



UNIVERSITÀ DI PARMA

DIPARTIMENTO DI MEDICINA E CHIRURGIA

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN PSICOBIOLOGIA E NEUROSCIENZE
COGNITIVE**

**Le neuroscienze applicate allo sport: l'utilizzo di neurofeedback ed immaginazione
motoria per l'allenamento cerebrale nella pallacanestro**

Relatore:

***Chiar.ma Prof.ssa* OLIMPIA PINO**

Controrelatore:

***Chiar.mo Prof.* LEONARDO FOGASSI**

Laureando:

SIMONE LUCARELLI

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

INDICE

PREFAZIONE	4
ABSTRACT IN ITALIANO	5
CAPITOLO I	
LA PLASTICITA' MENTALE: PREMESSA ALL'ALLENAMENTO CEREBRALE	7
CAPITOLO II	
L'IMMAGINAZIONE MOTORIA	12
2.1 Che cos'è l'immaginazione motoria	13
2.1.1 <i>Definizioni e varianti</i>	13
2.1.2 <i>Il modello PETTLEP</i>	14
2.1.3 <i>Strumenti di valutazione</i>	18
2.2 Immaginazione motoria e attivazioni cerebrali	20
2.2.1 <i>Aree cerebrali coinvolte</i>	20
2.2.2 <i>Immaginazione motoria e ritmi cerebrali</i>	25
2.3 Immaginazione motoria: applicazioni	27
2.3.1 <i>L'immaginazione motoria nella riabilitazione</i>	27
2.3.2 <i>L'immaginazione motoria nello sport</i>	29
2.3.3 <i>L'immaginazione motoria nel basket</i>	32
CAPITOLO III	
IL NEUROFEEDBACK TRAINING	41
3.1 Setting e varianti	44

3.1.1 Tipologie.....	44
3.1.2 Protocolli.....	45
3.1.3 Posizionamento degli elettrodi: il metodo 10-20.....	47
3.2 Neurofeedback e attivazioni cerebrali.....	50
3.2.1 Substrati neurali attivati.....	50
3.2.2 Regolazione ritmo cerebrale.....	52
3.2.3 L'importanza del Locus of Control.....	55
3.3 Neurofeedback: applicazioni.....	58
3.3.1 Il Neurofeedback nella riabilitazione.....	58
3.3.2 Il Neurofeedback Training nello sport.....	61
3.3.3 Il Neurofeedback nel basket.....	68
CONCLUSIONI.....	72
BIBLIOGRAFIA.....	75
SITOGRAFIA.....	84

PREFAZIONE

L'idea di cimentarsi in questa tesi nasce dall'incontro di una passione dell'infanzia che è rimasta fino ad oggi ed è diventata un lavoro, con il percorso di studi da me affrontato. La possibilità di trovare un anello di congiunzione tra questi due mondi è nata e ha preso piede in 2 momenti differenti: in primo luogo quando mi sono imbattuto nel principio della massa propria di Jerison e nella riorganizzazione plastica delle mappe corticali in seguito a lesioni, esperienze ed apprendimento; in un secondo momento, invece, quando preparando un esame ho mi sono trovato a studiare un esperimento di Pascual-Leone, che evidenziava modifiche corticali dovute all'allenamento mentale nei pianisti. Iniziando ad approfondire l'argomento, ho potuto constatare come musicisti ed atleti abbiano alcune caratteristiche comuni analizzabili tramite le neuroscienze e per questo ho voluto inserire un accenno di questo connubio nell'introduzione dell'elaborato. Da appassionato e giocatore di basket, ho quindi cercato di comprendere quali siano i vantaggi di una adeguata preparazione mentale da affiancare alla più nota e tradizionale preparazione fisica. Chiunque, che sia un giocatore, un allenatore o semplicemente un appassionato di sport, almeno una volta nella vita ha fatto o ha sentito fare un paragone tra le gesta degli atleti di ieri e quelli di oggi. Riferendosi allo sport professionistico, si può tranquillamente asserire che se gli anni '80-'90 sono stati terreno fertile per una crescita tecnica notevole delle diverse abilità sportive, l'inizio del millennio ha invece mostrato una crescita fisica senza eguali con atleti che non assomigliavano e non assomigliano per stazza e possibilità atletiche ai loro predecessori di soli 15 anni prima. Dopo i primi 20 anni del XXI secolo, quindi, quello che sta accadendo è un crescente interesse per un altro aspetto del gioco, ovvero quello mentale, ed è proprio per questo che nelle più importanti leghe, sta prendendo sempre più piede la figura dello psicologo dello sport, del mental coach od in generale di un professionista della preparazione mentale.

