema nervoso.

Il sistema nervoso umano è composto da un asse centrale, un organo, chiamato nevrasse o sistema nervoso centrale, comprendente il cervello, l'encefalo dunque, ed il midollo spinale, in grado di elaborare le informazioni afferenti o sensitive e di proporzionare e variare le risposte efferenti, somatiche o viscerali. È formato, inoltre, da lunghi filamenti, i nervi, che nell'insieme formano il sistema nervoso periferico. Il sistema nervoso si suddivide in sistema nervoso centrale e sistema nervoso periferico. Il centrale, formato da cervello e midollo spinale ha il compito di ricevere, elaborare e rispondere alle informazioni sensoriali. il cervello umano è un organo responsabile delle risposte, delle sensazioni, del movimento e dell'elaborazione del pensiero e memoria. Il cervello umano è protetto dal cranio, dalle meningi e da liquido cerebrospinale. Il tessuto nervoso, che lo compone, è delicato. È dotato, inoltre, di una barriera ematoencefalica che fornisce un'ulteriore protezione meccanica all'encefalo.

Il midollo spinale è vitale e si trova all'interno del canale spinale. L'obiettivo del midollo spinale è quello di trasmettere comandi motori dal cervello ai corpi periferici e inviare informazioni sensoriali dagli organi di senso al cervello.

Il sistema nervoso periferico, invece, è costituito dalle restanti parti.

Le componenti del sistema nervoso centrale e di quello periferico interagiscono fra loro. Il nevrasse, SNC, è costituito da sostanza grigia e sostanza bianca. La sostanza grigia comprende le cellule nervose; la sostanza bianca, invece, è costituita da vie di connessioni del nevrasse e dei nervi periferici.

Morfologicamente parlando, nella divisione del sistema nervoso troveremo, come detto in precedenza, il sistema nervoso centrale (SNC), formato dall'encefalo e dal midollo spinale e il sistema nervoso periferico (SNP), formato da nervi e gangli che costituisce un prolungamento del

sistema nervoso centrale. Dal punto di vista funzionale, invece, il sistema nervoso risulta essere suddiviso in altre due componenti, quella somatica e quella autonoma.

Il sistema nervoso somatico si occupa del controllo volontario, mentre il sistema nervoso autonomo controlla tutte le attività che vengono svolte in concomitanza e congiunzione con il sistema nervoso volontario. Il SNA è un'organizzazione tripartita le cui componenti sono, simpatica, parasimpatica ed enterica. La risposta simpatica consiste nel "lotta o fuggi", la seconda concerne le attività vegetative del corpo, mentre il sistema enterico è coinvolto nella regolazione dei processi di digestione. L'unione delle attività di queste tre componenti garantisce l'omeostasi.

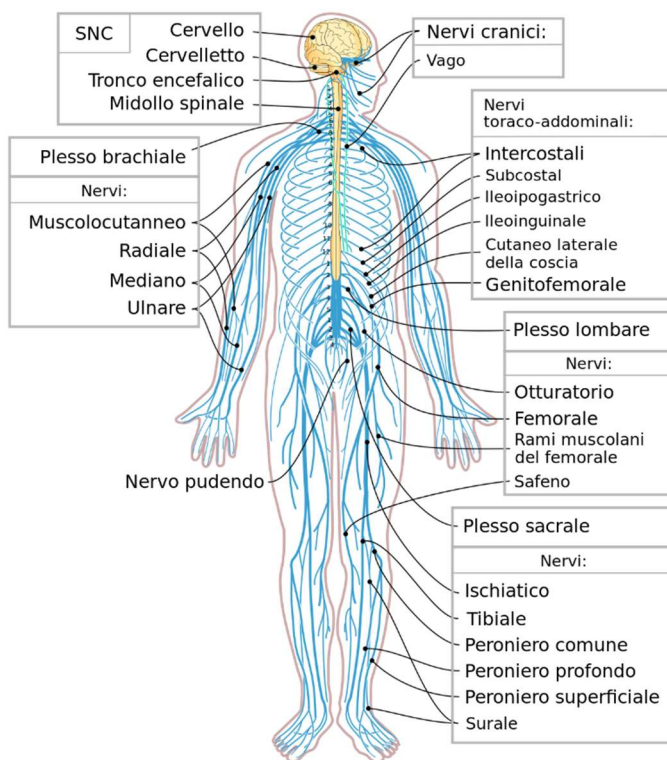


Figura 3. Rappresentazione del Sistema Nervoso Umano<sup>4</sup>

Il sistema nervoso autonomo esplica la sua funzione agendo su tre differenti tipologie di cellule: le cellule delle ghiandole, della muscolatura liscia e di quella cardiaca. Possiede altre due componenti funzionali, sensoriale e motoria. Quella sensoriale riceve informazioni che poi invierà al sistema

<sup>4</sup> Immagine presa da [medicinaonline.it](http://medicinaonline.it)



nervoso centrale, dove, una volta arrivate, saranno analizzate e processate. La componente motoria invia i risultati delle analisi lontano dal SNC e per questo viene chiamata efferente.

L'unità funzionale del sistema nervoso è il neurone.

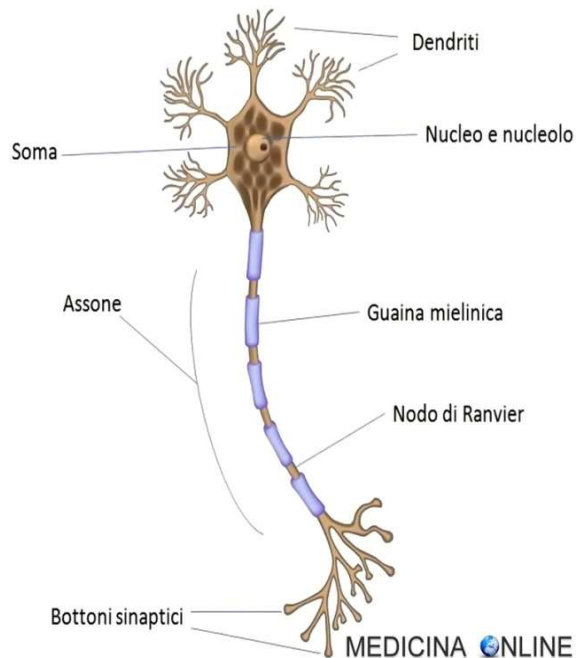


Figure -4. Descrizione anatomia del neurone<sup>5</sup>

È presente una grande varietà di neuroni che, tuttavia, possiedono strutture e funzioni molto simili. La loro funzione principale è quella di ricevere, condurre e trasmettere grandi quantità di impulsi e inviarli ad altri neuroni e a cellule muscolari o ghiandolari. I neuroni, solitamente, ricevono le informazioni da processare a livello di componenti note come “dendriti” e le trasmettono lungo il loro “assone”. I dendriti, dunque, si occupano di condurre le informazioni lontano dal corpo cellulare.

L'unità funzionale del neurone è composta, principalmente, da due regioni: il corpo cellulare (o soma) e i prolungamenti neuronali chiamati dendriti e assoni. I neuroni sono in grado di possedere numerosi dendriti ma hanno un singolo assone. Solitamente, i dendriti e gli assoni hanno un'alta percentuale di citoplasma rispetto al soma e ciò è dovuto al gran numero di dendriti per neurone ma può esser dovuto anche alla lunghezza dell'assone.

Il soma, ovvero il corpo della cellula, ha una grandezza ed una morfologia che possono variare e sono specifiche della regione del sistema nervoso. La caratteristica più importante del soma è la presenza,

<sup>5</sup> Immagine presa da [medicinaonline.it](http://medicinaonline.it)

all'interno di questo, del nucleo. Quest'ultimo possiede una sottile rete di cromatina e alquanto definiti nucleoli. Il citoplasma del soma, invece, possiede molti ribosomi liberi ed il cosiddetto RER, reticolo endoplasmatico ruvido.

La sintesi proteica si rifà non solo ai ribosomi, per uso nel citosol, ma anche al RER, per un eventuale imballaggio. Successivamente, troviamo il complesso di Golgi, solitamente vicino al nucleo e responsabile delle modificazioni nelle proteine, negli enzimi e di tutte le molecole che hanno il compito di essere messaggeri chimici.

È presente, inoltre, il SER, ovvero il reticolo endoplasmatico liscio (S sta per Smooth, liscio in lingua inglese), e si trova principalmente nel citoplasma neuronale.

L'energia di cui il neurone necessita è garantita dal largo numero di mitocondri, distribuiti lungo tutto il corpo della cellula.

La comunicazione tra neuroni avviene grazie alle sinapsi, in cui le sostanze neuro trasmettitorie vengono rilasciate dal terminale assonico del primo neurone e vanno a legarsi a tutte quelle molecole recettoriali che sono presenti sulla superficie del secondo neurone. I neuroni possono anche comunicare tra di loro attraverso le così chiamate “giunzioni gap” o, in inglese, “gap Junction”, che non sono altro che piccoli pori intercellulari che garantiscono il movimento ed il passaggio di piccole molecole messaggere secondarie che dal citoplasma di una cellula si dirigono verso il citoplasma della cellula adiacente, dando via ad una risposta nella cellula bersaglio. (Patestas, 2016)

Sulla zona della cellula che riceve, i dendriti hanno un contatto stretto e ravvicinato con il vicino assone della vicina cellula. Un dendrite può ricevere contatti da uno o più numerosi altri neuroni ed è ciò che si è spiegato essere il concetto di “sinapsi”, punti di giunzione, dall'etimologia greca che riporta il significato di “legarsi insieme”. La comunicazione tra le cellule nervose in questi punti di contatto viene chiamata “trasmissione sinaptica”.

La seconda componente dei neuroni è rappresentata dai dendriti, le regioni prossimali che danno asilo ad organelli come il RER, SER, i mitocondri e le vescicole. Come accennato in precedenza, i neuroni possono avere un diverso numero di dendriti, ognuno dei quali riceve segnali da recettori specifici, gli assoni, oppure da altri neuroni e trasmettono questi segnali attraverso il corpo cellulare. Non di rado, la superficie di contatto di questi dendriti può essere aumentata, grazie alla presenza delle così chiamate “spine dendritiche”, che permettono un numero più elevato di sinapsi.

Infine, troviamo gli assoni, suddivisi in tre regioni differenti: il segmento iniziale, l'assone propriamente detto e le terminazioni assionali. Quando il dendrite riceve uno dei messaggeri chimici che è stato mandato attraverso la fessura o "gap" che lo separa dall'assone che lo ha inviato, all'interno del dendrite destinatario nascono correnti elettriche, che entrano nella cellula, e si chiamano di eccitazione, o che possono uscire da questa, chiamandosi così di inibizione. Di conseguenza si può paragonare il neurone ad una piccola calcolatrice che si occupa di aggiungere o sottrarre messaggi che riceve da altri neuroni. Alcune sinapsi sono responsabili di risposte eccitatorie, altre, invece, di risposte inibitorie. La maniera nella quale questi segnali vanno a costituire la base della sensazione, del pensiero e del movimento dipende dalla rete in cui i neuroni sono inseriti. La comunicazione tra neuroni è garantita dal passaggio del segnale neuronale lungo l'assone. Come è possibile questo? Grazie allo sfruttamento di energia bloccata nei gradienti chimici e fisici e all'accoppiamento efficace di queste due forze. Gli assoni sono in grado di trasmettere impulsi elettrici che vengono denominati "potenziali d'azione". Questi, viaggiano lungo le fibre nervose e ciò è possibile, poiché la membrana assonale contiene canali ionici, che possono aprirsi e poi richiudersi per garantire il passaggio di ioni elettricamente carichi. Alcuni canali sono deputati al passaggio di ioni sodio ( $\text{Na}^+$ ), altri invece a quello degli ioni potassio ( $\text{K}^-$ ). Quando questi canali sono aperti, gli ioni sodio e potassio scorrono lungo gradienti chimici ed elettrici opposti, verso l'interno e l'esterno della cellula, in risposta ad una depolarizzazione di membrana.

Quando un potenziale di azione inizia nel corpo cellulare il primo canale che si apre è quello che permette il passaggio di ioni sodio,  $\text{Na}^+$ . Il potenziale d'azione è un evento elettrico complesso. Le fibre nervose ricoprono il ruolo di conduttrici elettriche e così, il potenziale d'azione che viene generato in un punto crea un altro gradiente di tensione tra le membrane attive e quelle a riposo vicine. Così facendo, il potenziale d'azione è spinto in maniera attiva in un'onda di depolarizzazione che si propaga da un'estremità all'altra della fibra nervosa. (Squire et al., 2016)

Le cellule gliali, o neuroglia, sono cellule con la funzione di supporto. All'interno del sistema nervoso centrale sono presenti con il nome di "macroglia", "cellule ependimali" e "microglia". Queste ultime sono un gruppo di macrofagi con origine dai precursori dei monociti del midollo osseo. Le cellule ependimali, invece, derivano dal tubo neurale, come la macroglia, e formano un epitelio che riveste il canale centrale del midollo spinale ed i ventricoli cerebrali.

Il termine macroglia indica una grande famiglia di astrociti protoplasmatici, astrociti fibrosi ed oligodendrociti. I primi, gli astrociti protoplasmatici, hanno il compito di sostenere i neuroni all'interno della materia grigia andando a formare una barriera e avvolgendo i capillari del Sistema nervoso centrale. Gli astrociti fibrosi sono allocati all'interno della materia bianca e hanno simili

funzioni rispetto a quelli protoplasmatici. Gli oligodendrociti, infine, creano guaine mieliniche attorno agli assoni andando a circondare anche i dendriti ed i corpi cellulari dei neuroni del SNC.

All'interno del SNP, invece, sono presenti le cellule di Schwann ed hanno la funzione di formare mielina intorno agli assoni, sostituendo così gli oligodendrociti.

Il sistema nervoso centrale è composto da un tubo cavo con due estremità distinte: un'estremità rostrale, formata dal cervello, l'encefalo ed una estremità caudale costituita dal midollo spinale.

L'encefalo è posizionato all'interno della cavità cranica ed è in continuità con il midollo spinale in corrispondenza del forame magno. Il midollo spinale si trova all'interno del canale vertebrale.

Il cervello è suddiviso in cinque distinte regioni, la più grande è il telencefalo composto dagli emisferi cerebrali. Le altre quattro divisioni sono composte dal diencefalo, il mesencefalo, il metencefalo e, infine, il mielencefalo.

Il diencefalo è costituito dal talamo, epitalamo, ipotalamo e subtalamo; il mesencefalo comprende i peduncoli cerebrali (tegmentum) e il tectum (collicoli superiori e inferiori); il mielencefalo, costituente della medulla oblungata ovvero del midollo allungato. Spesso il midollo allungato insieme al pons prendono il nome di tronco encefalico.

Il pons forma il metencefalo insieme al cervelletto. Quest'ultimo invia proiezioni importanti a tutti i motoneuroni superiori. Strutturalmente ha due componenti principali: una corteccia cerebellare laminata ed un gruppo di cellule sottocorticali, chiamati anche "nuclei cerebellari profondi". Le vie che raggiungono il cervelletto provenendo da altre regioni del cervello proiettano ad entrambe le componenti; per cui, gli assoni afferenti inviano rami ai nuclei profondi e ai nuclei cerebellari. Le cellule di uscita della corteccia cerebellare proiettano ai nuclei cerebellari profondi, che, a loro volta, danno origine a vie efferenti che lasciano il cervelletto, per poter regolare neuroni motori superiori nel tronco encefalico e nella corteccia. (Squire et al., 2016).

Il lume del SNC è formato dal midollo spinale che è contenuto all'interno del canale centrale. Si espande, tuttavia, in un sistema di ventricoli cerebrali ed è ricco di liquido cerebrospinale. Dal cervello, inoltre, si dipartono dodici paia di nervi cranici che garantiscono innervazione motoria, sensoriale e parasimpatica della testa, del collo e di gran parte del corpo e dei visceri.

Il midollo spinale risulta essere un complesso cilindrico costituito da tessuto nervoso, dove la materia bianca circonda un ulteriore cilindro di materia grigia. I neuroni che compongono il midollo spinale sono disposti in maniera per cui quelli che possiedono le funzioni motorie somatiche siano presenti

nel corno ventrale ed i loro assoni partano attraverso alcune radici ventrali. Questi, sono uniti ad assoni dei neuroni simpatici pregangliari, che si trovano nel corno laterale del midollo spinale nella regione toraco-lombare superiore e da assoni di neuroni parasimpatici pregangliari nel corno laterale del midollo spinale sacrale.

Infine, il corno dorsale del midollo spinale è la sede dei processi centrali dei neuroni unipolari.

Gli interneuroni si occupano di collegare tra loro due neuroni; pertanto, hanno la capacità di facilitare o bloccare una risposta motoria ad uno stimolo sensoriale.

La materia bianca del midollo spinale è costituita da tratti ascendenti e discendenti di fibre nervose che collegano regioni differenti del sistema nervoso periferico tra loro. È composta da processi neuronali, molti dei quali possiedono assoni avvolti da una guaina di mielina bianca. Questi assoni, dunque, sono raccolti in fascioletti, ovvero i piccoli fasci, o in grandi fasci, chiamati funicoli.

I corpi cellulari nervosi del sistema nervoso centrale sono raggruppati in grandi aggregati chiamati materia grigia. La materia grigia può essere trovata in guaine, come all'interno della corteccia cerebrale oppure come un insieme di più piccoli corpi cellulari nervosi, noto come nucleo.

Esistono due categorie principali di neuroni che possono essere suddivisi in base alla direzione degli assoni. I neuroni i cui assoni escono dal SNC e gli interneuroni, i cui assoni permangono all'interno del SNC.

Il primo gruppo, che possiede assoni che fuoriescono dal sistema nervoso centrale, venne chiamato dai primi anatomici come "motoneuroni", somatici o autonomi; il secondo, invece, formato dagli interneuroni, è caratterizzato dalla trasmissione di informazioni da uno o più neuroni all'interno del SNC, come per esempio gli interneuroni di un arco riflesso.

Il sistema nervoso periferico è costituito da nervi cranici, spinali e gangli ad essi associati e fibre nervose del SNA. È fondamentale capire che il SNP è in continuità con il SNC e questo lo dimostra il fatto che i corpi cellulari di molte fibre nervose del SNP possono essere riscontrate anche all'interno del SNC.

Sono presenti 12 coppie di nervi cranici, da I a XII. Tutti questi nervi cranici, ad eccezione del vago che costituisce il X, decimo nervo, hanno il compito di innervare le strutture presenti nella testa e nel collo. Il nervo vago, d'altro canto, trova il suo campo di lavoro, non solo nella zona cranica, ma anche nella sezione viscerale, toraco-addominale, come per esempio il tratto alimentare.

I nervi cranici hanno componenti sensoriali e possiedono gangli sensitivi che comprendono i corpi cellulari dei neuroni unipolari, il cui singolo processo prende due vie differenti, centrale e periferica. Il processo centrale di un neurone fa capolino all'interno dell'encefalo, quello periferico, invece, si porta ad un recettore sensoriale. All'interno di questi gangli sensoriali non sono presenti sinapsi.

Esistono 31 paia di nervi spinali e sono divisi in 8 cervicali, 12 che formano il tratto toracico, 5 lombari, 5 spinali e 5 sacrali.

Il sistema nervoso autonomo è un sistema motorio che a differenza dei motoneuroni somatici non va ad innervare le cellule muscoloscheletriche ma quelle cardiache, quelle muscolari lisce e quelle secretorie delle ghiandole.

Nel SNA, il neurone il cui corpo cellulare è all'interno del SNC crea una connessione sinaptica con un secondo neurone situato in un ganglio del sistema nervoso centrale. È l'assone del neurone post gangliare che fa sinapsi con la cellula muscolare cardiaca. Questo sistema nervoso viene definito a due cellule e le sinapsi avvengono all'interno di un ganglio autonomo.

L'assone del neurone pregangliare è mielinizzato ed è denominato "fibra pregangliare". L'assone del neurone post gangliare non è mielinizzato e si chiama "fibra post gangliare".

Il SNA si occupa, principalmente, di mantenere l'omeostasi dell'organismo e si compone di tre sottogruppi fondamentali: il sistema nervoso simpatico, il parasimpatico e l'enterico.

La componente simpatica è quella deputata alla risposta conosciuta con la formula "combattere o fuggi"; il sistema parasimpatico, d'altro canto si preoccupa di mantenere e preparare l'organismo ad una condizione di "tranquillità", che si traduce in uno stato vegetativo, come per esempio lo è la digestione.

Infine, la componente enterica è collocata in maniera completa all'interno della parete del condotto digestivo da cui, appunto, ne controlla il processo.

Nonostante le due componenti simpatica e parasimpatica modulino le attività della componente enterica, quest'ultima è in grado di lavorare da sola nel caso in cui i sistemi simpatico e parasimpatico sono danneggiati o malfunzionanti. (Patestas, 2016).

## 1.5 Neuroni Specchio

Una delle scoperte più influenti, resa possibile dalle tecniche di neuroimaging<sup>6</sup> è quella dei così chiamati “neuroni specchio”. Questa scoperta è stata fatta in alcune specie di scimmie, in un’area del cervello che veniva attivata sia quando si osservava un’azione, sia quando veniva eseguita “in prima persona”. Questo sistema specchio è molto complesso, infatti numerosi e diversi atti motori attivano aree differenti neuronali specifiche. Quest’area dell’encefalo ha il suo omologo anche nel cervello dell’uomo. (Rizzolati et al., 2008). Il peso di questa scoperta è enorme in quanto consente di osservare come, meccanismi percettivi, di azione e di pianificazione siano effettivamente collegati tra di loro, fin dalle basi. Per cui, si può dedurre come l’espressione motoria, gestuale e verbale siano essenzialmente connesse tra di loro. È un esempio, questo, che permette di capire come guardare alle nostre abilità mentali, che nella letteratura scientifica vengono denominate come “embodied cognition”, ovvero “cognizione incarnata”. Le nostre *“capacità cognitive più “alte” sono rese possibili dall’integrazione col livello di cognizioni e percezioni sensomotorie e corporee in generale”*.<sup>7</sup>

Quella dei neuroni specchio rappresenta una specifica classe di cellule nervose che sono caratterizzate da una particolare attivazione in risposta a determinati movimenti ed azioni.