ABSTRACT IN ITALIANO

Da sempre gli sportivi di maggior successo sono stati considerati come dei supereroi, con caratteristiche speciali possedute sin dalla nascita, irraggiungibili da tutti gli altri. Per comprendere l'origine di queste capacità, soprattutto negli ultimi anni è cresciuto l'interesse, oltre che per la sfera tecnica e fisica, anche per la sfera mentale ipotizzando che anche essa sia responsabile del gap tra atleti di successo e non. Alcune evidenze hanno permesso di constatare che effettivamente il cervello di un atleta esperto mostrava un'attività task-specifica differente rispetto a quello di un novizio, e che questa attività era allenabile e modificabile; da qui l'idea che l'allenamento cerebrale possa determinare un miglioramento nelle performance sportive: che siano esse gare o allenamenti. Per allenare la mente abbiamo a disposizione diverse metodologie che possiamo racchiudere in due gruppi: neuromodulazione ed allenamento mentale; in questo studio ci si focalizzerà sul Neurofeedback (appartenente alla prima categoria) e sull'Immaginazione Motoria (appartenente alla seconda) applicati allo sport della pallacanestro. Lo scopo è quello di comprendere effetti, metodologie e funzionamento di due tecniche profondamente diverse, che necessitano di procedure ben distinte, ma che possono essere impiegate per raggiungere risultati simili; dallo sportivo professionista con anni di esperienza, al novizio che per la prima volta si avvicina ad una nuova disciplina sportiva, diventa sempre più utile e fondamentale mantenere il focus sulle grandi potenzialità della nostra mente.

ABSTRACT IN ENGLISH

The most successful sportsmen have always been considered as superheroes, with special characteristics owned from birth, unattainable by all others. To understand the origin of these abilities, especially in recent years, interest has grown not only in the technical and physical sphere, but also in the mental sphere, assuming that it is responsible for the gap between successful and unsuccessful athletes. Some evidence have made it possible to establish that the brain of an experienced athlete shows a task-specific activity different from that of a novice, and that this activity was trainable and modifiable; hence the idea that training can lead to an improvement in sports performance: both in competitions or training. To train the mind we have different methodologies that we can enclose in two groups: neuromodulation and mental training; in this study we will focus on Neurofeedback (belonging to the first category) and Motor Imagination (belonging to the second) applied to the sport of basketball. The aim is to understand the effects, methodologies and functioning of two profoundly different techniques, which require well-separated procedures, but which can be used to achieve similar results; from the professional sportsman with years of experience, to the novice who approaches a new sport for the first time, it becomes increasingly useful and essential to keep the focus on the great potential of our mind.

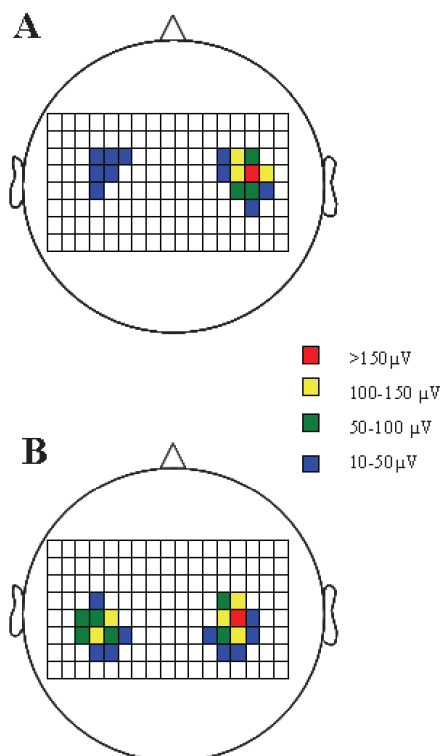
CAPITOLO I

LA PLASTICITA' MENTALE: PREMESSA ALL'ALLENAMENTO

CEREBRALE

Per molto tempo le prestazioni di quelli che chiamiamo fuoriclasse, in qualsiasi ambito, sono state spiegate superficialmente come abilità innate o doni divini. Notando, però, in diversi studi, che ogni atleta, musicista o professionista in generale, avesse una superiorità limitata al dominio di competenza e non generica, la credenza del dono divino ricevuto alla nascita ha iniziato col tempo a vacillare, mentre ha iniziato a prendere piede l'idea che grazie alla plasticità cerebrale e fisica dell'uomo si assista nel tempo ad un processo di adattamento specifico delle attività tipiche del dominio (Biagioli, 2013). Di fondamentale importanza in quest'ottica, fu proprio la scoperta della plasticità neurale, cioè l'abilità del sistema nervoso di cambiare sia a livello strutturale che funzionale, in seguito a stimoli durante tutto l'arco della vita dell'individuo. Già l'anatomico e chirurgo Vincenzo Giacinto Malacarne (1744-1816), si interessò all'argomento effettuando studi pioneristici sugli animali, in particolar modo su coppie di individui della stessa cucciolata notando come l'addestramento e le stimolazioni ambientali a cui veniva sottoposto un solo cucciolo, andassero a determinare uno sviluppo differente delle circonvoluzioni cerebrali che tendevano ad aumentare di volume. In questo modo, si scoprì che effettivamente il cervello è plastico e modificabile da stimoli ambientali, ovvero esterni all'organismo. a conclusioni simili giunse anche Charles Darwin (1809-1882) nel 1872 quando osservò che il cervello di animali tenuti in cattività era più piccolo rispetto a quello di animali tenuti liberi ipotizzando che questo fosse dovuto ad una limitazione motoria, sensoriale ed intellettuale degli animali tenuti in cattività per generazioni. La nascita del termine "neuroplasticità", però, si fa risalire solo al 1890 con James Williams in *"Principles of Psychology"*, all'interno del quale, Williams sostiene che la plasticità è il processo di una struttura abbastanza debole da cedere ad un'influenza, ma abbastanza forte da non cedere all'improvviso. Intorno agli anni Sessanta del 900, con lo sviluppo tecnologico che ha portato alla diffusione di tecniche non invasive per lo studio del sistema nervoso e dell'attività cerebrale, si è potuto confermare quella che in precedenza era solamente un'intuizione

dei clinici: il cervello è un organo non solo dinamico, ma plastico e capace di modificarsi sia strutturalmente sia funzionalmente le cui reti neurali e strutture a esse correlate si riorganizzano attivamente grazie all'esperienza e alla pratica. Grazie allo sviluppo di tecniche di neuroimaging sono stati compiuti progressi nello scoprire i meccanismi alla base della plasticità cerebrale associata all'acquisizione di capacità motorie. I cambiamenti strutturali indotti dall'apprendimento interessano sia la materia grigia che quella bianca e sono stati documentati negli esseri umani, a scale temporali sempre più piccole, dopo essere stati indotti per molto tempo solamente negli animali da laboratorio. (Dayan et al, 2011). Diversi studi nel campo della neuroplasticità hanno riportato forti evidenze di una correlazione positiva tra la performance motoria, performance cognitiva e volume della materia grigia, mentre solamente una piccola quantità di ricerche hanno dimostrato una relazione inversa, ovvero che una miglior performance sia associata ad un minor volume di materia grigia. (Minino Roberta, 2020). L'apprendimento di una attività ed il suo svolgimento nel miglior modo possibile, come già accennato, non interessa solamente lo sport e numerose prove di plasticità neurale provengono anche dalla musica: Schwenkreis e colleghi, infatti, nel 2007, hanno confrontato le attivazioni di 15 violinisti professionisti destri sani e 35 individui di controllo sani non musicisti



tramite TMS. Le performance motorie richieste erano di vario tipo, relative al quotidiano e appartenenti quindi a differenti domini; i violinisti hanno mostrato una attivazione asimmetrica della corteccia motoria e somatosensoriale significativa: l'emisfero sinistro si attivava di più rispetto al destro, cosa che nei non musicisti non avveniva, come si osserva dalla figura 1.