Ciò avviene sia quando l’individuo compie azioni specifiche, sia quando viene semplicemente osservato un altro soggetto eseguire lo stesso atto.

La loro scoperta, avvenuta casualmente, risale alla seconda metà degli anni 80 del ‘900, grazie al lavoro svolto da un gruppo di ricerca di neuroscienziati di Parma, capitanati da Giacomo Rizzolati.

Il loro lavoro era partito con lo scopo di provare a comprendere come i neuroni della corteccia premotoria delle scimmie, dei macachi precisamente, controllassero l’azione del gesto tecnico dell’“afferrare”. (Hickock, G. 2014)

---

<sup>6</sup> Neuroimaging, o imaging cerebrale, è l’uso di varie tecniche per la mappatura diretta o indiretta della struttura, della funzione o della farmacologia del sistema nervoso. È una disciplina relativamente nuova in medicina, neuroscienze e psicologia

<sup>7</sup> Cfr. Lucangeli e Vicari, 2019, p. 81, e D’Amico e Devescovi, 2013, p. 39. I neuroni specchio lasciano pensare che anche la nostra capacità di provare empatia e di accedere alla dimensione intersoggettiva siano collegate a questa base neuromotoria di cognizione degli atti intenzionali, v., 2003. Sempre secondo Gallese, il sistema sensomotorio sarebbe una componente essenziale della nostra stessa capacità di “cogliere” i concetti astratti e rappresentarceli (Gallese e Lakoff, 2005).

Utilizzando degli elettrodi, collegati all'encefalo del macaco, si è potuto notare come questi si attivassero, quando quest'ultimo afferrava un oggetto od osservava un altro animale compiere la stessa azione.

Quando il soggetto esegue un qualsivoglia gesto motorio, questi neuroni si attivano anche nella corteccia premotoria del soggetto che lo osserva. Questi neuroni potrebbero, dunque, preparare quelli della corteccia motoria "esortandoli" ad eseguire la stessa azione.

Inoltre, questa attivazione congiunta non avviene, solamente, tra un segnale motorio ed uno visivo, ma è possibile trovare un legame anche con segnali acustici (Kohler et al., 2002); nell'uomo, inoltre, è possibile che ci sia un'attivazione anche grazie a informazioni olfattive. (Fabbri-Destro et al., 2008; Rizzolati et al., 2009)

I neuroni specchio rappresentano una specifica tipologia di neuroni visuo-motori che scaricano in entrambi i casi in cui sia presente un movimento: quando il soggetto lo esegue in prima persona e quando lo osserva eseguito da un altro.

Questa categoria di neuroni è modulata dalla posizione nello spazio delle azioni motorie osservate e dalla prospettiva da cui sono visti questi atti motori.

Come detto sopra, questi neuroni sono stati studiati ed osservati per la prima volta intorno agli anni 80, nell'area premotoria ventrale, l'area F5 della scimmia. Questa loro scoperta era seconda ad una indagine anatomica complessa delle aree premotorie. Nell'area F5, insieme ai neuroni motori, erano state scoperte due categorie di neuroni visuo-motori. La prima categoria comprendeva i cosiddetti "neuroni canonici", poiché rispondeva ad oggetti tridimensionali. La loro caratteristica principale era quella di far corrispondere forma e dimensione dell'oggetto che veniva preso in esame. La seconda categoria, invece, rappresenta proprio la classe dei "neuroni specchio", che rispondono all'osservazione di atti motori eseguiti da altri. La proprietà di questa classe di neuroni, invece, è quella di poter far corrispondere le osservazioni di movimenti specifici compiuti da un soggetto, con l'esecuzione di atti motori simili, se non uguali, a loro volta compiuti da un soggetto osservatore.

Quest'ultimo sarà in grado, dunque, di comprendere in maniera automatica l'atto motorio che sta osservando, senza dover elaborare atti ulteriori.

I neuroni specchio si trovano principalmente nella corteccia premotoria e nel lobulo parietale inferiore del cervello. Secondo il loro meccanismo d'azione, quando un individuo compie un gesto specifico od osserva qualcun altro compiere il medesimo gesto, questi neuroni si attivano. Codificano non solo



per l'esecuzione delle azioni, ma anche per l'intenzione che sta dietro all'azione. (Gallese, V., & Goldman, A. (1998))

Grazie a molte tecniche di neuroimaging che forniscono informazioni sul funzionamento del sistema nervoso a livello cellulare e subcellulare, considerate tecniche di neuro visualizzazione di cui ricordiamo le principali, come l'elettroencefalografia (EEG) o la stimolazione magnetica transcranica (TMS) e di imaging cerebrale come la tomografia a emissione di positroni (PET), si è dimostrata l'esistenza di un meccanismo di osservazione/esecuzione negli essere umani, in quelle aree cerebrali omologhe alle stesse contenenti i neuroni specchio nella scimmia. (Adina et al., 1999).

Secondo alcuni scienziati, questa scoperta potrebbe spiegare il fenomeno dell'empatia portando alla luce una base biologica, dal momento che le strutture neuronali che vengono attivate quando noi proviamo determinate sensazioni sembrano essere le medesime che vengono reclutate quando attribuiamo a qualcun altro quelle "stesse" sensazioni, consentendoci di cogliere il vissuto altrui solo a distanza. Inoltre, questo meccanismo sembra attivarsi anche nei momenti in cui non siamo in grado di assistere in maniera diretta ad un'azione che viene compiuta ma ne percepiamo solo i suoni o la semplice descrizione a voce che viene data (Gallese V., 2007).

Ma quali aree si attivano quando eseguiamo o vediamo eseguire una determinata azione? Quando vediamo un oggetto qualsiasi, i neuroni che sono chiamati in causa sono quelli della corteccia posteriore del cervello, nel lobo occipitale. Quando si tratta di un suono, si attivano i neuroni del lobo temporale e quando utilizziamo il tatto, per toccare un oggetto, attiveremo i neuroni del lobo parietale. Quando, invece, muoviamo un arto o articoliamo una parola saranno i neuroni dei lobi frontali, ad attivarsi, quelli delle aree motorie e premotorie.

I ricercatori avevano scoperto i neuroni specchio, sono neuroni che si attivano sia per cause sensoriali (vedere l'azione) che per finalità motorie (compiere l'azione). Così come la scimmia, anche l'essere umano è fornito di questo "mirror neurons system", localizzato nelle regioni parieto-premotorie che risultano essere, come accennato sopra, le stesse della scimmia.

In particolare, uno studio di risonanza magnetica funzionale (fMRI) eseguito su soggetti adulti sani ha mostrato che i neuroni specchio non sono attivati solo dall'osservazione di gesti motori eseguite con la mano, ma anche dall'osservazione di gesti eseguiti con altri effettori come la bocca o il piede (Buccino et al., 2004). Quindi i neuroni specchio si attivano "riflettendo" le azioni degli altri. Le aree parieto-premotorie attivate dall'osservazione di azioni eseguite da altri sono le stesse che si attivano quando l'osservatore esegue quelle stesse azioni. Trattasi di neuroni che si comportano come

motoneuroni quando si attivano per un'azione propria, mentre mostrano la propria peculiarità quando si attivano in risposta alla stessa azione compiuta da altri.

L'attivazione dei neuroni specchio può essere considerata come una facilitazione del movimento osservato attraverso l'appropriazione di quelle sequenze motorie necessarie per un determinato gesto che seguirà. Quando i neuroni specchio si attivano si dice che “scaricano”: quando l'azione è eseguita o osservata; quando l'azione viene solo immaginata, quando l'azione viene solo udita. Quindi, si può dire che i neuroni specchio rappresentano un sistema neuronale che correla le azioni esterne, eseguite da soggetti esterni, con il database interno di gesti motori dell'osservatore e ciò permette una comprensione implicita di ciò che viene osservato. (Rizzolatti et al., 1996).

I neuroni a specchio possono svolgere un ruolo significativo sia nella didattica generale che in contesti specifici come la didattica dello sport e della musica.

Nella didattica dello sport, l'utilizzo dei neuroni a specchio può aiutare gli studenti a imparare e migliorare le abilità motorie. Gli insegnanti possono utilizzare la dimostrazione di un'azione sportiva, come un tiro a canestro nel basket o una battuta nel tennis, per attivare i neuroni a specchio negli studenti. Questa attivazione può facilitare l'apprendimento e la comprensione dell'azione stessa, aiutando gli studenti a imitare correttamente i movimenti e a sviluppare le proprie abilità sportive.

Nella didattica della musica, i neuroni a specchio possono essere coinvolti nell'apprendimento degli strumenti musicali e nella pratica dell'esecuzione musicale. Gli studenti possono beneficiare dell'osservazione degli insegnanti o di altri musicisti che suonano uno strumento specifico, poiché i neuroni a specchio si attivano durante l'osservazione di azioni musicali. Questo può contribuire a migliorare la coordinazione motoria e l'espressività musicale degli studenti.

In entrambi i contesti, sia nella didattica dello sport che in quella della musica, l'osservazione di esempi di alta qualità da parte di esperti può essere fondamentale. Gli insegnanti o gli allenatori che dimostrano correttamente le azioni o le performance possono offrire modelli di riferimento per gli studenti, stimolando l'attivazione dei neuroni a specchio e facilitando l'apprendimento.

È importante sottolineare che l'utilizzo dei neuroni a specchio nella didattica dello sport e della musica non deve limitarsi solo all'osservazione passiva. È fondamentale che gli studenti abbiano anche opportunità di mettere in pratica ciò che hanno osservato e di esercitarsi attivamente nelle abilità motorie o musicali. L'osservazione e l'imitazione devono essere integrate con l'esperienza diretta e la pratica per un apprendimento completo ed efficace.

L'osservazione di azioni e performance può attivare questi neuroni, facilitando l'apprendimento e l'imitazione delle abilità motorie e musicali. Tuttavia, è necessario considerare l'importanza dell'esperienza diretta e della pratica attiva per un apprendimento completo.

Il percorso di miglioramento e perfezionamento della prestazione avviene quando l'atleta ha completa consapevolezza di ciò che avviene all'interno del proprio corpo. Come si può, però, svolgere questo al meglio?

## 1.6 Allenamento cognitivo

L'allenamento cognitivo è costituito da un insieme di attività che sono volte al miglioramento ed al potenziamento delle abilità cognitive, come l'attenzione, la memoria, la percezione ed il linguaggio.

Questa tipologia di allenamento consiste in una serie di esercizi svolti in ripetizione che riproducono specifiche funzioni cognitive. Queste esercitazioni, normalmente, vengono realizzate in maniera tale da poter riprodurre attività di vita quotidiana, per cui, ogni azione, deve essere tarata rispettando il livello di preparazione del soggetto.

Trasferendo l'allenamento cognitivo alla pratica sportiva, potremo evidenziare che le prestazioni sportive ad alti livelli necessitano di un elevato numero di processi cognitivi, come l'attenzione, la presa di decisione e la memoria di lavoro.

L'allenamento cognitivo è un buon metodo per poter migliorare queste abilità tramite una serie di esercizi mirati. (Strobach et al., 2016). È ben noto che l'apprendimento di gesti complessi richiede l'acquisizione di coordinazione delle forze muscolari. Tramite uno studio sperimentale, Mattar e Gribble (2005) hanno dimostrato che i meccanismi che vedono coinvolti l'osservazione e l'azione rendono più facile l'apprendimento motorio. Secondo il protocollo sperimentale i partecipanti hanno osservato un altro soggetto eseguire un'azione, con prestazioni sempre migliori (apprendimento) o con prestazioni casuali (zero apprendimento). (Mattar AA, Gribble PL, 2005)

Inoltre, all'interno dell'ambito dell'allenamento cognitivo possono essere presenti differenti tecniche utilizzabili per trarre il meglio da questa tipologia di "training". Parliamo della tecnica di Imagery Motoria e della tecnica di visualizzazione.

In uno studio del 1994 (Jeannerod, M. 1994), l'immaginazione motoria, l'imagery è il costituente di un meccanismo più ampio che viene denominato "rappresentazione motoria" e che va a riguardare l'intenzione e la preparazione di un movimento. L'immaginazione è quella parte della rappresentazione motoria che avviene consapevolmente, al contrario del processo di rappresentazione, che molto spesso non è consapevole.

L'immaginazione può migliorare le prestazioni sportive, anche se la sua efficacia è mediata dalla facilità con cui gli atleti possono generare immagini. È importante stabilire dei metodi e delle tecniche che migliorino questo fattore di capacità immaginativa per poter incrementare l'efficacia dei protocolli di immaginazione. In uno studio condotto da Wright et al. (2015), si è scoperto che le capacità di immaginazione degli atleti in salute possono essere migliorate attraverso l'immaginazione

(istruendo i partecipanti a leggere le consegne e poi a praticare l'immaginazione) e l'allenamento all'osservazione dell'azione (utilizzando le migliori prestazioni dei partecipanti come modello di osservazione). I cambiamenti nella facilità di generazione delle immagini sono stati valutati utilizzando il Revised Movement Imagery Questionnaire per un periodo di 8 settimane. L'allenamento per l'immaginazione e l'osservazione dell'azione sono stati entrambi efficaci nel migliorare gli aspetti della capacità di immaginazione. (Wright et al., 2015)

Nell'ultimo decennio sono stati compiuti progressi importanti relativi alla comprensione del modo in cui il sistema visivo dell'uomo analizza il movimento del corpo. Gli studi di neurofisiologia hanno identificato due aree neurali, il solco temporale superiore (STS) e la corteccia premotoria, che svolgono ruoli fondamentali nella percezione visiva del movimento umano. I modelli di attività neurale in queste aree riflettono le misure psicofisiche della sensibilità visiva al movimento umano. Entrambi variano in funzione dell'orientamento dello stimolo e della struttura dello stimolo. Gli osservatori umani e la reattività delle STS condividono alcune somiglianze nello sviluppo, poiché entrambi mostrano una sensibilità che sempre più è sintonizzata sul movimento umano in posizione eretta. Si può dedurre come, una convergenza di processi visivi, motori e sociali è alla base della nostra capacità di percepire e interpretare le azioni di altre persone. (Shiffrar M., 2011)

Nello studio di Taube et al., 2015, si indaga l'attivazione del cervello durante l'utilizzo della tecnica di immaginazione motoria (MI) e di osservazione dell'azione (AO). Grazie all'utilizzo di scansioni fMRI in tre condizioni differenti di utilizzo delle tecniche: 1) AO e MI; 2) AO; 3) MI durante lo svolgimento di compiti che interessavano l'equilibrio statico e dinamico in posizione eretta, si è notato come la metodologia più efficace del controllo posturale fosse l'insieme di MI e AO, con un focus maggiore sulla MI.

L'immaginazione motoria può essere spiegata come uno stato dinamico durante il quale tutte le rappresentazioni di un gesto o compito motorio vengono sentite e provate internamente, all'interno della cosiddetta "memoria di lavoro", senza, tuttavia, alcuna produzione motoria vera e propria.

È plausibile che l'immaginazione motoria condivida alcuni collegamenti e meccanismi neurali con i processi utilizzati nel controllo motorio vero e proprio. Sono di grande importanza la corteccia prefrontale e tutte le connessioni con i gangli basali nel controllo motorio e nel mantenere la rappresentazione motoria dinamica all'interno della memoria di lavoro. (Decety, 1996).

È stato dimostrato come l'osservazione dell'azione insieme all'immaginazione motoria attivano circuiti neurali che vanno sommersi e sovrapporsi a quelli attivati dall'esecuzione del movimento.

Questa somiglianza ha condotto alla dimostrazione del potenziale nell'evocare quei meccanismi plastici presenti a livello corticale, che sono fondamentali per l'apprendimento motorio. (Sanes, Donoghue, 2000), con ottimi risultati in termini di apprendimento motorio.

Infatti, nonostante l'allenamento fisico sia cruciale per l'acquisizione e il consolidamento di nuove abilità motorie (Robertson, Pascual-Leone, & Miall, 2004), l'osservazione dell'azione (AO, Action Observation) (Mattar & Gribble, 2005; Naish, Houston-Price, Bremner, & Holmes, 2014) e l'MI (Motor Imagery) (Gentili & Papaxanthis, 2015; Gentili, Han, Schweighofer, & Papaxanthis, 2010; Pascual-Leone et al., 1995; Schuster et al., 2011) sono stati proposti con successo come metodi di supporto per l'apprendimento delle abilità motorie.

Gli ultimi 20 anni sono stati palcoscenico di numerosi studi sui temi dell'osservazione dell'azione (AO) e dell'immaginazione motoria (MI), i quali sono stati studiati in modo isolato, nonostante i primi resoconti integrativi di Jeannerod (1994, 2001). Recentemente, grazie a studi di Neuroimaging, si è dimostrata una maggiore attività corticale quando AO e MI vengono eseguiti in contemporanea ("AO+MI"), rispetto ad AO o MI eseguiti singolarmente. Questi risultati indicano gli effetti potenzialmente benefici di AO+MI e dimostrano anche che i processi neuro cognitivi che sottostanno e che sono in parte condivisi. È possibile ritenere che un piano integrativo di AO e MI sia teoricamente interessante, che possa generare approcci sperimentali e che possa stimolare un'ampia gamma di applicazioni nello sport e in varie altre realtà. (Vogt et al., 2013)

L'imagery motoria e la tecnica della visualizzazione, dunque, sono due strumenti potenti utilizzati nello sport per migliorare la performance atletica. Entrambi si basano sull'uso della mente per creare immagini mentali di azioni motorie e possono avere un impatto positivo sulla preparazione mentale e sulle abilità fisiche degli atleti. Ecco una spiegazione più dettagliata di entrambi i concetti:

L'imagery motoria, o immaginazione motoria, è la capacità di riprodurre mentalmente un'azione o un movimento specifico senza effettuare alcun movimento fisico reale. (Lotze et al., 2006)

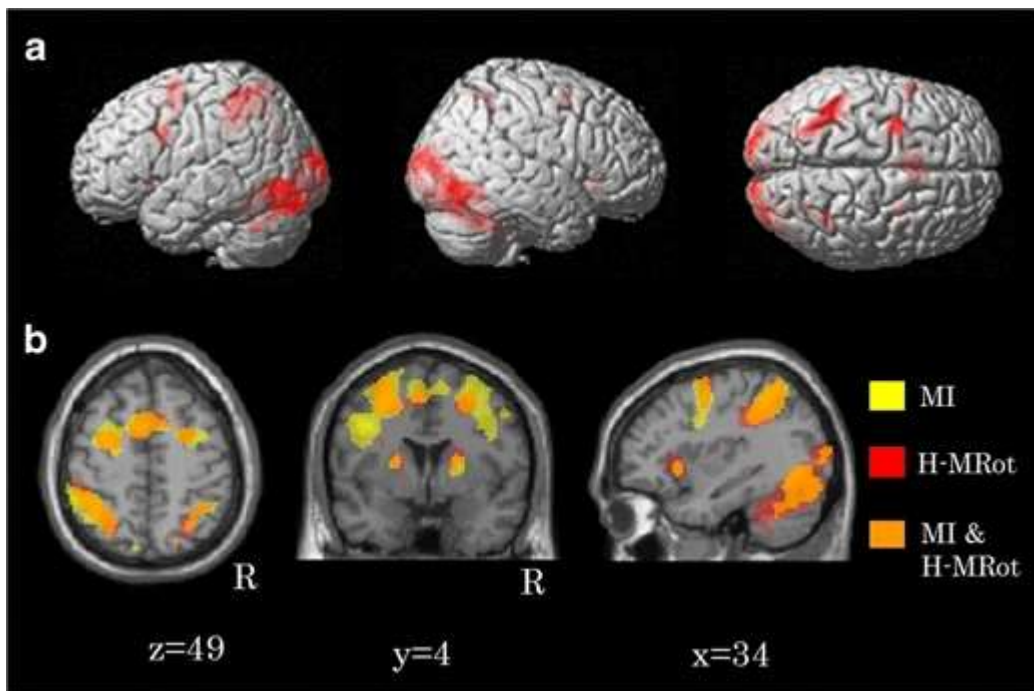


Figure-4 Rappresentazione con neuroimaging di attivazione neurale durante l'immaginazione motoria (Hamada et al., 2018)<sup>8</sup>

Gli atleti utilizzano l'imagery motoria per creare immagini mentali realistiche di una performance ottimale. Questo coinvolge tutti i sensi, come la vista, l'udito, il tatto e persino l'olfatto, per creare un'esperienza sensoriale completa. L'imagery motoria permette agli atleti di visualizzare mentalmente il movimento corretto, concentrarsi sui dettagli tecnici, aumentare la fiducia e ridurre l'ansia. Può essere utilizzato per immaginare l'intera performance o per focalizzarsi su parti specifiche del movimento, come un colpo nel tennis o un tiro nella pallacanestro.

La tecnica della visualizzazione è un metodo specifico utilizzato per applicare l'imagery motoria. Coinvolge la creazione di immagini mentali vivide e dettagliate di una performance atletica desiderata. La visualizzazione può essere praticata in diverse modalità. Ad esempio, gli atleti possono chiudere gli occhi e immaginare se stessi mentre eseguono l'azione o possono utilizzare supporti visivi, come video o foto, per aiutare nella creazione delle immagini mentali. Durante la visualizzazione, è importante concentrarsi sui dettagli tecnici, sulla sensazione delle azioni motorie e sul raggiungimento degli obiettivi specifici. È anche utile incorporare emozioni positive e vivere mentalmente il successo della performance desiderata.

<sup>8</sup> Immagine presa da (Hamada et al., 2018)

Entrambe le tecniche possono essere utilizzate in diverse fasi dell'allenamento e della competizione sportiva. Possono essere utilizzate come parte dell'allenamento pre-gara per prepararsi mentalmente, focalizzarsi sulle strategie e aumentare la fiducia. Durante l'allenamento, l'imagery motoria può essere utilizzata per migliorare la tecnica, per ripetere e consolidare i movimenti corretti. Nella fase di gara, la visualizzazione può essere utilizzata per ridurre lo stress, mantenere la concentrazione e immaginare un'esecuzione di successo.

Sia l'imagery motoria che la tecnica della visualizzazione richiedono pratica costante per massimizzare i benefici. Gli atleti possono incorporare queste tecniche nella loro routine di allenamento e dedicare del tempo specifico ogni giorno per la pratica della visualizzazione. Con la pratica regolare, possono migliorare la chiarezza delle immagini mentali, l'intensità dell'esperienza sensoriale e l'efficacia complessiva dell'imagery motoria.

La pratica mentale è la prova cognitiva di un compito che anticipa la prestazione. Nello studio condotto da Driskell et al., (1994), è stata condotta una meta-analisi della letteratura sulla pratica mentale per determinarne l'efficacia sulle prestazioni e per identificare le condizioni in cui questa metodica è più efficace. I risultati indicano che la pratica mentale ha un effetto positivo e significativo sulle prestazioni e che l'efficacia della pratica mentale è moderata dal tipo di compito, dall'intervallo di ritenzione tra la pratica e la prestazione e dalla durata dell'intervento di pratica mentale.

In conclusione, si può dire che l'imagery motoria e la tecnica della visualizzazione sono strumenti importanti e che possono avere un grande utilizzo e soprattutto che permettono agli atleti di prepararsi mentalmente, migliorare la tecnica e ottimizzare la performance sportiva. Queste tecniche offrono agli atleti la possibilità di creare esperienze mentali realistiche e positive, contribuendo a un maggior successo nella pratica sportiva.

Inoltre, si è prestata attenzione alla domanda se le dimostrazioni visive o le istruzioni verbalmente trasmesse fossero vincoli didattici più efficaci. Grazie ad un'analisi cinematica si è potuto osservare come, rispetto ai comandi verbali o all'assenza di istruzioni, le dimostrazioni visive abbiano significativamente migliorato l'apprendimento del gesto e migliorato il modello motorio e coordinativo. (Al-abood et al., 2001)

Il ruolo cognitivo nelle neuroscienze e nel miglioramento della prestazione sportiva d'élite è un'area in crescita negli ultimi anni (Walton et al., 2018)

Questa metodica di allenamento ha dimostrato un grande vantaggio ed utilità in termini di prestazioni post-allenamento nei test cognitivi. (Gates et al., 2010).



Nonostante ci siano numerosi esiti positivi riguardo la cognizione e l'utilizzo di questa per migliorare output sportivi, bisogna riconoscere che sono presenti alcuni dibattiti, ancora oggi, sull'efficacia complessiva.

Nell'attuale ambito, è importante segnalare come la CT abbia dimostrato la sua massima efficacia in popolazioni caratterizzate da deficit cognitivi, poiché il suo primario utilizzo riguardava l'aumento di ciò che in precedenza risultava deficitario.

Tuttavia, gli atleti di alto livello possono avere un funzionamento migliore all'interno di specifici domini. Questo è reso possibile poiché, dopo ricerche eseguite, in ambito sportivo, l'allenamento cognitivo permette la riduzione dei tempi di elaborazione che sono prettamente legati al processo segnale-risposta, importante per la prestazione e, inoltre, migliorare la precisione nella risoluzione di compiti cognitivi che richiedono un certo grado di flessibilità. (Farahani et al., 2017; Voass et al., 2010)

Molti studi hanno dimostrato che l'allenamento che utilizza l'osservazione dell'azione e l'immaginazione motoria migliora le prestazioni motorie. Queste tecniche sono utilizzate nello sport e nella riabilitazione dei disordini riferiti al movimento. L'immaginazione motoria è stata utilizzata anche per le interfacce cervello-macchina-computer (BMI/BCI). Sia durante l'osservazione dell'azione che nell'immaginazione motoria, si attivano regioni legate al movimento, come la corteccia premotoria e il lobulo parietale inferiore. Queste regioni sono comuni all'esecuzione vera e propria e sono parte dei meccanismi che stanno alla base dell'apprendimento motorio senza esecuzione. Essendo più semplice registrare l'attività cerebrale durante l'osservazione dell'azione e l'immaginazione motoria che durante i movimenti sportivi veri e propri, l'osservazione dell'azione e l'immaginazione motoria di abilità sportive o di movimenti complicati di tutto il corpo sono state impiegate per studiare come i meccanismi neurali differiscano nello spettro di prestazioni che va dal principiante all'atleta professionista. Tuttavia, l'attività cerebrale durante l'osservazione dell'azione e l'immaginazione motoria è influenzata dalla complessità del compito (ad esempio, movimenti semplici o complessi). Inoltre, i cambiamenti temporali nell'attività cerebrale durante l'esecuzione effettiva, lungo il lungo corso dell'apprendimento motorio, non sono simili a quelli che possiamo osservare durante l'osservazione dell'azione o l'immaginazione motoria. L'attività nelle regioni correlate alla sfera motoria durante l'osservazione dell'azione e l'immaginazione motoria è maggiore negli esperti rispetto ai novizi, mentre l'attività durante l'esecuzione vera e propria è spesso inferiore negli esperti rispetto ai non esperti. (Mizuguchi et al., 2017)

Sia l'immaginazione motoria (MI) che l'osservazione dell'azione (AO) innescano l'attivazione dei meccanismi neuro cognitivi che sono alla base della pianificazione e dell'esecuzione dei movimenti volontari, richiamando, quindi, i meccanismi del movimento vero e proprio. (Cuenca-Martínez F et al., 2018)

Per quanto riguarda la relazione con il mondo musicale, di cui questa tesi tratta in parallelo con la sfera sportiva possiamo notare come, sebbene la maggior parte degli studi che hanno toccato le attinenze tra formazione musicale e abilità cognitive abbiano un disegno correlazionale, il pregiudizio prevalente è che la formazione musicale provochi miglioramenti nella cognizione. Ciò nonostante, è anche possibile che i bambini ad alto funzionamento siano più propensi degli altri a prendere lezioni di musica e che abbiano una differente personalità.

### 1.6.1 Immaginazione motoria e applicazione del protocollo PETTLEP nei domini musicale e tennistico

Il protocollo PETTLEP (Physical, Environment, Task, Timing, Learning, Emotion, Perspective) è un approccio sistematico all'immaginazione motoria sviluppato per migliorare l'efficacia dell'allenamento mentale. Questo modello, basato sulla neuroscienza cognitiva e applicato in vari campi, ha dimostrato di essere particolarmente efficace nella musica e nel tennis, contribuendo a ottimizzare le prestazioni e l'apprendimento motorio.

Il protocollo PETTLEP è stato introdotto per la prima volta da Holmes e Collins nel 2001 come un quadro per l'allenamento mentale nell'ambito sportivo. È stato successivamente adattato per essere utilizzato in diverse discipline, tra cui la musica.

L'applicazione del protocollo PETTLEP nella musica ha radici nella ricerca sulla visualizzazione creativa e l'immaginazione motoria. Musicisti e insegnanti di musica hanno iniziato a esplorare come l'immaginazione motoria poteva aiutare gli esecutori a perfezionare la loro tecnica, a sviluppare una maggiore espressività e a superare le sfide durante le esibizioni dal vivo. Uno dei primi studi a esaminare l'applicazione del protocollo PETTLEP nella musica è quello di Debarnot et al., 2013.

Questo studio ha evidenziato come l'uso del protocollo PETTLEP nella pratica musicale possa migliorare la percezione e la produzione del ritmo, influenzando positivamente le prestazioni musicali.

Nel tennis, il protocollo PETTLEP è stato implementato per migliorare le abilità motorie, la strategia di gioco e la resistenza mentale dei giocatori. (Cherappurath et al., 2019). Gli atleti possono utilizzare l'immaginazione motoria per visualizzare dettagliatamente le situazioni di gioco e per prepararsi mentalmente alle sfide in campo. Un importante studio sull'applicazione del protocollo PETTLEP nel tennis è quello condotto da Smith et al., 2004.

In questo studio è stato esaminato l'effetto dell'uso di diverse prospettive visive durante l'immaginazione motoria nel tennis, dimostrando come l'applicazione specifica del protocollo PETTLEP possa influenzare le prestazioni.

Il protocollo PETTLEP comprende sette elementi chiave:

1. Physical (Fisico): L'immaginazione motoria dovrebbe includere dettagli fisici precisi, come tensione muscolare e movimenti specifici.
2. Environment (Ambiente): La visualizzazione dovrebbe avvenire nell'ambiente in cui si svolge l'azione, ad esempio, su un campo da tennis o su un palco musicale.

3. Task (Compito): L'azione motoria specifica deve essere chiaramente definita.
4. Timing (Tempo): La temporizzazione dell'immaginazione motoria dovrebbe essere sincronizzata con l'azione reale.
5. Learning (Apprendimento): L'immaginazione dovrebbe riflettere il processo di apprendimento e miglioramento nel tempo.
6. Emotion (Emozione): Le emozioni associate all'azione dovrebbero essere incluse.
7. Perspective (Prospettiva): È possibile utilizzare diverse prospettive, ad esempio, una prospettiva in prima persona o in terza persona.

L'applicazione del protocollo PETTTLEP offre diversi benefici pratici sia nella musica che nel tennis:

- Miglioramento delle Prestazioni: L'uso regolare del protocollo PETTTLEP può portare a un miglioramento delle abilità motorie, aumentando la precisione e la coerenza nelle esecuzioni musicali e tennistiche.
- Riduzione dello Stress: L'allenamento mentale basato su PETTTLEP può aiutare a gestire lo stress e l'ansia pre-gara o pre-esibizione, migliorando la concentrazione e la tranquillità.
- Accelerazione dell'Apprendimento: L'immaginazione motoria può accelerare il processo di apprendimento delle nuove abilità nel tennis e nella musica.

L'applicazione, quindi, del protocollo PETTTLEP è un potente strumento per migliorare le prestazioni nella musica e nel tennis tramite l'immaginazione motoria strutturata. La sua applicazione pratica, basata su una storia di ricerca solida, offre opportunità per l'allenamento mentale mirato e il miglioramento delle abilità motorie. La continua ricerca in queste discipline potrebbe portare a nuovi sviluppi nell'utilizzo del protocollo PETTTLEP.

## 2 CAPITOLO 2

### 2.1 L'apprendimento musicale nel bambino

Con il termine “musica” si intende l'ascolto di effetti sonori, intenzionalmente, prodotti con vocalizzi o con vari strumenti musicali, articolando il suono prodotto nello spazio e nel tempo.

Lo sviluppo delle abilità musicali comincia in età molto precoce. L'ascolto della musica ha un impatto positivo sul feto a partire già dalle sue ultime settimane di gestazione così come, lo stesso ascolto, unitamente alla produzione musicale, influenzano positivamente tutte le età dell'essere umano, anche quella adulta. Molti studi eseguiti sui feti, durante la vita uterina, hanno dimostrato come l'apprendimento e lo sviluppo cognitivo inizino già nel periodo della gravidanza e come la musica sia in grado di favorire questi apprendimenti. (Huotilainen et al., 2005)

L'attività musicale, in senso lato, migliora la neuroplasticità e aumenta la connettività; migliora la comunicazione e l'acquisizione del linguaggio.

Inoltre, è da considerare la relazione importante tra la musica e il cervello. Non a caso, alcuni studi di Schlaug (2001) hanno dimostrato alcuni cambiamenti nel volume di alcune strutture cerebrali come il corpo calloso, la corteccia motoria e uditiva, e il cervelletto.

La musica ha la forza della multimodalità e può, dunque, stimolare simultaneamente sistemi uditivi, visivi, sensitivi e motori, assicurando un'integrazione unica nel suo genere. (Fujioka et al., 2006)

Alcuni studi svolti sui feti nella vita uterina hanno portato alla luce alcuni risultati positivi sull'apprendimento e sullo sviluppo cognitivo, i quali cominciano già nel periodo della gravidanza. Questo dimostra come la musica possa favorire questi processi. (Proverbio, A. M., 2019)

Secondo la teoria di Edwin E. Gordon, la “Teoria dell'Apprendimento Musicale”, la musica si può apprendere secondo alcuni processi simili a quelli con cui si apprende il linguaggio. Nel caso del bambino, tramite un processo di crescita musicale, seguito da un educatore competente, questo sarà in grado di apprendere intorno ai primi 5 anni di vita un vocabolario di suoni, importante. Grazie all'insegnamento della pratica musicale, il bambino sarà in grado di allargare la propria immaginazione, essere in grado di pensare musicalmente, e comprendere nel proprio pensiero suoni che non sono fisicamente presenti. Questa capacità viene chiamata “Audiation”, indispensabile per la comprensione della musica. L'“Audiation” non può essere insegnata; quello che può essere insegnato è il percorso che porta allo sviluppo di questa capacità tramite specifiche attività dirette all'apprendimento. La capacità di “audiation” rende dunque possibile organizzare i suoni ascoltati in

sequenze di significato musicale e, al tempo stesso, anticipare mentalmente quelli che seguiranno, consentendo al soggetto di ascoltare o di fare musica con comprensione.

Il paragone fra apprendimento musicale e apprendimento linguistico può, ad ogni modo, essere fonte di fraintendimento. È bene chiarire che nonostante le similitudini presenti, la musica non può essere considerata una lingua. I suoni, infatti, si combinano in sequenze strutturate in grado di trasmettere significati musicali differenti e, perciò, sono governati da una sintassi pur non presentando significati concreti.

Per meglio approfondire e comprendere le modalità di apprendimento musicale sarà utile mettere in primo piano alcune caratteristiche che questo, secondo la MLT, ha in comune con l'apprendimento linguistico. Il bambino è in grado di apprendere il linguaggio grazie allo sviluppo di quattro vocabolari differenti: l'ascolto, il parlare, il leggere e lo scrivere.

Ad un bambino non si insegna a parlare, si comunica parlando con lui. Così facendo lo si guida indirettamente all'apprendimento del linguaggio e lui inizierà, di conseguenza, ad interagire. Lo stesso si manifesta nelle lezioni di musica: l'insegnante, in principio, non chiede di fare qualcosa al bambino, la fa personalmente per il bambino. Incoraggia le sue risposte musicali e lo guida verso l'imitazione dei suoni per poi arrivare alla capacità di assimilare la sintassi musicale. Questo concetto è chiamato "educazione indiretta".

Il movimento per il bambino è di fondamentale importanza, come nella musica e nello sport; è uno strumento che gli permette di conoscere, ricercare e scoprire. Nell'ascoltare la musica, si è portati a muoversi in maniera spontanea; questo movimento libero, non schematico, è un movimento di esplorazione e di sperimentazione. Questa libertà e fluidità di movimento permette la percezione del tempo e dello spazio, e anche l'assimilazione dei suoni che vengono ascoltati. Inoltre, i bambini, quando si trovano in gruppo assimilano molto, imparando dai loro pari. Il gruppo è incoraggiante poiché spinge il bambino nella ricerca dei suoni, nella loro esplorazione, nella scoperta del movimento e così facendo ne facilita l'apprendimento. (Gordon, E. 1999, 1979, 1989).

## 2.2 I neuroni specchio nella musica

La scoperta dei neuroni specchio è stata un importante contributo delle neuroscienze per comprendere il ruolo fondamentale che giocano nella pratica musicale. I neuroni specchio sono stati identificati per la prima volta negli anni '90 e rappresentano una classe di neuroni che si attivano sia quando eseguiamo un'azione sia quando osserviamo qualcun altro eseguirla. Questi neuroni sono stati originariamente scoperti nel contesto dell'imitazione delle azioni, ma successivamente si è scoperto che svolgono un ruolo cruciale anche nella comprensione delle azioni degli altri e nell'apprendimento motorio.

Nella pratica musicale, i neuroni specchio svolgono un ruolo importante nell'apprendimento e nell'esecuzione delle abilità musicali. Quando osserviamo un musicista eseguire una performance, i neuroni specchio nel nostro cervello si attivano, permettendoci di comprendere l'azione e di imitarla. Questa attivazione dei neuroni specchio durante l'osservazione di musicisti esperti può facilitare l'apprendimento delle abilità motorie finì coinvolte nella produzione del suono e nel controllo degli strumenti. Per questo, la formazione dei musicisti nasce dalla pratica costante che vede coinvolti differenti domini, come quello percettivo, motorio e cognitivo. Il tutto è sostenuto da un insieme di stimoli musicale con una corrispondente rappresentazione motoria (Ramon y Cajal, 2002; Schlaug, 2012, 2015).

La conoscenza del ruolo dei neuroni specchio nella pratica musicale ha aperto nuove prospettive per la progressione didattica. La progressione didattica si riferisce al percorso di apprendimento graduale che tiene conto delle capacità e delle competenze degli individui, permettendo loro di sviluppare le abilità musicali in modo strutturato ed efficace.

La didattica basata sui neuroni specchio può includere l'osservazione di modelli di alto livello, come musicisti esperti, per attivare i neuroni specchio degli studenti e facilitare l'apprendimento motorio. Questa osservazione può essere integrata con l'imitazione guidata, in cui gli studenti cercano di riprodurre le azioni e i movimenti dei modelli.

Inoltre, l'utilizzo di strumenti tecnologici avanzati può arricchire l'esperienza didattica. Ad esempio, l'utilizzo della realtà virtuale o di applicazioni interattive può consentire agli studenti di immergersi in simulazioni realistiche di esecuzioni musicali, attivando i neuroni specchio e permettendo loro di sperimentare e apprendere in un ambiente controllato.

La progressione didattica può anche prevedere l'integrazione di elementi di allenamento cognitivo specifico. Ad esempio, gli esercizi di visualizzazione mentale possono essere utilizzati per rafforzare

l'attivazione dei neuroni specchio e migliorare la capacità di immaginare e riprodurre mentalmente le azioni musicali.

In conclusione, l'utilizzo dei neuroni specchio e delle neuroscienze nella pratica musicale ha rivelato il ruolo cruciale che giocano nell'apprendimento e nell'esecuzione delle abilità musicali. La conoscenza dei neuroni specchio ha aperto nuove prospettive per la progressione didattica, consentendo di sviluppare approcci basati sull'osservazione, l'imitazione guidata, l'utilizzo di strumenti tecnologici avanzati e l'integrazione di allenamento cognitivo specifico. Questi approcci possono migliorare l'apprendimento e la performance musicale, consentendo agli studenti di sviluppare abilità motorie e cognitive avanzate nel contesto musicale.

La musica è un tratto universale, stimola ed evoca differenti ed importanti emozioni. Bharucha et al., (2006) hanno chiarito come la musica è compresa ed intesa come forma di comunicazione costituita da un connubio di schemi uditivi e dalle loro rispettive interpretazioni. La relazione con due modelli di comunicazione, quello motorio, dell'azione e quello del linguaggio, è supportata dalla presenza e dal ruolo del sistema dei neuroni a specchio.

Questo sistema è proposto come meccanismo che rende possibile la comprensione del significato e dell'intenzione di un segnale, evocando una rappresentazione del segnale stesso nel cervello di chi lo riceve.

I neuroni con queste proprietà, chiamati "specchio" sono stati descritti nell'area F5 della corteccia premotoria. Sono neuroni visuomotori che scaricano, ovvero si attivano, quando il soggetto compie un'azione e quando osserva la stessa azione eseguita da un altro soggetto. Oltre a queste proprietà visuomotorie, possiedono anche una capacità di risposta ai suoni.

Le proprietà di specchio uditivo sono state dimostrate principalmente utilizzando la risonanza magnetica funzionale (fMRI), la magnetoencefalografia (MEG), risonanza magnetica funzionale (fMRI), la magnetoencefalografia (MEG), l'elettroencefalografia (EEG) o la stimolazione magnetica transcranica (TMS), stimolazione magnetica transcranica (TMS).

Un recente studio eseguito grazie alla fMRI ha mostrato attività premotorie quando vengono ascoltate vocalizzazioni affettive non verbali. Queste erano simili a quelle mostrate durante un'esecuzione di movimenti facciali. Diversi studi hanno mostrato prove convergenti del fatto che l'ascolto di suoni umanoidi correlati all'azione può attivare risposte nel sistema motorio.

L'ascolto di questi suoni in correlazione alle azioni, che possono essere prodotti sia da mani che da bocche, attiva quelle aree motorie o premotorie secondo la somatotopia dorsoventrale dell'azione. La



presentazione uditiva di azioni o dell'uso di uno strumento attiva quelle aree motorie coinvolte nell'esecuzione di movimenti e nell'osservazione.

Dagli studi sul sistema dei neuroni specchio è possibile, inoltre, concordare sul fatto che la visualizzazione delle azioni motorie, su uno strumento, può esser stimolata ed attivata da quegli stessi neuroni che scaricano durante l'esecuzione della reale azione che si eseguirebbe se si suonasse nella realtà.

L'ipotesi del sistema specchio che permette agli animali e ai soggetti di comprendere, apprendere e riproporre il comportamento degli altri, tramite l'imitazione dei gesti motori nella propria mente è stata adottata nel mondo musicale. Queste cellule possiedono proprietà sensoriali e motorie che permettono, osservando o ascoltando azioni eseguite da altri con un obiettivo ben stabilito, di attivare queste stesse.

Ma come questo sistema può essere coinvolto nell'apprendimento musicale?

Per molto tempo, la musica veniva correlata ad azioni motorie; ogni tipologia di musica vedeva alla base gesti motori coordinati che, insieme, producevano suoni. Ma questo impegno motorio, al contempo, rende possibili sequenze motorie mirate e volontarie come fattore di informazioni uditive.

La connessione tra la musica e le funzioni motorie è presente in ogni tipologia di attività musicale, dalla danza, al canto. Grazie all'ausilio di tecniche di neuroimaging, è stato reso noto come i musicisti siano in grado di regolare l'attività musicale e l'apprendimento motorio della musica grazie al sistema dei neuroni a specchio. (Schlaug, G. 2009; Monlar-Szakacs et al., 2006; Buccino et al., 2006)

La musica è uno strumento utilizzato per comunicare, composto di modelli la cui esecuzione e percezione sono capitanate da regole, da una sorta di fonologia musicale. (Sloboda, J. A. 2010). Il suono non è composto solo da elementi disposti in sequenza, quanto più gerarchicamente organizzati. Questa scala di gerarchie comporta la combinazione di più elementi differenti, come le note, gli accordi, i ritmi, che servono per formare una struttura complessiva (Lerdahl et al., 1996).

Per quanto riguarda la relazione tra i neuroni specchio e la pratica della musica, l'esistenza di regioni audiovisive multimodali è stata dimostrata anche per il linguaggio verbale e per le vocalizzazioni umane e animali.

Come scoperto originariamente nella corteccia premotoria ventrale del macaco, da Rizzolati e Luppino (2001), i neuroni specchio si attivano sia quando la scimmia esegue un gesto motorio, sia quando osserva qualcun altro eseguire lo stesso identico gesto.

Poiché si tratta di neuroni motori, questi, si attivano come gli altri neuroni presenti nella corteccia premotoria, in corrispondenza di un altro atto motorio con un fine e dotato di scopo, mentre non si attivano per i singoli movimenti delle dita che vanno a completare l'intero atto motorio. Questi vengono attivati dall'esecuzione e dall'osservazione di atti motori eseguiti con la mano, e con la bocca e codificano l'intenzione del gesto.

Nello studio di Kohler et al, 2002 è stato riportato come il nostro cervello abbia una rappresentazione neurale molto specifica tra azioni compiute su oggetti e il suono prodotto da questi. Questi neuroni specchio audiovisivi scaricano e codificano le azioni indipendentemente che queste siano o meno eseguite, ascoltate o guardate. (Kohler et al., 2002)

Un ulteriore studio di Lahav nel 2007 ha indicato che il sistema di riconoscimento dell'azione umana è sensibile all'esperienza motoria dell'individuo e possiede le capacità di sintonizzazione necessarie per eseguire una corretta discriminazione tra il suono di azioni acquisite di recente e il suono di azioni motorie sconosciute. Pertanto, l'acquisizione di azioni che hanno un'uscita udibile genera rapidamente un collegamento neurale funzionale tra il suono di tali azioni e le rappresentazioni motorie presumibilmente corrispondenti. Gli autori dello studio hanno esaminato l'efficacia dell'allenamento basato sui neuroni specchio nella pratica del pianoforte. Hanno scoperto che i partecipanti che hanno appreso a suonare brani musicali guardando le mani dell'insegnante (utilizzando il sistema specchio) hanno mostrato miglioramenti significativi nella loro capacità musicale rispetto a quelli che hanno appreso in modo tradizionale. (Lahav et al., 2007)

Grazie alla costante associazione tra un oggetto e il suo suono, noi siamo in grado di attivare l'immagine di un suono basandoci sulla vista dell'oggetto. Per questo preciso motivo, un musicista è in grado di prevedere il suono che verrà prodotto ancor prima che venga suonato.

È possibile codificare azioni musicali e suoni. La vista dell'esecuzione musicale, indipendentemente dal brano, attiva il sistema dei neuroni specchio frontoparietale, che porta alla simulazione motoria e il solco temporale superiore, portando alla conclusione che osservare gesti musicali di cui si è già a conoscenza attiva il ricordo dei suoni associati, ma solo in coloro che sono in grado di eseguirli.

La lettura di note musicali e l'azione motoria di suonare il pianoforte è una azione motoria molto complessa che richiede anni di pratica. Inoltre, è necessario lo sviluppo di una trasformazione visuomotoria rapida ed effettiva che possa processare le differenti componenti di un brano musicale. Lo studio condotto da Meister et al., nel 2003 vuol comprendere la funzione ed il ruolo della corteccia che media la performance musicale, utilizzando la fMRI. Nelle condizioni di studio l'attivazione

magnetica ha riportato l'attivazione della rete frontoparietale bilaterale, comprese le aree premotorie, il precuneo.<sup>9</sup> (Ingo Gerrit Meister et al., 2003)

e la parte mediale dell'area di Brodman 40. Durante la performance musicale ma non durante lo sviluppo dell'imagery la corteccia motoria primaria e la corteccia parietale posteriore erano attive e scaricavano bilateralmente. Questi risultati dimostrano il ruolo della corteccia premotoria primaria impegnata nell'esecuzione motoria ma non nell'imagery e coinvolta nell'integrazione visuomotoria durante la performance musicale.

Il fatto che le stesse aree siano coinvolte nella trasformazione visuomotoria e nella pianificazione motoria e nella pratica di processo musicale porta alla luce il ruolo e le caratteristiche multimodali delle aree corticali coinvolte nel processo di motori imagery nei musicisti.

Ciò che è stato riscontrato negli studi di neuroimaging è una predominanza del lavoro ed attivazione della rete corticale frontoparietale, che scarica durante la performance pianistica.

Questa rete corticale comprende la corteccia premotoria sensomotoria nell'emisfero sinistro encefalico e, bilateralmente, la corteccia premotoria. Nella corteccia parietale, le aree sensitive secondarie nell'emisfero sinistro si attivano. Le aree di attivazione riscontrate nella condizione di imagery corrispondono a quelle che si attivano durante la performance vera e propria ad eccezione dell'area sensomotoria primaria, di entrambi gli emisferi, che non sono attive.

Questo confronto tra performance musicale ed imagery ha evidenziato una prevalenza della corteccia sensomotoria primaria dell'emisfero sinistro, parte dell'attivazione bilaterale parietale e delle zone cerebellari.

---

<sup>9</sup> Il precuneo è la porzione posteriore della superficie mediale tra la scissura parieto-occipitale e la terminazione ascendente del solco cingolato. (Clinical Neuroanatomy, S.G.Waxman, 2017).

## 2.3 Musica e Apprendimento motorio: relazioni

In letteratura sono poche le relazioni trovate tra la musica e l'apprendimento motorio. Il movimento è una risposta universale alla musica e si svolge, molto spesso, in contesti sociali.

Il repertorio di chi pratica musica nasce grazie ad una pratica costante che coinvolge domini di percezione, motori e cognitivi. Tutto ciò è accompagnato dall'unione di stimoli musicali con la loro corrispondente rappresentazione motoria (Ramon y Cajal, 2002; Schlaug, 2012, 2015).

Infatti, nella pratica sportiva, l'utilizzo della musica vede la propria realizzazione in maniera differente, soprattutto per quanto riguarda la sua capacità di rilassamento, gestione dello stress e miglioramento della componente del ritmo dei vari gesti sportivi.

Il contributo di questa pratica, perciò, illustra e propone un protocollo di mental training che possa basarsi sull'immaginazione motoria e musica applicato al contesto di apprendimento motorio.

L'immaginazione motoria è un processo psicologico che avviene in maniera conscia e simula un'azione nella prospettiva di prima persona. Condivide con l'esecuzione della stessa azione caratteristiche neurofisiologiche che le permettono di essere una tecnica efficace per l'incremento della prestazione motoria.

Nel pensiero di Richardson (1969) l'imagery è riferita alle esperienze quasi sensoriali e quasi percettive di cui noi siamo coscienti e che esistono in assenza di quelle condizioni di stimolo che possono realmente determinare specifiche reazioni sensoriali e percettive. (Gonzalez et al., 1997) Per cui si possono riscontrare tre caratteristiche principali delle immagini mentali:

- La capacità singola di sviluppare percezioni tipiche dei reali gesti
- Consapevolezza del soggetto di questa attività che risulta essere volontaria
- E una non necessaria presenza di antecedenti che determinino la prestazione.

L'immaginazione motoria, infatti, è quella simulazione mentale di un gesto specifico in assenza di una macroscopica attivazione muscolare. Per cui, ciò che differenzia l'imagery da una classica attività immaginaria è la presenza di immagini mentali caratterizzate da una serie di sensazioni sensomotorie. (Richardson, A. 2013)

Con il termine mental practice, infatti, si intende proprio un protocollo basato su ripetizioni che siano finalizzate al miglioramento della performance, basato sul processo cognitivo dell'imagery motoria. La pratica mentale ha un effetto positivo e impattante sulle prestazioni. Inoltre, l'efficacia della pratica

mentale è moderata dal tipo di compito che viene richiesto, dall'intervallo di ritenzione tra la pratica e la prestazione, ed infine dalla durata dell'intervento di pratica mentale. (Driskell et al., 1994)

La “mental preparation”, la preparazione mentale, che corrisponde all'insieme di tecniche di allenamento cognitivo dell'atleta.

Un movimento, come sappiamo, può essere immaginato internamente o esternamente. La prima visione, interna, implica una visione in prima persona, come se il soggetto stesse eseguendo nella realtà l'azione.

La seconda, invece, è impostata in terza persona. La prospettiva sta nell'osservazione di “se stessi” mentre si esegue un determinato gesto sportivo.

Nella prospettiva interna è presente in maniera importante una componente relativa al movimento che permette al soggetto di percepire il movimento che viene eseguito.

Successivamente, nel 1994 Jeannerod avanza un'ulteriore suddivisione delle due modalità di osservazione considerando la prospettiva interna la sola che comporta un'immaginazione motoria, coniato il termine “motor imagery”; quella esterna, d'altro canto, è da considerarsi immaginazione visiva “visual imagery”. (Jeannerod, M. 1994)

Ciò significa che un'immagine di un gesto motorio è composta dagli aspetti visivi, spaziali e di movimento dell'azione a cui corrisponde. Questi tre elementi, fondamentali, sono la tipica percezione dell'azione reale. (Cei, A. 1998)

A proposito dell'utilizzo di queste tecniche da parte di atleti, alcune ricerche condotte da Hall et al., 1990 hanno portato alla luce alcune evidenze che mostravano come l'immaginazione mentale veniva utilizzata dagli atleti:

- Gli atleti utilizzano in larga misura le immagini mentali durante la gara, rispetto alla pratica di allenamento;
- Utilizzano queste immagini mentali per andare a migliorare la performance, piuttosto che utilizzarle in fase di apprendimento;
- È importante anche la componente motivazionale, in quanto gli atleti sono in grado di immaginare loro stessi in una posizione di successo, più che di fallimento.

Nonostante non vengano eseguiti gesti e movimenti durante la pratica di immaginazione motoria, è chiaro come questa abbia relazioni con l'esecuzione fisica di un gesto, come per esempio il tempo richiesto per immaginare un movimento che ricalca la durata del movimento stesso. Inoltre, le leggi fisiche del movimento sono presenti anche nei processi di immaginazione. (Hall et al., 1990)

L'imitazione è molto importante anche per quanto riguarda lo sviluppo delle abilità cognitive e dell'apprendimento; il sistema dei neuroni specchio gioca un ruolo fondamentale traducendo in atti motori quei movimenti elementari che caratterizzano l'azione che si osserva.

L'imitazione può essere divisa in due capacità: la capacità di collegare le azioni a quelle che vengono compiute da altri e l'apprendimento dall'imitazione, cioè la possibilità di sviluppare nuove acquisizioni tramite l'osservazione.

L'importanza dello stretto rapporto tra percezione e produzione musicale è sottolineata da diversi approcci pedagogici basati sull'evocazione reiterata di rappresentazioni motorie attraverso stimoli visivi e uditivi legati alla musica. In alcuni casi, è suggerito di riascoltare una musica appena praticata per migliorare le prestazioni musicali (Clarke, E. 2005), questo a sostegno del rapporto tra immaginazione e gesto motorio.

Ruolo fondamentale è, dunque, quello dell'apprendimento motorio, poiché è stato notato come l'osservazione di un determinato gesto e movimento induce lo sviluppo di specifiche performance motorie e sportive più precisamente, portando alla formazione di una sorta di memoria motoria che porta a cambiamenti veri e propri nella rappresentazione di quest'ultima.

L'osservazione, dunque, è in grado di migliorare la performance motoria grazie ad un meccanismo che risulta simile a quello che viene chiamato in causa nell'acquisizione di abilità motorie tramite la pratica fisica.

Gli esseri umani, infatti, possiedono una grande capacità di immaginazione del movimento, cioè la sua simulazione mentale. È presente una isocronia mentale, ovvero quel tempo che è richiesto per completare un gesto pensato, immaginario, che risulta essere il medesimo tempo necessario per completare l'esecuzione dello stesso gesto. La sua presenza chiarisce alcuni punti sulla capacità dell'individuo di preservare l'organizzazione in termini di tempo del movimento reale, durante l'immaginazione motoria. (Decety & Michael, 1989)

È stato ipotizzato che durante la l'immaginazione motoria, come durante l'esecuzione del movimento (Miall & Wolpert, 1996), i modelli feedforward prevedano lo stato futuro del corpo e simulano le conseguenze sensoriali di un movimento sulla base della copia efferente del comando motorio (Gueugneau, Mauvieux, & Papaxanthis, 2009). Per questo motivo, il tempo immaginato sarebbe una replica della durata del movimento reale (Decety, Jeannerod, & Prablanc, 1989).

Ricordiamo come numerose evidenze scientifiche siano state in grado di dimostrare un importante coinvolgimento del sistema dei neuroni specchio nell'immaginazione. Quest'ultima, appunto, attiva le stesse aree cerebrali che scaricano durante l'osservazione e lo svolgimento in prima persona di un

qualsiasi gesto motorio; queste aree sono la corteccia prefrontale, la corteccia premotoria, l'area supplementare motoria, il giro cingolato, la corteccia parietale e cervelletto ed infine, ma non per importanza la M1.

Per cui, l'esecuzione di un gesto, l'immaginazione e l'osservazione del movimento trovano le radici nelle medesime basi neurali.

Cosa si intende per immaginazione mentale?

La capacità di immaginare gesti od oggetti che, realmente, non sono presenti.

L'immaginazione, tuttavia, deve essere distinta:

- immaginazione motoria; quel processo cognitivo di immaginazione di un gesto del proprio corpo senza un effettivo movimento.
- immaginazione del movimento; il processo che permette al soggetto di immaginare un oggetto in azione.

Inoltre, l'immaginazione può essere diretta, interna, quindi in prima persona, o in terza persona, esterna o visuomotoria.

In quella diretta l'area sensorimotoria specifica è attiva, mentre in quella esterna no.

Infatti, l'osservazione dell'esecuzione di gesti motori effettuati da terze persone va ad attivare il sistema autonomo. Questa immaginazione motoria, per cui, può facilitare l'apprendimento motorio; alcuni studi, inoltre, mostrano l'ottimizzazione dell'esecuzione del movimento in atleti e musicisti in seguito a training di immaginazione motoria.

Si tratta della capacità di rappresentare un'azione senza, però, produrre movimento. L'IM, secondo Decety, 1996, implica che il soggetto percepisca l'esecuzione di un'azione, senza però eseguirla realmente. (Decety, J. 1996)

Il training mentale è una tecnica di allenamento basata sulla simulazione mentale di un compito motorio questa strategia utilizzata con successo nell'ambito della psicologia sportiva per aiutare gli atleti a migliorare le proprie abilità.

La tecnica del mental practice, allenamento mentale, viene sempre più utilizzata in ambito sportivo per migliorare la performance atletica ed è particolarmente indicata per l'apprendimento di sequenze motorie complesse.

La relazione tra musica ed immaginazione motoria non ha ancora prodotto risultati chiari e stabili. Mckennie nel 1990, nello studio condotto, ha documentato un maggiore coinvolgimento da parte dei

partecipanti nel compito immaginativo quando esso si trovava accompagnato all'ascolto di brani musicali. (Cathy H., 1990)

Dorney, nel 1992, ha confrontato la condizione musica e immaginazione con la condizione solo musica. Questi risultati non hanno evidenziato effetti differenziali sulla prestazione. Infine, Pain et al nel 2011, hanno descritto un intervento che combina narrative immaginative e musica in uno studio che ha coinvolto alcuni giocatori di calcio. I risultati hanno evidenziato che la combinazione di musica e immaginazione ha migliorato la performance percepita dai giocatori dopo ogni partita. Inoltre, i giocatori hanno riportato un livello più elevato di flow dopo essere stati sottoposti a questa tipologia di allenamento. (Dorney et al., 1992; Pain et al., 2011)

Nonostante la scarsità di studi sull'uso di musica e di immaginazione motoria è possibile, tuttavia, ipotizzare alcuni potenziali vantaggi di questa combinazione.

Alcuni vantaggi possono essere quelle caratteristiche motivazionali della musica che migliorano la prestazione dell'atleta e lo aiutano ad eseguire meglio e con maggiore compliance il compito immaginativo. Inoltre, è noto che la musica è utile per sostenere ripetizioni necessarie al consolidamento della tecnica durante l'allenamento tradizionale Prest et al, 2004. (Priest et al., 2008, 2004).

Per quanto riguarda l'apprendimento motorio, soprattutto nei più giovani, è fondamentale l'insegnamento dei gesti tecnici di uno sport.

Le tecniche sportive rappresentano abilità motorie che vengono apprese e rese automatiche tramite la ripetizione e l'esperienza.

Queste abilità permettono di raggiungere un determinato scopo con la massima capacità di successo e con il minor dispendio di energia possibile.

Sport diversi richiedono abilità diverse; alcuni sport necessitano di una motricità fine, altri di una coordinazione di movimenti più ampi, che richiedono una abilità grosso motoria. Per cui, gli istruttori e gli allenatori devono comprendere che gli atleti siano unità singolari e individuali, per cui avranno un percorso di apprendimento personalizzato e tempi e modi diversi nell'acquisizione. Dal punto di vista pratico, il compito è duplice. Sono da considerarsi due aspetti: come poter organizzare le sedute di allenamento e applicare le modalità più efficaci per perfezionare la tecnica. Per rendere le abilità tecniche di più semplice apprendimento e acquisizione, è importante che si conoscano tutti i processi che stanno alla base dell'apprendimento motorio, le fasi di apprendimento e le indicazioni didattiche e metodologiche che ne derivano.



L'apprendimento motorio si considera come l'insieme dei processi legati all'esperienza e all'esercizio che determinano cambiamenti e che possono essere permanenti o meno nella prestazione. (Schmidt, Lee, 2014). Non può essere osservato direttamente poiché il cambiamento, in questo caso, è soggettivo, per cui interno alla persona.

Gli esseri umani sono in grado di apprendere in modi straordinari, che permettono loro di acquisire vaste e differenti abilità, dai gesti motori a complessi ragionamenti astratti e concreti.

Tutti i gesti che possono essere compiuti durante la vita di tutti i giorni sono i componenti dell'esperienza che risalta quando si interagisce con il mondo circostante. L'apprendimento motorio comprende differenti fenomeni, meccanismi di livello basso per poter mantenere i movimenti calibrati ed in linea con le decisioni cognitive di livello superiore, come agire in una precisa situazione. (Krakauer et al, 2019)

La differenza che è presente tra prestazione e apprendimento è di vitale importanza; la prestazione è osservabile in un determinato momento, che può essere influenzato da differenti fattori, esterni o interni; l'apprendimento, di contro, è un cambiamento stabile, in tutti quei processi che sottostanno alle abilità.

Ci possono essere due tipologie di approccio per spiegare il controllo motorio e l'apprendimento. La differenza tra le due sta nella considerazione della relazione tra percezione ed azione.

Il primo approccio, quello cognitivista, prevede quei meccanismi di elaborazione di informazioni centralizzati, ovvero stabilisce quei programmi motori che guidano l'azione dando importanza alla memoria.

Il secondo approccio è quello dinamico, che concepisce la percezione come meccanismo diretto, tramite cui il soggetto ricerca nell'ambiente le informazioni che siano utili all'azione, senza dover ricorrere all'utilizzo della memoria.

La base da cui nasce la percezione è la costante raccolta di informazioni che derivano dagli organi di senso.

La percezione, solitamente, è intesa come quel processo che sintetizza dati sensoriali in forme con un determinato significato. Le informazioni possono essere esteroceettive, ovvero che provengono dall'esterno, o propriocettive, cioè interne all'organismo, raccolte, per cui, nell'apparato vestibolare.

Inoltre, le varie strutture di percezione consentono l'elaborazione dei segnali raccolti dall'esterno e la preparazione dell'azione, controllandola una volta avviata. Nelle prime fasi di apprendimento le

informazioni dominanti sono quelle che provengono dalla vista, mentre la sensibilità propriocettiva è maggiore negli stadi avanzati dove prevale il perfezionamento del gesto motorio.

In maniera parallela troveremo altri processi cognitivi, in aggiunta a quelli percettivi, come l'attenzione, che permette di direzionare le risorse mentali verso determinati stimoli; l'anticipazione, cioè la capacità di spostare l'attenzione verso la zona in cui comparirà uno stimolo. Questo permette all'organismo una preparazione anticipatoria a quella che sarà poi l'azione futura.

Importante è anche il riconoscimento di uno schema, di un meccanismo che consente il riconoscimento di un determinato segnale, seppur questo provenga da uno stimolo incompleto.

## 2.4 Performance musicale e inner game method

L'esecuzione musicale garantisce un vasto dominio per lo studio di abilità cognitive e motorie. (Palmer, C. 1997)

la cognizione musicale è una condizione che dipende dall'esistenza di processi che rendono possibile l'individuazione, la memorizzazione e l'organizzazione di materiali musicali in base alle specifiche strutturali che sono alla base.

Le teorie relative alla memoria vanno a citare molto spesso l'esecuzione musicale prendendola come esempio di memoria esperta e molti studi hanno esaminato tutti i fattori che possono giocare un ruolo sulla memoria dell'esecutore. (Gabrielsson, 1999; Palmer, 1997). L'esecuzione della musica può essere considerata come un'abilità cognitiva che richiede un reclutamento molto ampio ed elevato della memoria o, anche, come un'abilità motoria con grandi richieste di esecuzione fisica. Gli studi condotti da Palmer, 1997 e Gabrielsson, 1999 descrivono le dimensioni cognitive della memoria come armonia, tonalità, fraseggio e metro. Le componenti motorie dell'esecuzione vengono conteggiati in dimensioni fisiche come la fluidità, la precisione ritmica, la rapidità e la coordinazione fine delle mani. (Krampe & Ericsson, 1996; Drake & Palmer, 2000).

Tutte le esperienze culturali comuni permettono di sviluppare questi processi in maniera differente e sono necessari scenari di apprendimento, altamente specializzati e impostati per raggiungere quei livelli di competenza richiesti per eseguire correttamente una performance musicale.

L'esecuzione, tuttavia, non è solamente un insieme di abilità tecniche e motorie, richiede, anche, la bravura e la destrezza nel generare esecuzioni diverse, dal punto di vista espressivo, di uno stesso brano musicale, tenendo conto della natura della comunicazione emotiva che questo cerca di esprimere.

Esistono due componenti principali nella realizzazione musicale: una componente tecnica ed una componente espressiva. La prima, quella tecnica, si rifà alla meccanica che sta alla base della produzione di risultati fluenti e coordinati.

Quella espressiva, di contro, deriva da variazioni volontarie dei parametri esecutivi selezionati da chi esegue la musica, proprio per influenzare i risultati cognitivi ed estetici di chi ascolta.

Questi ultimi sono relativi a tempo, intensità e volume.

L'espressività è anche legata alla conoscenza di vari generi musicali.

Le due abilità citate in precedenza, quella tecnica ed espressiva, sono componenti separate; tuttavia, lavorano in sinergia dipendendo l'una dall'altra.

Esiste, oggi, una forte evidenza dove le differenze individuali che si riscontrano nelle abilità tecniche ed espressive risultano fortemente collegate a quelle differenze che si trovano nella quantità di attività di apprendimento svolte.

La correlazione tra la quantità di pratica eseguita ed il livello di risultati ottenuti non implica di per sé che l'esercizio porti, inevitabilmente, al "successo".

Le differenze individuali tra gli esecutori e le esecuzioni musicali sono intricate, così come lo sono i meccanismi psicologici alla base di queste.

L'esecuzione musicale, come attività umana, dipende molto dal coordinamento di conoscenze strutturali. La ricerca psicologica ha contribuito a conseguire una demistificazione della percezione musicale e dell'abilità musicale. Tuttavia, c'è ancora molta strada da fare prima che sia disponibile un resoconto completo dell'esecuzione musicale. (Sloboda J, 2005)

La richiesta di varie abilità e qualità cognitive durante la pratica musicale porta alla luce la possibilità di adottare un protocollo improntato proprio sull'allenamento e la pratica "cognitiva", focalizzandosi sulle caratteristiche fondamentali che possono migliorare l'attività musicale come: La memoria operativa, che può venir potenziata tramite esercitazioni che coinvolgono la ripetizione mentale di passaggi musicali complessi (Baddeley, 2012). Di fondamentale importanza è il miglioramento del mantenimento dell'attenzione e della capacità di riconoscere i pattern musicali. (Zeidan et al., 2010; Koelsch et al., 2002)

Nella possibilità di un'applicazione pratica si può pensare di inserire nei piani di allenamento specifico, delle sezioni dove si suddividono i brani musicali in sezioni più gestibili per andare ad aumentare gradualmente la complessità (Ericsson et al., 1993); si può introdurre l'utilizzo di meccanismi di feedback come registrazioni audiovideo, per monitorare i progressi e i miglioramenti che possono esser richiesti (Hattie & Timperley, 2007). Infine, per favorire una comprensione migliore dei concetti musicali, è consigliabile l'integrazione dell'allenamento cognitivo con la teoria musicale e la storia musicale (Hallam, 2001).

A seconda della tipologia di performance, che sia dinamica o "tempo", i musicisti prediligono rispettivamente una performance individuale ed una di gruppo. (MacRitchie, 2018). Nonostante la performance individuale sia modulata dall'esperienza, l'equilibrio tra le due tipologie non è influenzato dalla parte musicale o dalle istruzioni espressive.

La percezione musicale e la cognizione musicale fanno parte dell'area cognitiva psicologica volta alla determinazione del meccanismo mentale che sottostà l'apprezzamento della musica. L'organizzazione percettiva della musica si rifà alla dimensione del tempo, del ritmo e della metrica.

L'abilità degli adulti, in complesse attività cognitive, come può essere la musica, è comunemente associata al prodotto dell'interazione tra geni e ambiente circostante, dove la predisposizione genetica viene influenzata e modellata dall'esperienza. Tuttavia, in tempi piuttosto recenti, questa tipologia di rapporto tra genetica e ambiente circostante è stata ulteriormente sottoposta a studi.

Di conseguenza, il tempo di esposizione ad una specifica esperienza, come, per esempio, la pratica musicale è stato dimostrato produrre impatti a lungo termine sul comportamento degli adulti e del cervello. (Penhune V, 2022).

L'esecuzione musicale è un compito macchinoso, richiede una precisa organizzazione del sistema sensomotorio delle funzioni cognitive. Grazie ai recenti passi avanti in ambito di misurazioni non invasive della struttura cerebrale e della sua funzione, si è studiato come la plasticità cerebrale a breve termine e a lungo termine sia associata alla formazione musicale. (Miyamae, 2018).

Negli studi condotti da Brown, R.M., 2012, si può notare come l'apprendimento motorio sia in grado, inoltre, di migliorare il riconoscimento uditivo della musica da parte degli esecutori e che è influenzato, molto, dalla capacità di ogni individuo di immaginazione mentale e dalla variazione delle proprietà acustiche. (Brown, 2013)

Il metodo proposto dall'Inner Game, si basa sul concetto che ogni attività svolta dall'essere umano sia divisibile in due macrocategorie: un gioco esteriore ed un gioco interiore.

Questo metodo dell'Inner game (gioco interiore) è un approccio educativo sviluppato da Timothy Gallwey negli anni '70, originariamente applicato nel contesto dello sport, ma successivamente esteso ad altre discipline e ambiti, come la musica, l'arte e la vita quotidiana. L'Inner Game si concentra sullo sviluppo delle abilità mentali e sulla consapevolezza di sé come mezzo per raggiungere prestazioni ottimali e un apprendimento profondo.

L'Inner Game si basa su due concetti chiave:

1. Self 1 (S1) e Self 2 (S2): Self 1 rappresenta la nostra mente analitica, critica e giudicante, che spesso si auto-sabota con pensieri negativi eccessivi. Self 2 rappresenta la nostra mente intuitiva, naturale e istintiva, che è in grado di eseguire azioni senza interferenze eccessive da parte di Self 1.

2. Obiettivo senza sforzo: L'Inner Game promuove l'idea di raggiungere l'obiettivo desiderato senza sforzarsi troppo. Si tratta di permettere al corpo e alla mente di esprimersi naturalmente e di imparare dall'esperienza senza l'ingombrante pressione del giudizio critico eccessivo.

L'Inner Game si concentra sull'eliminazione degli ostacoli mentali che impediscono il pieno potenziale e l'apprendimento efficace. Ciò viene raggiunto attraverso l'attenzione, l'auto-osservazione e la consapevolezza di sé. L'obiettivo è imparare a fidarsi della propria intuizione e delle capacità naturali, permettendo al corpo di eseguire le azioni senza interruzioni da parte della mente critica.

Nel contesto dello sport, ad esempio, l'Inner Game si concentra sull'eliminazione di autogiudizi negativi, sulla focalizzazione dell'attenzione sul momento presente e sull'accettazione degli errori come parte del processo di apprendimento. L'obiettivo è sviluppare una mentalità libera, rilassata e concentrata che favorisca il massimo rendimento.

Oltre allo sport, il metodo dell'Inner Game può essere applicato ad altre discipline, come la musica, l'arte e la vita quotidiana. Ad esempio, nell'apprendimento musicale, l'Inner Game può aiutare gli studenti a superare l'ansia da prestazione, a sviluppare la consapevolezza corporea e a migliorare la concentrazione e l'interpretazione musicale.

Se si perde la destrezza nell'utilizzare capacità che molto spesso si trascurano, il successo dell'"outer game" può non solo diminuire, ma addirittura limitare il vero potenziale di un soggetto.

Questo metodo rivela un approccio che ha come scopo l'accelerazione dell'apprendimento e del successo. Cerca di mettere alla prova chi lo utilizza, cerca di porre l'attenzione sulle motivazioni che portano un determinato soggetto a fare ciò che fa e lo aiuta a definire i termini della performance.

Il primo passo importante da compiere quando si vuole approcciare il metodo dell'"inner game" è capire che all'interno di ogni essere umano sono presenti due personalità, denominate "Self 1 e Self 2". Il Self 1 rappresenta l'ego, la mente conscia. Il Self 2, invece, è l'essere umano stesso. Quest'ultimo rappresenta la personalità più amata da bambini, poiché abbraccia la nostra innata capacità di imparare e di crescere e far sbocciare tutti quei potenziali con i quali siamo nati.

Secondo i risultati esposti dal libro di Tim Gallway, "The Inner Game of Music", i nostri migliori risultati li raggiungiamo quando la voce del Self 1 è silente, in sordina, od occupata e, dunque, il Self 2 è in grado di svolgere ciò che è già in grado di fare naturalmente o, eventualmente, osservando gli altri.

Quando, invece, la situazione è ribaltata e quindi vediamo il Self 1 prendere il comando, questo provvederà ad un'eloquente risma di commenti su tutto ciò che il Self 2 sta eseguendo, molto spesso con un tono piuttosto critico.

Difatti, la formula che può esprimere a pieno il concetto di Inner Game è proprio  $P = p - i$ , dove P indica la Performance, p indica il potenziale e, infine, I indica l'interferenza.

Il fine ultimo di questo metodo, dell'Inner Game è quello di ridurre ogni tipologia di interferenza possibile portando alla scoperta e all'espressione del potenziale di ciascun soggetto.

Molto spesso, in ambito musicale, con questa metodica si aspira ad avere il controllo di lasciare andare. Nell'esempio riportato da Gallway nel suo libro, molti giovani professionisti sono mossi da preoccupazione con un bisogno di cercare di compiacere i giudici ad un'audizione e sono legati, strettamente, all'idea di vincere rispetto a lasciare andare ciò che nella musica rispecchia la loro vera e naturale abilità nell'eseguire la stessa.

Quando applicato alla musica, questa tecnica, cerca di superare le distrazioni che possono essere presenti tra l'essere al top, di chi suona, chi fa allenamento, chi insegna e chi performa. Le distrazioni possono, anche, assumere l'aspetto di una voce interiore che è intenta a controllare le nostre azioni e portare la nostra attenzione in altre direzioni, differenti dalla musica. Questi diversivi, tuttavia, possono venire meno se si lascia andare la voce interiore del Self 1, e ci si focalizza su differenti aspetti della musica che si sta suonando.

Quando si prova, il sistema neurologico e il cervello lavorano similmente ad un'elaboratrice di tipo cibernetico, che immagazzina informazioni e le riporta in superficie al momento del bisogno. Non avrebbe molto senso programmare un computer con un margine di errore molto elevato; dunque, provare potrebbe giovare all'insorgenza di errori? Quando un soggetto si aspetta che il proprio corpo ricordi tutto ciò che ha vissuto, allora perché non provare solamente ciò che si riprodurrà sul palco, durante l'esibizione? Con un ritmo più lento, si può fare tutto. Non si riprodurrebbero note errate, e si manterrebbe, tuttavia, la dinamica.

Le tecniche provenienti dall'Inner Game funzioneranno se utilizzate per connettere il soggetto alla musica, non al successo.

Molte volte, soprattutto tra i musicisti, ma non solo, è solito trovare situazioni di stress, ansia, perdita di memoria, frustrazione e respiro corto.

Questi "sintomi" sono classici dello stato di confusione. Il metodo I.G., anziché andare a trattare direttamente queste sensazioni, cerca di acquisire uno stato ideale di concentrazione rilassata.

In sintesi, il metodo dell'Inner Game è un approccio educativo che mira a sviluppare la consapevolezza di sé, l'auto-osservazione e la fiducia nelle capacità naturali per raggiungere prestazioni ottimali e un apprendimento profondo. Si concentra sull'eliminazione degli ostacoli

mentali e sulla creazione di uno stato di mente rilassato, concentrato e libero da giudizio critico eccessivo. (Gallwey, W.T., 2015; Cockey, L. 1998).



## 3 CAPITOLO 3

### 3.1 Il Tennis

Le origini del tennis trovano origine nel Medioevo, in Francia, dove si era diffuso in maniera importante il Jeu de Pauli. Questo sport si svolge su di un campo rettangolare, diviso a metà da una rete e possono esserci due o quattro giocatori a seconda della natura dell'incontro. In Italia, il primo circolo tennistico nacque a Bordighera nel 1878 e, a mano a mano, si diffusero sempre di più.

Il tennis è un gioco che richiede un'elevata coordinazione neuromuscolare, essendo un gioco ad alto contenuto tecnico. Questa coordinazione può realizzarsi tramite differenti meccanismi, come per esempio: la percezione esatta della posizione del corpo e dei suoi segmenti nello spazio; la possibilità di correggere l'esecuzione del movimento nel corso del movimento stesso.

La coordinazione muscolare e neurologica rispecchia in maniera univoca il ruolo fondamentale del cervelletto. Quest'ultimo, infatti, ha una grande influenza per quanto riguarda l'apprendimento e l'esecuzione di un determinato gesto motorio.

Il gesto che molto spesso viene riportato come massima espressione del ruolo del cervelletto è quello del servizio. Infatti, il neofita, si trova molto spesso in difficoltà nelle prime prove nel lancio della pallina e, soprattutto, nel momento di colpirla nuovamente.

Tuttavia, con la ripetizione del gesto questo migliora, poiché proprio il cervelletto si occupa di correggere questi errori primari, tramite la ripetizione dei tentativi tenendo conto degli sbagli commessi.

Il tennis, oltre alle abilità motorie richiede diverse abilità psicologiche. Una di queste è la motivazione, che è alla base delle prestazioni tennistiche. Il tennis, differenziandosi da altri sport, non prevede sostituzioni, time-out, intervento dell'allenatore durante la partita, e spesso, non sono presenti seconde possibilità. Per questo motivo, i giocatori sono tenuti ad adattare il proprio gioco costantemente alle variabili condizioni. Tenendo in considerazione questi fattori, risulta chiaro perché la motivazione diventa importante durante le fasi di sviluppo del giocatore. (Crespo et al., 2007)

Per quanto riguarda le regole di gioco, partiamo dalla descrizione del campo.

Il campo è un rettangolo di m 23, 77 di lunghezza e di m 8,23 di larghezza, per gli incontri di singolare. Per gli incontri di doppio, invece, è largo m 10, 97.

È diviso a metà da una rete, montata in modo da riempire completamente lo spazio compreso tra i due pali.

Da ciascun lato della rete sono segnate le linee di battuta. Lo spazio fra la linea di battuta e le linee di lato viene chiamato campo di battuta, questo è diviso in 2 parti uguali e la linea che divide è detta "linea centrale di battuta". Quando si gioca per i campionati

internazionali lo spazio dietro ciascuna linea di fondo non deve essere minore di 6,40 metri e ai lati almeno 3,65 metri. Se la palla dovesse rompersi, il colpo sarebbe considerato "nullo". Il tennis si gioca sempre colpendo la palla con la racchetta, la palla deve passare sempre sopra la rete.

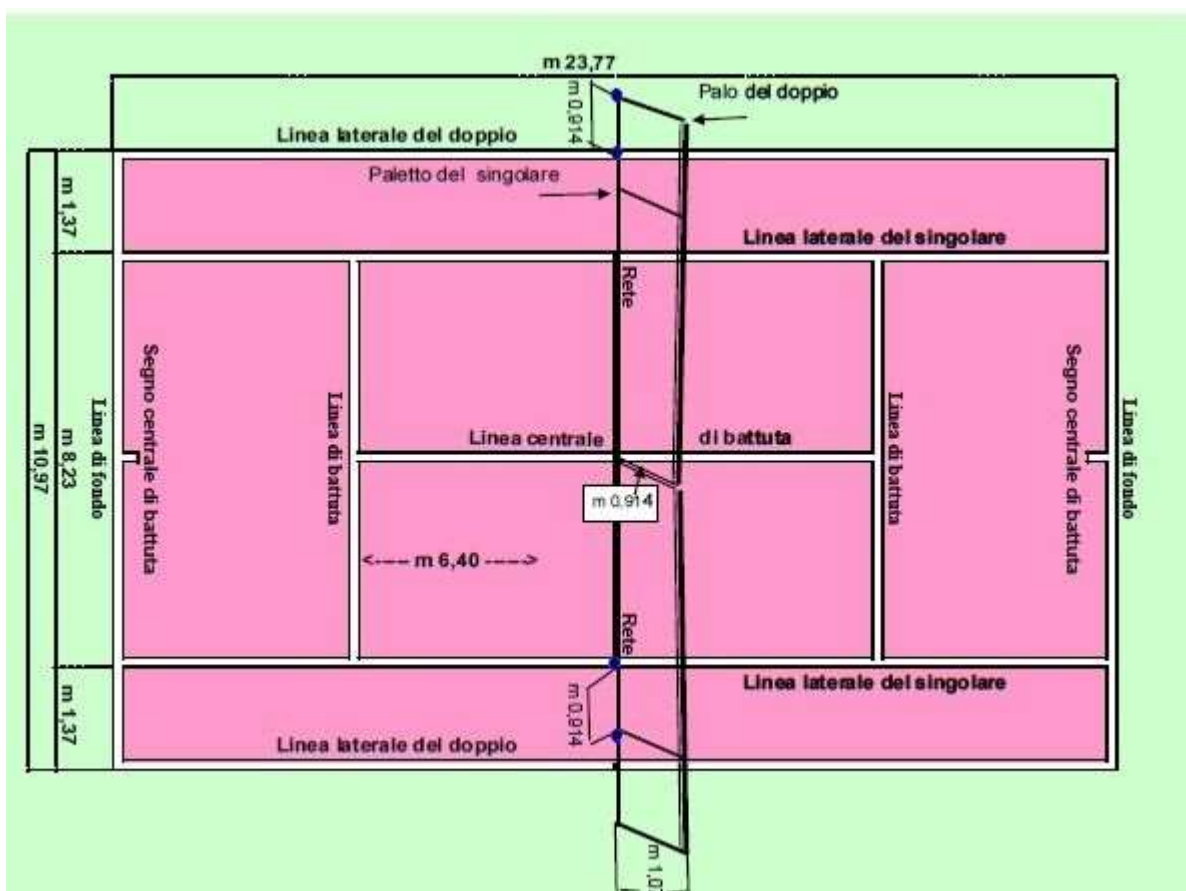


Figura-6. Rappresentazione di un campo da tennis

Il giocatore perde il punto se:

- non manda la palla al di là della rete
- se rimanda la palla in modo che essa cada, fuori del campo di gioco avversario
- se tira la palla in rete
- se tocca la palla con la racchetta più di una volta
- se colpisce la palla che non ha ancora attraversato la rete.

Ci sono colpi fondamentali nel tennis:

- il dritto (top spin – back spin o slice)
- il rovescio (top spin – back spin o slice)
- il servizio e la risposta
- la voleé (di diritto e rovescio).

Una partita di tennis può svolgersi a due o quattro giocatori.

I campi da tennis vengono realizzati in materiali differenti: terra battuta rossa, cemento, asfalto, erba e soprattutto tappeti sintetici sui quali si svolgono quasi tutti gli incontri al coperto. L'organizzazione Internazionale del tennis fa capo alla grande ITF (Federazione Internazionale di tennis), cui sono affidate le federazioni nazionali di tutti i Paesi del mondo. I giocatori professionisti non dipendono dalle federazioni nazionali ma possiedono contratti firmati. Il tennis OPEN ha portato importanti conseguenze. Un ruolo importante nella nuova organizzazione è stato svolto dalla società texana WCT (World Championship Tennis), che dal 1971 ha organizzato un vero e proprio circuito di tornei. Un altro cambiamento si è registrato nel 1989, quando i giocatori professionisti hanno rafforzato la loro associazione, sottraendosi all'ITF. Tra i maggiori tornei del mondo si segnala in particolare quello di Wimbledon che sin dal 1877 si disputa sui campi erbosi dell'”*All England croquet and lown tennis club*”, circolo fondato nel 1865 nei sobborghi di Londra.

Nel mondo del tennis viene definita grande slalom la vittoria riportata in questi tornei durante la stessa stagione. Solo pochi atleti sono riusciti nell'impresa. Anche in Italia esiste un campionato internazionale che si disputa ogni anno nel Foro italico di Roma.

Le competizioni tennistiche avvengono annualmente e si disputano all'aperto, su varie superfici di gioco, ognuna di queste richiede movimenti specifici e caratteristici dovuti alla velocità, ammortizzazione ed attrito che vengono restituiti al giocatore e alla pallina durante le differenti fasi di gioco.

Il Tennis ha fatto parte del programma dei Giochi olimpici estivi sin dalla nascita del movimento Olimpico moderno ai Giochi della Prima Olimpiade nel 1896. È stato poi escluso a partire dai Giochi della IX Olimpiade del 1928 per rientrarne ai Giochi della XIX Olimpiade di Città del Messico del 1968, ma solo come torneo d'esibizione. Con i Giochi di Seoul 1988 il tennis è tornato ad essere ufficialmente uno sport olimpico, da Pechino 2008 il torneo è entrato a far parte del calendario ufficiale ATP e WTA equiparato nel primo caso ad un torneo di livello ATP Masters Series/ATP World Tour Masters 1000 e nel secondo ad un Tier I/Premier. Vi prendono parte 64 tennisti nel singolo e 32 coppie nel doppio. Per quanto riguarda la formula del torneo, nella prima edizione furono

disputati solamente i tornei di singolare e doppio maschile, a partire da Parigi 1900 vennero introdotti gli stessi tornei a livello femminile e il torneo di doppio misto. Nel 1904 si tornò ai soli tornei maschili, quattro anni dopo furono invece assegnate anche medaglie a livello indoor di ambo i sessi ad esclusione del doppio femminile a cui nel 1912 si aggiunse il ritorno del doppio misto anche indoor. Nel 1920 e 1924 il programma trovò una certa stabilità con l'assegnazione di medaglie in doppio e singolare maschile, femminile e misto con l'eliminazione dei tornei indoor. La stessa formula venne utilizzata al rientro del tennis nel programma olimpico nel 1968, anche se solo come sport dimostrativo, sedici anni dopo vennero giocati solo incontri di singolare sia maschile che femminile. Con il ritorno nel programma ufficiale nel 1988 si è tornati ad una formula simile a quella degli anni Venti ad eccezione dell'assenza del torneo di doppio misto, che è stato reintegrato a Londra 2012. Ad eccezione delle edizioni del 1896, 1900, 1904, 1988, e del 1992, quando veniva assegnata la medaglia di bronzo a tutti i semifinalisti sconfitti, in tutte le altre occasioni è sempre stata prevista una finale per il bronzo.

I giocatori di tennis di alto livello rendono il gioco molto fluido, e trasmettono un'immagine di uno sport quasi privo di sforzi. Ma non è così.

I grandi tecnici possono aiutare a migliorare la tecnica, ma bisogna tener presente che sono presenti moltissime differenze individuali, anche a livelli professionistici.

Una tecnica corretta, tuttavia, può essere ottenuta solo nel caso in cui si producano tutti i movimenti necessari con un arco di movimento richiesto per rendere ottimale il posizionamento e l'esecuzione del colpo.

Questo sport, infatti, richiede diverse caratteristiche fisiche, come la forza, la flessibilità, la resistenza, la potenza e la velocità.

Tutte queste componenti richiedono un ben allenato sistema muscoloscheletrico.

Il tennis è uno sport longevo, e uno dei principali obiettivi è quello di continuare a migliorare la performance mantenendo una percentuale bassa di infortuni, in ambito amatoriale così come in ambito professionistico. Il miglior modo per far ciò è allenare in maniera efficace ed usare la giusta tecnica, cercando di produrre il colpo più efficace ed efficiente.

Conseguentemente al tipo di sforzo fisico richiesto nella pratica del tennis l'atleta ectomorfo con delle buone qualità aerobiche e di sprint risulta avvantaggiato sugli altri somatotipi.

### 3.2 Il modello prestativo nel tennis

Le corrette abilità di movimento sono cruciali per un tennis di successo. Perché il giocatore possa essere vincente è necessario essere in grado di ricevere nel tempo giusto, se non in anticipo, la pallina e posizionarsi in modo appropriato. Tendenzialmente, ciò può trovare un semplice aggiustamento nei passi una volta che viene riconosciuto lo schema, il ritmo e la velocità di crociera della palla. Infatti, il tennis molto spesso viene considerato come un gioco di emergenza, poiché coinvolge movimenti costanti, brevi scatti veloci e frequenti cambi di direzione.

Statisticamente parlando, per ogni punto giocato si parla da 3 a 5 cambi di direzione ed è comune per i giocatori arrivare ad eseguire più di 500 cambi direzionali durante una singola partita o allenamento. Gli incontri, infatti, possono durare diverse ore per cui è richiesta una buona capacità aerobica, ma la presenza di brevi scatti, movimenti esplosivi e cambi direzionali chiamano in azione anche il meccanismo anaerobico.

Un incontro di tennis non ha una durata prestabilita in quanto la vittoria sull'avversario si ottiene con il raggiungimento di un determinato punteggio. In media una partita può durare da un minimo di 45 minuti ad oltre le 2 ore a seconda che si stia giocando una partita al meglio di 3 set o di 5. Alcune partite che sono state giocate in passato hanno avuto la durata di oltre 5 ore. Mediamente un tennista corre da 4 a 8 chilometri a partita e la maggior parte di questo spazio viene percorsa in diverse direzioni, lateralmente, frontalmente, diagonalmente e all'indietro. Ogni scambio dura mediamente dai 3 ai 10 secondi con delle brevi pause di 20s tra un punto e l'altro in cui si dà il tempo ai giocatori di rimettersi in posizione per il punto successivo. Quando la somma dei game è dispari e nel frangente di gioco tra un set e l'altro si ha una pausa di maggior durata che permette ai giocatori di riposarsi per un massimo di 90s per la pausa tra game e 120s per la pausa tra sets. Un giocatore di tennis in un match esegue dai 300 ai 500 scatti.

Dopo i palleggi di riscaldamento avviene un brusco incremento della FC e in meno di due minuti passa da circa 85 bpm a 140 bpm. A 15 minuti dall'inizio dell'incontro i valori di FC oscillano in un range intorno ai 180 bpm. Il recupero tra un punto e l'altro è scarso e sottolinea come l'ingaggio aerobico di questo sport sia alto.

La tipologia del lavoro, dunque, può essere aciclico o intermittente. Di conseguenza, i meccanismi energetici interpellati saranno aerobici e anaerobici, lattacidi e alattacidi.

Il tennis è una disciplina sportiva intermittente, ad intensità "stop and go", poiché i movimenti eseguiti sono molto rapidi ed intensi, seguiti da numerose pause brevi.

Importanti risultano, quindi, le capacità motorie richieste: forza, velocità, potenza, agilità, resistenza, flessibilità, precisione.

Questo sport richiede inoltre un'alta gestualità e colpi molto tecnici, implicando movimenti ed azioni su diversi piani di lavoro.

I gesti tecnici di base sono: il diritto, colpo che viene eseguito ogni qualvolta la palla venisse colpita alla destra o alla sinistra, dopo il rimbalzo; il rovescio, quando la palla viene colpita alla sinistra del giocatore o alla destra nel caso di giocatori mancini. Può essere eseguito impugnando la racchetta con una o due mani; il servizio, che deve essere effettuato dal giocatore non in movimento ed oltre la linea di fondo del campo di gioco; il colpo al volo: La volée si effettua colpendo la palla al volo.

La ripetizione costante di colpi ed impatti della racchetta sulla palla possono causare ripercussioni a carico del sistema muscoloscheletrico e muscolo tendineo dell'arto superiore. Inoltre, altrettanto usuranti possono risultare i numerosi e ripetitivi cambi di direzione che provocano grande stress sull'articolazione tibiotarsica.

Inoltre, il modello prestativo del tennis prevede molte componenti che coinvolgono l'impegno metabolico, sportivo, biomeccanico e soprattutto mentale e cognitivo.

Per quanto riguarda l'impegno metabolico, il tennis è uno sport fisicamente impegnativo che richiede una buona resistenza cardiorespiratoria e una forza muscolare adeguata. Gli atleti devono essere in grado di mantenere un alto livello di intensità durante i punti, gli scambi e i match. L'impegno metabolico richiede un'adeguata preparazione fisica, compresi l'allenamento cardiovascolare, l'allenamento di resistenza e il lavoro specifico dei muscoli impiegati nel tennis, come gli arti inferiori, gli arti superiori e il core.

Il tennis richiede una preparazione specifica delle abilità tecniche e tattiche. L'impegno sportivo si riferisce all'allenamento e allo sviluppo delle abilità tecniche del tennis, come il servizio, il diritto, il rovescio e il gioco di volo. Ciò include anche l'addestramento tattico, come la comprensione dei vari stili di gioco, la strategia di match e la capacità di adattarsi alle diverse situazioni di gioco. L'impegno sportivo implica l'allenamento regolare, la pratica mirata e la partecipazione a competizioni per affinare le abilità tecniche e tattiche. Questo sport richiede movimenti complessi e coordinati che coinvolgono tutto il corpo. L'impegno biomeccanico riguarda l'efficienza dei movimenti tecnici nel tennis, come il corretto uso dei segmenti corporei, l'allineamento posturale, il bilanciamento e il coordinamento. L'analisi e la correzione delle biomeccaniche del gioco, come il posizionamento del corpo, l'uso del peso corporeo e la rotazione del busto, possono aiutare a ottimizzare l'efficacia dei colpi e ridurre il rischio di infortuni.

Infine, di fondamentale importanza all'interno del seguente elaborato è l'impegno che riguarda la sfera e la componente mentale-cognitiva. Questa, nel tennis è di fondamentale importanza. Coinvolge la gestione dello stress, la concentrazione, l'attenzione, la pianificazione strategica, la presa di decisioni rapide e la resilienza emotiva. L'impegno mentale-cognitivo richiede la capacità di rimanere concentrati e presenti nel momento, di adattarsi alle circostanze mutevoli del gioco e di mantenere una mentalità positiva e fiduciosa. L'allenamento mentale, come la visualizzazione, la gestione dell'ansia e le strategie di controllo delle emozioni, può essere parte integrante dell'impegno mentale-cognitivo nel tennis.

L'integrazione di queste componenti nel modello prestativo nel tennis contribuisce a massimizzare le prestazioni e l'efficacia nel gioco. L'allenamento equilibrato, che comprende sia l'aspetto fisico che mentale, è essenziale per ottenere risultati ottimali nel tennis. Gli atleti che si impegnano in modo completo e dedicato in tutte queste componenti avranno una solida base per affrontare le sfide del gioco e raggiungere il loro potenziale massimo. (Rossi et al., 2007; Pachera, A; Davico, C. 2019)

### 3.3 L'allenamento cognitivo nel tennis

L'importanza dei rapporti presenti tra le abilità attentive e di concentrazione e la performance sportiva sono state enfatizzate e trattate maggiormente nella letteratura, in tempi relativamente recenti, 1981, 1985, 1986. In generale, in letteratura si è sempre concordato sul fatto che la performance dello sport riportava i segni di una debole concentrazione e di deboli capacità di attenzione.

Ogni qualvolta cambiasse la richiesta sportiva, era necessariamente in mutamento anche il focus attentivo dell'atleta. Per cui, molti sport richiedevano una flessibilità dell'attenzione elevata da parte degli atleti. (Krug, M. 1999; Nideffer, R. M. 1976; Tenenbaum et al., 2007)

Nello studio proposto da Kevin L. Burke, nel 1988 si ricerca ed indaga l'effetto delle tecniche di allenamento di concentrazione nell'aumento delle capacità di attenzione legate al servizio nel tennis e come significato della riduzione dell'ansia da competizione sportiva in tennisti professionisti, avanzati. (Weinberg et al., 2003; Burke, K. L. 1988)

Viene esaminato anche l'effetto di un training con focus sull'attenzione durante la performance nell'esecuzione e nella precisione del servizio.

I soggetti che sono stati esaminati in questo studio erano sia di sesso maschile che femminile, di livello avanzato, che rientravano in un range di età che andava dai 13 ai 44 anni. Il gruppo sperimentale e quello di controllo si sono presentati su due sedute. L'esecuzione dell'allenamento incentrato sulla concentrazione era basata su procedure di meditazione ma specificatamente improntate sul tennis. Le sedute di test si sono protratte per circa due settimane, per un totale di ventotto sedute.

Successivamente, è stato sottoposto un questionario relativo all'allenamento sull'attenzione, cognitivo, per poter analizzare i soggetti dell'esperimento e le loro percezioni dell'efficacia di tecniche cognitive. Le implicazioni dei risultati in questo studio indicano che i benefici proposti da un allenamento cognitivo non dovrebbero essere proclamate o rinnegate prima della conduzione di ulteriori ricerche relative a questo ambito.

Tuttavia, l'aspetto mentale nel tennis è importante, più che in ogni altro sport. Quando si gioca a tennis, è importante sfruttare la mente per poter acquisire uno stato di tranquillità ma allo stesso tempo essere attenti e vigili per poter esprimere al meglio le proprie possibilità.

Il tennis risulta essere uno degli sport più intensi sotto la forma mentale proprio per le sue caratteristiche. Si tratta di uno sport "open skill" e, così, come in ogni altro sport di situazione il soggetto è impegnato ad affrontare costantemente stimoli e realtà mutevoli, a cui deve rispondere



velocemente con gli schemi motori adeguati. È uno sport individuale e non possono esserci sostituzioni, non esistono limiti di tempo e possono esserci molte interruzioni dovute alle regole del gioco e la pressione non si attenua fino alla conclusione del match poiché il risultato può variare fino all'ultimo punto. Infatti, il mental coaching consiste in un allenamento di abilità mentali tramite una serie di tecniche e pratiche che puntano a controllare e cambiare determinati comportamenti ed esperienze mentali dell'atleta verso il raggiungimento del potenziale massimo.

Uno dei fondamentali punti riguardanti l'aspetto cognitivo del tennis è la focalizzazione della palla. L'impatto della palla con la racchetta è il momento più importante in cui la mente con tutta la sua forza gestisce la paura di commettere errori e insicurezza.

Visualizzare la palla che si approccia alla nostra racchetta, superando la rete ed iniziando la parabola discendente, tocca il campo e risale al punto di impatto davanti a noi, è molto importante.

Quando si focalizza la palla e si è presenti nel gioco, il corpo raggiunge un livello di attenzione e consapevolezza che permette di sapere cosa accade intorno, i movimenti dell'avversario, il punto in cui si indirizza il colpo senza esserne, tuttavia, distratti.

Si raggiunge, quindi, uno spazio dove si è consapevoli di tutto ciò che sta accadendo nel campo intorno a noi, senza avere, tuttavia, una tensione che abbassa la performance.

Il metodo di focalizzare la palla è utile anche sotto l'aspetto tecnico, poiché fornisce informazioni di cui si necessita e rafforza la sicurezza nei colpi. La focalizzazione permette inoltre di rallentare "la traiettoria" della palla all'interno della nostra percezione.

La tecnica della visualizzazione viene considerata dai mental coach una delle primarie abilità cognitive che gli atleti sono in grado di sviluppare per aumentare il rendimento della loro performance sportiva. Questa tecnica dimostra una grande utilità sia nell'apprendimento di un atto motorio, poiché dà il via a quei processi utili alla reale esecuzione, ma anche nella preparazione ad una competizione perché grazie allo sfruttamento dell'immaginazione l'atleta può elaborare strategie, tattiche e risposte motorie ad eventi che non sempre sono prevedibili.

In letteratura, sono presenti molti riferimenti ad un allenamento ed un riscaldamento formato anche da una parte neurale e cognitiva, che porta ad effetti positivi sulla successiva sessione di allenamento regolare di tennis.

Infatti, l'inserimento di una sessione di allenamento neuromuscolare prima della seduta di allenamento permette di migliorare molte qualità come il salto, lo sprint e la potenza degli arti

superiori del corpo, fondamentali nella pratica del tennis. Invece, l'esecuzione di queste stesse sessioni di esercizi dopo l'allenamento tennistico non è sostenuta dagli stessi miglioramenti.

Tuttavia, i molti studi sono caratterizzati da alcune limitazioni come l'assenza di misurazioni fisiologiche, come possono essere l'elettromiografia o la rigidità muscolare, per cui sono possibili solamente alcune supposizioni e tutti gli adattamenti indotti da un allenamento neuromuscolare rimangono ipotetici. Secondo i risultati ottenuti da studi condotti da Fernandez et al, 2018, è possibile supporre che allenatori ed esperti di Strength and Conditioning vadano ad utilizzare un protocollo neuromuscolare e cognitivo in una fase di Warm Up, specifico per tennisti. Questo riscaldamento è caratterizzato da una sessione di lavoro di intensità molto bassa, e dovrebbe includere esercitazioni di mobilità generale e specifica, esercizi di stabilità del core e lavori per le articolazioni più sollecitate nella pratica sportiva. Nella sessione di riscaldamento cognitivo verrà inserita una combinazione di pratiche come la pliometria. (Fernandez-Fernandez et al., 2018)

Coloro che praticano attività sportive si troveranno ad affrontare carichi mentali e fisici. Una delle metodologie per poter ridurre l'impatto di questi carichi è eseguire esercitazioni o allenamenti che vadano a contrastare i fattori che li causano. Molto spesso, purtroppo, ci si concentra maggiormente su esercitazioni di fitness o allenamento che vada a toccare aspetti tecnico-tattici specifici della pratica sportiva. Tuttavia, è molto importante anche l'aspetto cognitivo, come detto, primariamente; infatti, l'allenamento mentale e l'osservazione dell'azione come metodologia di allenamento, sono concetti che l'atleta deve applicare e comprendere nel proprio programma di allenamento, oltre a quello classico regolare.

Quando si realizza un protocollo che comprende tecniche di osservazione dell'azione è fondamentale includere alcuni punti. Il primo punto è la possibilità per chi osserva di riconoscere l'origine biologica del movimento che si sta visualizzando. Infatti, i meccanismi di risonanza motoria, ovvero quei processi che sono alla base della tecnica dell'apprendimento osservativo, possono essere attivati solo quando l'osservatore è in grado di creare una mappa mentale della cinematica che sta osservando, e tradurla in una propria legge di movimento (Bisio et al., 2010).

Tuttavia, non è esclusivo degli atleti elitari poiché non toglie la possibilità di apprendere nuovi schemi motori. La legge di movimento, infatti, si applica a tutte le tipologie di gesti, indipendentemente dall'esperienza che si possiede.

Ad esempio, un principiante dello sport del tennis riconosce come biologico il movimento eseguito da Roger Federer, anche se non è in grado di maneggiare in maniera ottimale una racchetta da tennis.

Inoltre, è importante il contesto in cui avviene il movimento preso in considerazione. Si è dimostrato come, qualora il contesto sia ambiguo per il soggetto e differisca da ciò che il soggetto si aspetta, i meccanismi di risonanza motoria potrebbero non essere ottimali per l'apprendimento motorio. (Amoruso & Urgesi, 2016).

Il lavoro cognitivo supporta l'immaginazione, infatti ciò che viene definito come cambiamento del comportamento nell'allenamento cognitivo è il riflesso di quel processo di apprendimento che avviene nella mente.

L'allenamento mentale, quando combinato all'allenamento fisico distinto, può portare risultati che sono più positivi rispetto a non combinare i due metodi. L'apprendimento cognitivo e l'allenamento di immagini portano un impatto notevole sulle capacità di colpo nel tennis. Questa tipologia di esercizio mentale, oltre a migliorie in ambito fisico, porta un giovamento anche nell'apprendimento di abilità motorie. inoltre, l'allenamento fisico combinato con lo studio dell'allenamento mentale è più efficace dell'allenamento mentale o fisico presi in singola dose, e, dunque, è consigliato inserire nella stesura di una programmazione di un macro-ciclo, l'allenamento mentale, seguito da sessioni di allenamento fisico. Con l'aiuto di metodi di apprendimento fondati sulla cognizione si può ottenere un miglioramento sulla durata dell'acquisizione sia sul perfezionamento della tecnica. (Turan et al., 2019)

### 3.4 Neuroni specchio e miglioramento della performance tramite tecniche di visualizzazione

I neuroni specchio e l'allenamento cognitivo svolgono un ruolo significativo nella pratica del tennis, influenzando l'apprendimento motorio, la comprensione degli avversari e il miglioramento della performance complessiva. Ecco una panoramica del ruolo, della scoperta, dell'importanza e della didattica dei neuroni specchio e dell'allenamento cognitivo nel tennis.

I neuroni specchio sono una classe di neuroni che si attivano sia quando eseguiamo un'azione che quando osserviamo qualcun altro eseguirla. Nel contesto del tennis, i neuroni specchio giocano un ruolo fondamentale nell'apprendimento motorio, consentendo ai giocatori di imitare e apprendere i movimenti tecnici corretti osservando modelli di alto livello, come giocatori professionisti. L'attivazione dei neuroni specchio durante l'osservazione di un colpo di tennis eseguito da un esperto può facilitare l'apprendimento motorio e migliorare la precisione, la fluidità e l'efficacia del proprio gioco.

L'importanza dei neuroni specchio nel tennis risiede nella loro capacità di facilitare l'apprendimento motorio attraverso l'osservazione di modelli di riferimento. Oltre ai neuroni specchio, l'allenamento cognitivo svolge un ruolo cruciale nel tennis. Infatti, gli effetti positivi della combinazione di MI e prestazioni fisiche sono state dimostrate in un recente studio in cui Dominique et al. (2022) hanno dimostrato gli effetti favorevoli di una routine pre-prestazione che consiste in esercitazioni di respirazione, rimbalzi della palla e MI, eseguita prima del servizio.

L'allenamento cognitivo mira a sviluppare le abilità cognitive necessarie per prendere decisioni rapide e precise, migliorare la concentrazione e la percezione spaziale, nonché gestire lo stress e mantenere la calma durante i punti critici del gioco. L'allenamento cognitivo può coinvolgere esercizi di visualizzazione mentale, concentrazione, attenzione selettiva e controllo emotivo.

Le potenzialità di un allenamento basato sull'utilizzo delle neuroscienze può essere tradotto in un possibile protocollo strutturato, volto al miglioramento delle abilità e qualità fondamentali della disciplina, come la capacità di elaborare le informazioni, prendere rapide decisioni e mantenere la concentrazione.

Per poter ottimizzare la percezione visiva è fondamentale coinvolgere alcuni esercizi che includano il riconoscimento di pattern e l'anticipazione dei movimenti dell'avversario (Abernethy et al., 2012).

Inoltre, lo sviluppo delle abilità di processo decisionale in tempi molto brevi è reso possibile tramite la simulazione di scenari di gioco e l'allenamento della consapevolezza tattica (Mann et al., 2007).

In prospettiva delle possibili applicazioni pratiche si può pensare di integrare questo tipo di allenamento in esercitazioni tennistiche per migliorare lo status dell'atleta sotto tensione (Farrow & Abernethy, 2002), inserire strumenti di analisi video per esaminare e valutare le prestazioni, evidenziando possibili lacune o le aree in cui le abilità cognitive possono migliorare ed infine implementare esercizi di "resilienza" mentale come la visualizzazione ed il self-talk (Jones et al., 2007), molto improntato sui principi dell'Inner Game.

Questo protocollo enfatizza l'importanza dell'integrazione dell'allenamento cognitivo nell'insegnamento della musica e del tennis. Attraverso l'applicazione di strategie basate su evidenze scientifiche, gli individui possono potenziare le loro abilità cognitive e, di conseguenza, migliorare le prestazioni in entrambe le discipline. Inoltre, si evidenziano i potenziali vantaggi dell'apprendimento interdisciplinare, dove gli aspetti cognitivi di una disciplina possono arricchire quelli dell'altra. Ad esempio, un tennista che pratica la musica può notare miglioramenti nella sua capacità di concentrazione e di prendere decisioni rapide in campo, mentre un musicista può beneficiare del migliorato controllo dell'attenzione e delle abilità di riconoscimento dei pattern apprese attraverso il tennis

Didattica dei neuroni specchio e dell'allenamento cognitivo nel tennis: Nel contesto della didattica del tennis, l'utilizzo dei neuroni specchio può essere integrato attraverso l'osservazione di giocatori esperti, seguita da esercizi di imitazione guidata e pratica mirata per sviluppare le abilità tecniche corrette. L'allenamento cognitivo può essere integrato attraverso esercizi specifici volti a migliorare la concentrazione, la percezione spaziale e la capacità di prendere decisioni rapide durante il gioco.

Per quanto riguarda l'immagine mentale e il tennis come proposta di lavoro, Morais e Gomes (2019) hanno sviluppato, nei tennisti, una preparazione sistematica comportamentale e cognitiva, prima del servizio, che andasse ad includere la concentrazione e la pratica di Mental Imagery (MI), immaginando di colpire esattamente dove volevano. Importante è stato, anche, l'individualizzazione e l'automatizzazione della routine durante l'allenamento. Grazie allo studio di Guillot nel 2013, si è valutato se un focus esterno durante la pratica di Immaginazione Motoria contribuisse o meno a migliorare la prestazione del servizio nel tennis. Tramite un test a 12 tennisti di alto livello, svolto tramite la valutazione degli effetti di un allenamento regolare e di conseguenza la valutazione degli effetti di intervento della MI durante cui si sono concentrati mentalmente sulla traiettoria della palla e hanno visualizzato lo spazio della rete dove il servizio può eseguirsi con successo. I risultati hanno dimostrato un aumento dell'accuratezza e velocità durante il servizio dopo una pratica con MI. I dati successivi hanno confermato l'efficacia della Motor Imagery in combinazione con la pratica fisica.

Inoltre, Bisio et al. (2014) hanno riscontrato, in tennisti esperti, che la durata di un gesto immaginario era simile a quella dello stesso gesto eseguito fisicamente tenendo in mano la racchetta, mentre si osservava assenza di isocronia quando si eseguiva il gesto tenendo in mano una racchetta simile o un ombrello. È possibile, dunque, che l'utilizzo protratto di una racchetta da tennis nei tennisti esperti, possa indurre modifiche neuroplastiche della rappresentazione corporea all'interno della mente incorporando l'attrezzo nella propria rappresentazione biologica del gesto, (Maravita et al., 2004; Robin et al., 2022)

L'uso di feedback costante e la pratica deliberata possono aiutare i giocatori a rafforzare l'apprendimento e il miglioramento delle abilità cognitive e motorie nel tennis.

Queste particolari cellule nervose scaricano sia nel momento in cui si compie un'azione motoria, sia nel momento in cui si osserva un soggetto esterno eseguire la medesima azione. Successivi studi hanno dimostrato l'esistenza di un sistema di neuroni specchio con le medesime proprietà anche nel sistema motorio degli umani (Fadiga et al. 1998). Ciò significa che siamo programmati per poter entrare in contatto con i movimenti, le azioni ed i comportamenti degli altri tramite un particolare sistema che simula internamente ciò che stiamo osservando. (Rizzolati et al., 1996)

La rete di osservazione delle azioni (AON), dovrebbe giocare un ruolo fondamentale ogni qualvolta gli atleti si apprestino ad anticipare gli effetti delle azioni altrui negli sport come il tennis. Tramite studi condotti con risonanza magnetica, si è andato a capire se le competenze motorie e l'esperienza motoria conduce ad un modello di attivazione differenziale all'interno della procedura (AON) durante l'anticipazione degli effetti e se i compiti di anticipazione motoria e spaziale sono collegati, a seconda del livello di esperienza dei partecipanti. Sono stati ottenuti risultati migliori da parte dei professionisti rispetto ai novizi in entrambi i compiti di anticipazione nel tennis. Per cui, la maggiore attivazione delle aree della rete di osservazione delle azioni durante l'anticipazione degli effetti dell'azione, negli esperti riflette l'uso di raffigurazioni motorie maggiormente fini che hanno acquisito andandole a migliorare negli anni di allenamento. Inoltre, si può dedurre che l'elaborazione neurale di diversi compiti di anticipazione dipende dal livello di competenza. (Balsler N, 2014).

È utile fare una digressione sull'importanza dell'allenabilità delle “motor skills” in quanto fondamentali per lo sviluppo. Partendo dall'infanzia, tutto ciò che i bambini eseguono riguardano la sfera delle abilità motorie, dalla postura alla locomozione alle azioni manuali. Ogni volta che vengono portate alla luce, le abilità motorie costituiscono le fondamenta dello sviluppo consentendo l'apertura di nuove porte alle opportunità di apprendimento.

Il controllo della postura permette di raggiungere nuovi ambienti; la locomozione rende possibile l'accesso a questi nuovi ambienti e le abilità e destrezze manuali promuovono nuove forme di interazione con gli oggetti che ci circondano. Inoltre, l'acquisizione di abilità motorie rende funzionale e flessibile il comportamento, che può, quindi, adattarsi ad ogni cambiamento del corpo e dell'ambiente.

Inutile dire, che in uno sport ricco di sfaccettature come può essere il tennis, i benefici delle abilità motorie e dell'apprendimento continuo di esse sono numerosi. (Adolph, K. E., & Hoch, J. E. (2020)

Grazie all'allenamento di queste abilità è possibile migliorare le procedure motorie sottostanti i gesti.

Proponendo un approccio multilaterale all'allenamento, si potrà andare a lavorare in ogni sessione su aspetti tecnici, fisici e mentali. La presenza di un circuito di neuroni specchio può suggerire una tipologia di allenamento mentale basato sulle neuroscienze, che sfrutta le caratteristiche funzionali del nostro sistema motorio ed è in grado di migliorare specifiche abilità tecniche.

Nello studio di Fortes (2019), l'obiettivo era quello di analizzare l'effetto dell'allenamento tramite immagini motorie sulle prestazioni del servizio di tennis tra gli atleti dello sport. Si è trattato di un'indagine sperimentale controllata e randomizzata, della durata di otto settimane. Si è concluso che l'allenamento con immagini motorie può essere considerato una strategia utile per migliorare le prestazioni di servizio dei tennisti maschi.

Risulta sempre più chiaro come non esista una distinzione netta tra ciò che è cognitivo e ciò che è motorio, poiché cognizione ed azione all'interno del cervello risultano essere molto collegati. Il sistema dei neuroni specchio, forse, risulta essere l'esempio più eclatante. Per poter stilare programmazioni di allenamento in grado di migliorare sia la tecnica che gli aspetti cognitivi del tennista, è necessario comprendere come questo sistema funziona e trovare il modo di trarre vantaggio il più possibile per migliorare abilità come la lettura e l'anticipazione delle intenzioni degli avversari. (Feola, S. 2018)

La ripetizione continua del gioco, l'allenamento, è ciò che è necessario per poter migliorare le prestazioni di gioco. All'interno dell'allenamento, come detto in precedenza, sono numerose le componenti che vengono impresse nel sistema neuromuscolare. L'approccio dell'apprendimento tramite l'osservazione non è nuovo nel mondo dello sport; i metodi tradizionali spesso comprendono la visione di video analisi, insieme alla correzione per poter valutare i progressi.

L'imitazione visiva, tuttavia, è un utile ausilio alla pratica sportiva e al miglioramento della performance quando affiancata ad una componente fisica sul campo da tennis. (Thomas W. Rowland, 2014)

La visualizzazione è una tecnica mentale che offre numerosi vantaggi agli atleti di qualsiasi sport. Alcune ricerche hanno dimostrato come questa tecnica sia in grado di migliorare la tecnica, la concentrazione e permetta la gestione dell'ansia nei tennisti (Jeannerod, 2006). Migliorando la concentrazione, infatti, e visualizzando la performance stessa, i giocatori riescono a portare ad un livello successivo la loro attenzione sul compito che stanno eseguendo. Questo è di fondamentale importanza soprattutto nelle situazioni di elevato stress durante un incontro, come può essere il momento del servizio. (Jordet & Hartman, 2008).

L'abilità di visualizzare un determinato gesto o azione permette, inoltre, di migliorare la fiducia e la sicurezza, insieme al focus e alla performance in generale. (Munroe-Chandler et al., 2007)

Uno dei benefici per i giocatori di tennis è, sicuramente, quello di rivedere mentalmente scenari differenti. Questo permette di essere maggiormente preparati e pronti qualora si affrontino situazioni difficili durante un match. La motor imagery, migliora la performance tennistica, utilizzando la visualizzazione (Robin et al., 2022), migliora la tecnica andando a correggere le cattive abitudini motorie e rinforzando quelle corrette (Cumming & Williams, 2013)

Tuttavia, i benefici di questa tecnica possono esser ritrovati non solo sul campo, ma soprattutto quando si lavora in maniera non specifica, fuori dal contesto di gara.

In uno studio condotto nel 2008, da Aglioti et al., si è indagata, combinando studi psicofisici e stimolazione magnetica transcranica, la dinamica dell'anticipazione dell'azione e i correlati neurali in giocatori di basket di élite. I risultati hanno suggerito che in giocatori esperti, questa bravura può essere legata alla padronanza di meccanismi di "risonanza" motoria anticipatoria che portano il cervello di giocatori professionisti a prevedere le azioni altrui prima che avvengano realmente. (Aglioti et al., 2008)

Il nostro cervello è un organo reattivo, in grado di reagire velocemente a tutti gli stimoli che provengono dall'ambiente esterno e no. È in grado di fare ipotesi, anticipare le conseguenze delle azioni. Grazie a tutte queste abilità, l'essere umano è in grado di interagire con i suoi simili.

L'evoluzione, naturalmente, ha spinto le funzioni cognitive a sviluppare meccanismi di riorganizzazione dell'azione in funzione di eventi imprevisti il più velocemente possibile, grazie ad



un ciclo di percezione-azione che si sviluppa in frazioni di secondo. La scoperta dei neuroni specchio ha dimostrato l'esistenza di uno stretto legame tra percezione e movimento. Alla luce di queste evidenze, la percezione, quindi, diventa la capacità di interpretare un oggetto in termini di potenziali movimenti e gesti che chi osserva potrebbe attivare in relazione ad esso.

Gli atti motori sono anticipati e formulati tramite la cooperazione di azione e percezione.

I dati raccolti hanno dimostrato che la dicotomia tra “cervello che sa” e “cervello che agisce”, ovvero tra processi percettivi e motori, è difficilmente applicabile. Lo sviluppo delle aree di ordine superiore non può esser considerato come un rafforzamento dei sistemi di elaborazione che intervengono tra input sensoriali e output motori. Fondamentale presupposto per permettere uno sviluppo delle capacità cognitive è l'azione combinata di vie cognitive e funzioni motorie. Si può notare, dunque, un'evoluzione quantitativa e qualitativa del sistema nervoso centrale. (Maldonato, Dell'orco, 2013)

Oltre alla pratica fisica, come detto in precedenza, si utilizza una tecnica chiamata osservazione dell'azione per migliorare. Gli esseri umani imparano naturalmente a eseguire i movimenti osservando gli altri. Per esempio, fin da piccoli i bambini imparano abilità importanti come camminare, lanciare e calciare osservando le altre persone che compiono questi gesti. La ricerca ha dimostrato che guardare i movimenti attiva zone del cervello simili a quelle coinvolte nell'esecuzione del movimento. Ciò significa che guardare le prestazioni sportive può aiutare gli atleti a migliorare, andando a rinforzare le aree cerebrali utilizzate nell'esecuzione delle azioni. (Bruton et al., 2022)

Prestando attenzione alle implicazioni pratiche, si può vedere come l'AOT e l'allenamento tramite MI portano risultati positivi in differenti esercitazioni fisiche. (Kim JH, Lee BH, 2013)

In conclusione, i neuroni specchio e l'allenamento cognitivo svolgono un ruolo fondamentale nella pratica del tennis, influenzando l'apprendimento motorio, la comprensione degli avversari e la performance complessiva. L'osservazione di modelli di alto livello, l'imitazione guidata e l'integrazione di esercizi di allenamento cognitivo possono contribuire a un miglioramento significativo delle abilità tecniche e cognitive dei giocatori di tennis. Inoltre, giocatori che hanno lavorato seguendo un protocollo percettivo, utilizzando simulazioni video, istruzioni e feedback hanno migliorato la prestazione anche nell'anticipazione sul campo. L'approccio didattico basato sui neuroni specchio e sull'allenamento cognitivo può favorire un apprendimento più efficace e un miglioramento della performance nel tennis. (Williams et al., 2002)

## 4 CONCLUSIONI

### 4.1 Conclusioni e Riflessioni sul confronto con possibili approcci futuri

Questo elaborato, teso a fornire una panoramica sulla possibilità di unire e confrontare discipline differenti, come la musica e lo sport, e improntato sull'importanza dei neuroni specchio nella pratica sportiva e musicale ha fornito una visione approfondita sulle correlazioni tra questi due ambiti e ha esplorato come l'allenamento cognitivo possa migliorare le performance in entrambe le discipline.

I neuroni specchio sono una classe di neuroni che si attivano sia quando eseguiamo un'azione che quando osserviamo qualcun altro eseguirla. Questi neuroni giocano un ruolo fondamentale nella comprensione delle azioni degli altri e nella nostra capacità di imitazione e apprendimento.

Nel contesto sportivo, l'attivazione dei neuroni specchio durante l'osservazione di un'azione eseguita da un atleta esperto può favorire l'apprendimento motorio e migliorare l'esecuzione delle abilità motorie. Ad esempio, osservare un tennista professionista durante un colpo potrebbe attivare i neuroni specchio nel cervello di un tennista in formazione, consentendogli di imitare e apprendere i movimenti corretti.

Analogamente, nella pratica musicale, l'osservazione di musicisti esperti può stimolare l'attivazione dei neuroni specchio, facilitando l'apprendimento delle abilità motorie fini coinvolte nella produzione del suono. Questo può portare a un miglioramento della tecnica, dell'espressività e della coordinazione musicale.

Inoltre, l'allenamento cognitivo mirato può potenziare ulteriormente l'effetto dei neuroni specchio sull'apprendimento e sulle performance sia nello sport che nella musica. Ad esempio, l'utilizzo di tecniche di visualizzazione mentale può stimolare l'attivazione dei neuroni specchio e favorire l'apprendimento e la consolidazione delle abilità motorie.

Le correlazioni tra lo sport del tennis e la musica nell'ambito dell'allenamento cognitivo sono state evidenziate attraverso studi scientifici che hanno dimostrato l'effetto positivo della pratica musicale sull'apprendimento motorio e viceversa. Ad esempio, la pratica musicale può migliorare la coordinazione motoria, l'ascolto attento e la concentrazione, che sono tutti elementi fondamentali nel tennis. D'altra parte, la pratica sportiva può potenziare l'abilità di prendere decisioni rapide e precise, l'adattabilità e la percezione spaziale, che sono competenze anche richieste nella performance musicale.

In conclusione, l'importanza dei neuroni specchio nella pratica sportiva e musicale è stata ampiamente dimostrata e la correlazione tra lo sport del tennis e la musica nell'ambito dell'allenamento cognitivo offre opportunità interessanti per migliorare le performance in entrambi i settori. Sfruttare l'attivazione dei neuroni specchio e integrare l'allenamento cognitivo mirato può favorire un apprendimento più efficace e un miglioramento delle abilità motorie, consentendo agli atleti e ai musicisti di raggiungere il loro pieno potenziale.

Nell'ambito dell'allenamento cognitivo per il miglioramento della performance musicale e sportiva, con un focus specifico sul tennis, ci sono diversi approcci futuri che possono essere considerati. Questi approcci potrebbero combinare elementi di didattica cognitiva e fisica per fornire un allenamento completo e mirato.

Per esempio, per quanto riguarda la pratica di un allenamento cognitivo specifico, un possibile approccio consiste nell'utilizzare esercizi di allenamento cognitivo che mirano a migliorare le abilità cognitive coinvolte nella performance musicale e sportiva. Questi esercizi potrebbero includere attività di visualizzazione mentale, concentrazione, percezione spaziale e prendere decisioni rapide. Ad esempio, un tennista potrebbe essere allenato a immaginare e visualizzare i colpi corretti, migliorando così la sua capacità di eseguirli durante il gioco effettivo.

Può, inoltre, essere utilizzata l'integrazione di strumenti tecnologici: l'utilizzo di strumenti avanzati, come la realtà virtuale o l'uso di sensori, può fornire un'esperienza di apprendimento più immersiva e interattiva. Ad esempio, un tennista potrebbe utilizzare la realtà virtuale per simulare situazioni di gioco reali e praticare la presa di decisioni rapide in tempo reale. Allo stesso modo, i musicisti potrebbero utilizzare strumenti digitali per registrare e valutare le loro esecuzioni, consentendo loro di identificare e migliorare gli aspetti specifici della loro performance.

Proponiamo un approccio interdisciplinare: considerando la forte correlazione tra la musica e lo sport, potrebbe essere utile adottare un approccio interdisciplinare nell'allenamento cognitivo. Ad esempio, l'insegnante o l'allenatore potrebbero combinare esercizi specifici di entrambi i settori per migliorare la coordinazione motoria, la concentrazione, la sensibilità ritmica e la capacità di esprimere emozioni attraverso il movimento o il suono.

Approccio personalizzato: un protocollo didattico efficace potrebbe prevedere un approccio personalizzato, basato sulle specifiche esigenze e abilità dell'individuo. Questo potrebbe comportare la valutazione delle capacità cognitive e fisiche dell'atleta o del musicista, seguita dalla progettazione di un programma di allenamento su misura. L'uso di feedback costante e la misurazione degli indicatori di performance potrebbero essere integrati per monitorare il progresso nel tempo.

In conclusione, l'utilizzo dei neuroni specchio e l'adozione di approcci didattici che integrano l'allenamento cognitivo e fisico possono offrire nuove prospettive per un miglioramento della performance musicale e sportiva, con un focus specifico sul tennis. Gli approcci futuri potrebbero combinare elementi di didattica cognitiva, l'utilizzo di strumenti tecnologici avanzati, un approccio interdisciplinare, coaching personalizzato e un approccio olistico per fornire un allenamento completo e mirato. L'obiettivo sarebbe massimizzare il potenziale di apprendimento e migliorare le abilità motorie e cognitive dei musicisti e degli atleti, portando a una performance più elevata.

L'approccio multidisciplinare nell'utilizzo dei neuroni specchio nella pratica sportiva e musicale implica l'integrazione delle neuroscienze con le discipline sportive e musicali per comprendere meglio i meccanismi alla base dell'apprendimento e della performance.

La progressione didattica in questo contesto si riferisce a un percorso di apprendimento graduale che tiene conto delle capacità e delle competenze degli individui, adattandosi alle loro esigenze specifiche. La progressione potrebbe iniziare con esercizi di base per sviluppare la consapevolezza corporea, la coordinazione e la percezione sensoriale. Successivamente, si potrebbero introdurre esercizi più complessi che coinvolgono l'osservazione e l'imitazione di modelli di alto livello, utilizzando i neuroni specchio per facilitare l'apprendimento motorio. Infine, si potrebbero integrare elementi di allenamento cognitivo specifico per migliorare le abilità decisionali, la concentrazione e la performance complessiva.

L'importanza delle neuroscienze e della multidisciplinarietà nello sport e nella musica risiede nella comprensione approfondita dei processi neurali, cognitivi e motori coinvolti nelle attività. Le neuroscienze forniscono una base scientifica per comprendere come il cervello elabora le informazioni e coordina l'azione, mentre l'approccio multidisciplinare permette di esplorare le diverse prospettive e conoscenze presenti in ambiti come la psicologia, la fisiologia, l'educazione fisica e la teoria musicale.

L'adozione di una visione trasversale nell'applicazione dei neuroni specchio può portare a benefici significativi nella pratica sportiva e musicale. Questa visione trasversale implica il superamento dei confini tradizionali tra le discipline, consentendo di integrare conoscenze e approcci da diverse fonti. Ad esempio, l'analisi del movimento e la biomeccanica possono essere utilizzate per identificare le specifiche esigenze motorie di un tennista o di un musicista e per sviluppare programmi di allenamento mirati. Allo stesso tempo, la psicologia dello sport e la psicologia musicale possono contribuire a comprendere l'influenza delle emozioni, della motivazione e dell'autoregolazione sulla performance.

La visione trasversale può anche favorire l'innovazione e la scoperta di nuove modalità di allenamento. Ad esempio, potrebbe essere interessante esplorare l'uso della realtà virtuale per creare ambienti di apprendimento virtuali che stimolano l'attivazione dei neuroni specchio e permettono agli atleti e ai musicisti di sperimentare situazioni complesse in modo sicuro e controllato. La visione trasversale consente di integrare le conoscenze e le metodologie provenienti da diverse discipline, aprendo la strada a nuovi approcci didattici, all'innovazione e all'ottimizzazione delle abilità motorie e cognitive dei praticanti.

In conclusione, l'approccio multidisciplinare, l'utilizzo dei neuroni specchio e l'importanza delle neuroscienze e della multidisciplinarietà nello sport e nella musica offrono un potenziale significativo per migliorare l'apprendimento e la performance.

## 5 BIBLIOGRAFIA

- Abernethy B, Schorer J, Jackson RC, Hagemann N. Perceptual training methods compared: the relative efficacy of different approaches to enhancing sport-specific anticipation. *J Exp Psychol Appl*. 2012 Jun;18(2):143-53. doi: 10.1037/a0028452. Epub 2012 May 7. PMID: 22564086.
- Adina L. Roskies, Steven E. Petersen - *Frontiere della Vita* (1999)
- Adolph, K. E., & Hoch, J. E. (2020). The Importance of Motor Skills for Development. *Nestle Nutrition Institute workshop series*, 95, 136–144
- Aglioti, S., Cesari, P., Romani, M. et al. Action anticipation and motor resonance in elite basketball players. *Nat Neurosci* 11, 1109–1116 (2008). <https://doi.org/10.1038/nn.2182>
- Allan Siegel, Hreday N. Sapru, *Fondamenti di Neuroscienze*, Piccin, Marzo 2019. 576 p.
- Baddeley, A. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual review of psychology*, 63, 1-29.
- Balser N, Lorey B, Pilgramm S, et al. Prediction of human actions: expertise and task-related effects on neural activation of the action observation network. *Hum Brain Mapp*. 2014;35(8):4016-4034. doi:10.1002/hbm.22455).
- Bisio A, Stucchi N, Jacono M, Fadiga L, Pozzo T. Automatic versus voluntary motor imitation: effect of visual context and stimulus velocity. *PLoS One*. 2010 Oct 20;5(10):e13506. doi: 10.1371/journal.pone.0013506. PMID: 20976006; PMCID: PMC2958128.
- Brown, R.M., Palmer, C. Auditory–motor learning influences auditory memory for music. *Mem Cogn* 40, 567–578 (2012). <https://doi.org/10.3758/s13421-011-0177-x>
- Brown, R. M., & Palmer, C. (2013). Auditory and motor imagery modulate learning in music performance. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 320.
- Bruton, Adam & Wright, David. (2022). Watch and Learn: Athletes Can Improve by Observing the Actions of Others. *Frontiers for Young Minds*. 10. 702784. 10.3389/frym.2022.702784.
- Buccino G, Vogt S, Ritzl A, Fink GR, Zilles K, Freund HJ, Rizzolatti G. Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: an event-related fMRI study. *Neuron*. 2004 Apr 22;42(2):323-34. doi: 10.1016/s0896-6273(04)00181-3. PMID: 15091346.
- Buccino, G., & Riggio, L. (2006). The role of the mirror neuron system in motor learning. *Kinesiology*, 38(1.), 5-15.
- Burke, K. L. (1988). The effect of a perceptual cognitive training program on attention/concentration style and performance of the tennis service. The Florida State University.
- Cathy H. McKinney, The Effect of Music on Imagery, *Journal of Music Therapy*, Volume 27, Issue 1, Spring 1990, Pages 34–46.
- Cei, A. (1998), *Psicologia dello sport*, il Mulino, Bologna.
- Cherappurath, N., Elayaraja, M., Kabeer, D., Anjum, A., Vogazianos, P. & Antoniadis, A. (2020). PETTLEP imagery and tennis service performance: an applied investigation. *Journal of Imagery Research in Sport and Physical Activity*, 15(1), 20190013. <https://doi.org/10.1515/jirspa-2019-0013>

- Clarke, E. (2005). *Ways of listening: An ecological approach to the perception of musical meaning*. Oxford University Press.
- Cockey, L. (1998). The inner game of music. *The American Music Teacher*, 47(3), 33. Retrieved from <https://www.proquest.com/trade-journals/inner-game-music/docview/217468892/se-2>
- Crespo, M., & Reid, M. M. (2007). Motivation in tennis. *British journal of sports medicine*, 41(11), 769–772. <https://doi.org/10.1136/bjism.2007.036285>
- Cuenca-Martínez F, Suso-Martí L, Grande-Alonso M, Paris-Aleman A, La Touche R. 2018. Combining motor imagery with action observation training does not lead to a greater autonomic nervous system response than motor imagery alone during simple and functional movements: a randomized controlled trial. *PeerJ* 6:e5142 <https://doi.org/10.7717/peerj.5142>
- Davico, C. TENNIS FEMMINILE.
- Debnat, U., & Guillot, A. (2013).\*\* "Musical imagery training induced changes in rhythm perception and production." *Psychology of Music*, 41(4), 440-449.
- Decety J. (1996). The neurophysiological basis of motor imagery. *Behavioural brain research*, 77(1-2), 45–52.
- Dorney, L., Goh, E. K. M., & Lee, C. (1992). The impact of music and imagery on physical performance and arousal: Studies of coordination and endurance. *Journal of Sport Behavior*, 15(1), 21.
- Driskell, J. E., Copper, C., & Moran, A. (1994). Does mental practice enhance performance?. *Journal of applied psychology*, 79(4), 481.
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological review*, 100(3), 363.
- Errante, A., Fogassi, L. Activation of cerebellum and basal ganglia during the observation and execution of manipulative actions. *Sci Rep* 10, 12008 (2020).
- Fabbri-Destro, M., & Rizzolatti, G. (2008). Mirror neurons and mirror systems in monkeys and humans. *Physiology*, 23(3), 171-179.
- Farahani, J. J., Javadi, A. H., O'Neill, B. V., & Walsh, V. (2017). Effectiveness of above real-time training on decision-making in elite football: a dose–response investigation. *Progress in brain research*, 234, 101-116.
- Farrow D, Abernethy B. Can anticipatory skills be learned through implicit video-based perceptual training? *J Sports Sci*. 2002 Jun;20(6):471-85. doi: 10.1080/02640410252925143. PMID: 12137177.
- Fernandez-Fernandez, Jaime1; Granacher, Urs2; Sanz-Rivas, David3; Sarabia Marín, Jose Manuel4; Hernandez-Davo, Jose Luis4; Moya, Manuel4. Sequencing Effects of Neuromuscular Training on Physical Fitness in Youth Elite Tennis Players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 32(3):p 849-856, March 2018. | DOI: 10.1519/JSC.0000000000002319
- Fortes, L.D., Almeida, S.D., Nascimento-Júnior, J.R., Fiorese, L., Lima-Júnior, D.D., & Ferreira, M.E. (2019). Effect of motor imagery training on tennis service performance in young tennis athletes.
- Fujioka T, Ross B, Kakigi R, Pantev C, Trainor LJ. One year of musical training affects development of auditory cortical-evoked fields in young children. *Brain* 2006;129:2593-608

- Gabriellsson, A. (1999). The performance of music. In D. Deutsch (Ed), *The psychology of music* (2nd ed), pp.501-602. San Diego: Academic Press
- Gallese V. Before and below 'theory of mind': embodied simulation and the neural correlates of social cognition. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2007 Apr 29;362(1480):659-69. doi: 10.1098/rstb.2006.2002. PMID: 17301027; PMCID: PMC2346524.
- Gallese, V., & Goldman, A. (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in cognitive sciences*, 2(12), 493–501. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(98\)01262-5](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(98)01262-5)
- Gallwey, W. T., & Green, B. (2015). *The inner game of music*. Pan Macmillan.
- Gates, N., & Valenzuela, M. (2010). Cognitive exercise and its role in cognitive function in older adults. *Current psychiatry reports*, 12, 20-27.
- George Adelman (2010) The Neurosciences Research Program at MIT and the Beginning of the Modern Field of Neuroscience, *Journal of the History of the Neurosciences*, 19:1, 15-23, DOI: 10.1080/09647040902720651
- Giacomo Rizzolatti and Maddalena Fabbri Destro (2008) Mirror neurons. *Scholarpedia*, 3(1):2055.
- Gonzalez, M. A., Campos, A., & Pérez, M. J. (1997). Mental imagery and creative thinking. *The Journal of psychology*, 131(4), 357-364.
- Gordon, E. E. (1979). Developmental music aptitude as measured by the Primary Measures of Music Audiation. *Psychology of Music*, 7(1), 42-49.
- Gordon, E. E. (1989). Audiation, Music Learning Theory, Music Aptitude, and Creativity. In *Suncoast Music Education Forum on Creativity* (Vol. 75, p. 81).
- Gordon, E. E. (1999). All about audiation and music aptitudes: Edwin E. Gordon discusses using audiation and music aptitudes as teaching tools to allow students to reach their full music potential. *Music Educators Journal*, 86(2), 41-44.
- Guillot A, Desliens S, Rouyer C, Rogowski I. Motor imagery and tennis serve performance: the external focus efficacy. *J Sports Sci Med.* 2013 Jun 1;12(2):332-8. PMID: 24149813; PMCID: PMC3761826.
- Hall, C. R., Rodgers, W. M., & Barr, K. A. (1990). The use of imagery by athletes in selected sports. *The Sport Psychologist*, 4(1), 1-10.
- Hallam, Susan. (2001). The Development of Expertise in Young Musicians: Strategy Use, Knowledge Acquisition and Individual Diversity. *Music Education Research.* 3. 7-23. 10.1080/14613800020029914.
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of educational research*, 77(1), 81-112.
- Hickok, G. (2014). *The myth of mirror neurons: The real neuroscience of communication and cognition*. W W Norton & Co.
- Huotilainen M, Kujala A, Hotakainen M, et al. Short-term memory functions of the human fetus recorded with magnetoencephalography. *Neuroreport*, 2005;16:81-4



- Ingo Gerrit Meister, Babak Boroojerdi, Henrik Foltys, Roland Sparing, Walter Huber, Rudolf Töpper, Motor cortex hand area and speech: implications for the development of language, *Neuropsychologia*, 2003.
- Jeannerod, M. (1994). The representing brain: Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Sciences*, 17(2), 187–245
- Jeannerod, M. (2006). *Motor cognition: What actions tell the self*. Oxford University Press.
- Jordet, G. and Hartman, E. (2008) Avoidance Motivation and Choking under Pressure in Soccer Penalty Shootouts. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 30, 450-457. <https://doi.org/10.1123/jsep.30.4.450>
- Karageorghis, C., & Priest, D. L. (2008). Music in sport and exercise: An update on research and application. *The Sport Journal*, 11(3).
- Kim JH, Lee BH. Action observation training for functional activities after stroke: a pilot randomized controlled trial. *NeuroRehabilitation*. 2013;33(4):565-74. doi: 10.3233/NRE-130991. PMID: 24029010.
- Koelsch, S., Gunter, T. C., Cramon, D. Y. V., Zysset, S., Lohmann, G., & Friederici, A. D. (2002). Bach speaks: a cortical “language-network” serves the processing of music. *Neuroimage*, 17(2), 956-966
- Kohler E, Keysers C, Umiltà MA, Fogassi L, Gallese V, Rizzolatti G. Hearing sounds, understanding actions: action representation in mirror neurons. *Science*. 2002 Aug 2;297(5582):846-8. doi: 10.1126/science.1070311. PMID: 12161656.
- Krakauer, J. W., Hadjiosif, A. M., Xu, J., Wong, A. L., & Haith, A. M. (2019). Motor learning. *Compr Physiol*, 9(2), 613-663.
- Krampe, R., & Ericsson, K.A. (1996) Maintaining excellence: Deliberate practice and elite performance in young and older pianists. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125, 331-359.
- Krug, M. (1999). Playing tennis in the zone. *Athletic Insight*, 1(3), 13-20.
- Lahav, A., Saltzman, E., & Schlaug, G. (2007). Action representation of sound: Audiomotor recognition network while listening to newly acquired actions. *Journal of Neuroscience*, 27(2), 308-314
- Larry Squire, Darwin Berg, Floyd E. Bloom, *Fundamental Neuroscience*, Academic Press, 4 Aprile 2016, 1280 p.
- Lerdahl, F., & Jackendoff, R. S. (1996). *A Generative Theory of Tonal Music*, reissue, with a new preface. MIT press.
- Levett-Jones, T. L. (2007). Facilitating reflective practice and self-assessment of competence through the use of narratives. *Nurse education in practice*, 7(2), 112-119.
- Lotze, M., & Halsband, U. (2006). Motor imagery. *Journal of Physiology-paris*, 99(4-6), 386-395.
- MacRitchie, J., Herff, S. A., Procopio, A., & Keller, P. E. (2018). Negotiating between individual and joint goals in ensemble musical performance. *Quarterly journal of experimental psychology* (2006), 71(7), 1535–1551. <https://doi.org/10.1080/17470218.2017.1339098>

- Maldonato, M., & Dell'Orco, S. (2013). Mirror neurons and the predictive mind. *Mirror Neurons: Still an Open Question*, 1-4.
- Mann, D. T., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport: A meta-analysis. *Journal of sport and exercise psychology*, 29(4), 457-478.
- Mattar AA, Gribble PL. Motor learning by observing. *Neuron*. 2005 Apr 7;46(1):153-60. doi: 10.1016/j.neuron.2005.02.009. PMID: 15820701.
- Miyamae T. (2018). Brain and nerve = Shinkei kenkyu no shinpo, 70(6), 617–631. <https://doi.org/10.11477/mf.1416201054>
- Molnar-Szakacs, I., & Overy, K. (2006). Music and mirror neurons: from motion to 'e'motion. *Social cognitive and affective neuroscience*, 1(3), 235-241
- Munroe-Chandler, K. J., Hall, C. R., Fishburne, G. J., & Strachan, L. (2007). Where, when, and why young athletes use imagery: An examination of developmental differences. *Research quarterly for exercise and sport*, 78(2), 103-116.
- Nicolas Robin, Laurent Dominique. Mental Imagery and Tennis: A Review, Applied Recommendations and New Research. *Movement & Sport Sciences - Science & Motricité*, inPress, (10.1051/sm/2022009). (hal-03740886)
- Nideffer, R. M. (1976). Test of Attentional and Interpersonal Style. *Journal of*
- Pachera, A. *Tennis MASCHILE*.
- Pain, M. A., Harwood, C., & Anderson, R. (2011). Pre-competition imagery and music: The impact on flow and performance in competitive soccer. *The Sport Psychologist*, 25(2), 212-232.
- Palmer, C. (1997). Music performance. *Annual review of psychology*, 48(1), 115-138.
- Patestas MA Gartner LP. *A Textbook of Neuroanatomy*. Second ed. Hoboken New Jersey: Wiley Blackwell; 2016
- Penhune V. B. (2022). Understanding Sensitive Period Effects in Musical Training. *Current topics in behavioral neurosciences*, 53, 167–188. [https://doi.org/10.1007/7854\\_2021\\_250](https://doi.org/10.1007/7854_2021_250)
- Personality and Social Psychology*, 34(3), 394-404
- Priest, D. L., Karageorghis, C. I., & Sharp, N. C. (2004). The characteristics and effects of motivational music in exercise settings: the possible influence of gender, age, frequency of attendance, and time of attendance.
- Proverbio, A. M. (2019). *Neuroscienze cognitive della musica. Il cervello musicale tra arte e scienza*. Zanichelli.
- Richardson, A. (2013). *Mental imagery*. Springer.
- Rizzolati G, Vozza L., *Nella mente degli altri. Neuroni specchio e comportamento sociale*. Zanichelli, 2020.
- Rizzolatti G, Fadiga L, Gallese V, Fogassi L. Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Brain Res Cogn Brain Res*. 1996 Mar;3(2):131-41. doi: 10.1016/0926-6410(95)00038-0. PMID: 8713554.

- Rizzolatti, G., Fabbri-Destro, M., & Cattaneo, L. (2009). Mirror neurons and their clinical relevance. *Nature clinical practice neurology*, 5(1), 24-34.
- Rizzolatti, G., Fabbri-Destro, M., Nuara, A., Gatti, R., & Avanzini, P. (2021). The role of mirror mechanism in the recovery, maintenance, and acquisition of motor abilities. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 127, 404–423. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.04.024>
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive brain research*, 3(2), 131-141.
- Robin, N., Dominique, L., Guillet-Descas, E., & Hue, O. (2022). Beneficial Effects of Motor Imagery and Self-Talk on Service Performance in Skilled Tennis Players. *Frontiers in psychology*, 13, 778468. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.778468>
- Rossi, C., La Torre, A., Bishop, D., Arcelli, E., Merati, G., & Serpiello, F. (2007). Modello prestativo e preparazione nel gioco del tennis. *SDS. SCUOLA DELLO SPORT*, 26(74), 25-34.
- Rowland, T. W. (2014). *Tennisology: Inside the Science of Serves, Nerves, and On-court Dominance*. Human Kinetics.
- Schlaug, G. (2009). Music, musicians, and brain plasticity. *The Oxford handbook of music psychology*, 197-207.
- Schmidt R. A., Lee T. D., *Motor learning and performance: From principles to application* (5th ed.), Champaign, IL, Human Kinetics, 2014.
- Shiffrar M. (2011). People watching: visual, motor, and social processes in the perception of human movement. *Wiley interdisciplinary reviews. Cognitive science*, 2(1), 68–78. <https://doi.org/10.1002/wcs.88>
- Smith, D., & Collins, D. (2004). "Viewing imagery perspective and performance: A tennis court experiment." *Journal of Sports Sciences*, 22(3), 201-202.
- Sloboda, J. (2005). *Exploring the musical mind: Cognition, emotion, ability, function*. Oxford University Press.
- Sloboda, J. A. (2010). *Handbook of music and emotion: theory, research, applications*. Oxford University Press, USA.
- Society for Neuroscience. (n.d.). About neuroscience. Retrieved September 17, 2018
- Stanley Jacobson, Elliot M. Marcus, *Neuroanatomy for the Neuroscientist*, Springer New York, NY, 30 Maggio 2008, 500 p.
- Strobach, T., Karbach, J., & Strobach. (2016). *Cognitive training*. New York, NY: Springer.
- Taube, W., Mouthon, M., Leukel, C., Hoogewoud, H. M., Annoni, J. M., & Keller, M. (2015). Brain activity during observation and motor imagery of different balance tasks: an fMRI study. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 64, 102–114. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2014.09.022>
- Tenenbaum, G., & Bar-Eli, M. (2007). Personality and intellectual capabilities in sport psychology. In D. Smith & M. Bar-Eli (Eds.), *Essential readings in sport and exercise psychology* (pp. 102–120). Human Kinetics.

- Tennis allo specchio: a scuola dai professionisti. (2018, 23 marzo). Ubitennis. <https://www.ubitennis.com/blog/2018/03/23/ismca-simone-feola-tennis-allo-specchio-draft/>
- Thau, L., Reddy, V., & Singh, P. (2022). Anatomy, Central Nervous System. In StatPearls. StatPearls Publishing.
- Turan, M. B., Disçeken, O., & Kaya, M. (2019). The impact of cognitive-based learning and imagery training on tennis skills. *Universal Journal of Educational Research*, 7(1), 244-249.
- Vogt, S., Di Rienzo, F., Collet, C., Collins, A., & Guillot, A. (2013). Multiple roles of motor imagery during action observation. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 807.
- Voss, M. W., Kramer, A. F., Basak, C., Prakash, R. S., & Roberts, B. (2010). Are expert athletes 'expert' in the cognitive laboratory? A meta-analytic review of cognition and sport expertise. *Applied cognitive psychology*, 24(6), 812-826.
- Walton, C. C., Keegan, R. J., Martin, M., & Hallock, H. (2018). The potential role for cognitive training in sport: more research needed. *Frontiers in psychology*, 9, 1121.
- Weinberg, R., Butt, J., Knight, B., Burke, K. L., & Jackson, A. (2003). The relationship between the use and effectiveness of imagery: An exploratory investigation. *Journal of Applied Sport Psychology*, 15(1), 26-40.
- Williams, A. M., Ward, P., Knowles, J. M., & Smeeton, N. J. (2002). Anticipation skill in a real-world task: Measurement, training, and transfer in tennis. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8(4), 259–270.
- Williams, S. E., Cooley, S. J., & Cumming, J. (2013). Layered stimulus response training improves motor imagery ability and movement execution. *Journal of sport & exercise psychology*, 35(1), 60–71. <https://doi.org/10.1123/jsep.35.1.60>
- Zeidan, F., Johnson, S. K., Diamond, B. J., David, Z., & Goolkasian, P. (2010). Mindfulness meditation improves cognition: Evidence of brief mental training. *Consciousness and cognition*, 19(2), 597-605.