Fig. 1 A) Attivazioni cerebrali di una violinista esperta durante il compito motorio; B) Attivazioni cerebrali di un soggetto del gruppo di controllo durante il compito motorio (Schwenkreis et al., 2007, p.3297)

Era evidente, quindi, che gli anni di allenamento avevano portato ad una riorganizzazione cerebrale che però a livello comportamentale, non determinava una differenza tra i due gruppi: questo suggerisce che le modifiche cerebrali osservate erano specifiche per il compito preciso (suonare il violino) e non generiche. Osservazioni di modifiche a livello corticale in seguito ad esercizio motorio, non sono state osservate solo in soggetti che avevano praticato lo stesso gesto per anni, ma anche in soggetti che si erano allenati per tempi molto più brevi. Pascual-Leone e colleghi, infatti, in uno studio del 1995, hanno dimostrato che l'acquisizione di nuove capacità motorie fini potrebbe richiedere una modifica del sistema nervoso, e che anche il solo esercizio mentale determina delle modifiche a livello di plasticità corticale. Hanno quindi testato 15 soggetti che non avevano mai suonato il piano, lavorato come dattilografi o in generale svolto professioni in cui si richiedessero capacità fini delle dita della

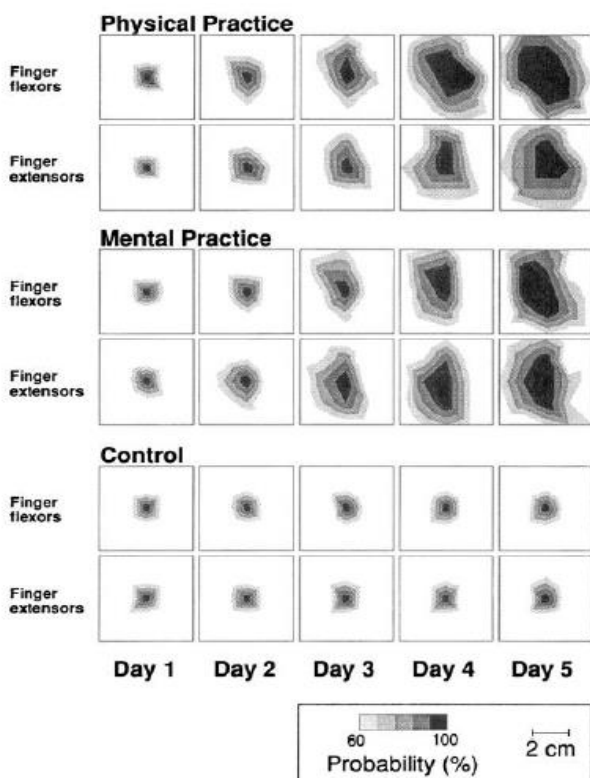


Fig. 2 (Pascual-Leone et al., 1995, p.1041)

possibilità di toccarlo. Tramite TMS sono state osservate le aree corticali connesse ai muscoli flessori ed estensori delle dita lunghe sia alla baseline che alla conclusione dello studio. Terminati i 5 giorni, nel gruppo “esercizio mentale”, seppur in misura inferiore rispetto al gruppo “esercizio fisico”, sono

mano, gli individui sono stati suddivisi in gruppi differenti: il “gruppo di controllo” non ha praticato alcun tipo di esercizio; il gruppo di “esercizio fisico” ha allenato per 5 giorni in sessioni giornaliere di 2 ore l’abilità al pianoforte; infine il gruppo di “esercizio mentale” ha praticato per 5 giorni in sessioni giornaliere di 2 ore ciascuna, esercizi di immaginazione mentale sedendosi davanti al pianoforte ed immaginando le proprie dita scorrere su di esso senza avere però la

state osservate modifiche interessanti a livello corticale: i cambiamenti negli output delle aree cerebrali motorie ai muscoli coinvolti nel task non differivano tra il gruppo “esercizio mentale” e quello “esercizio fisico”, come rappresentato in figura 2. È stato inoltre osservato che, una volta terminato l’allenamento mentale, con una sola sessione di allenamento pratico, gli individui raggiungevano i livelli di chi aveva ripetuto l’allenamento fisico per tutti i 5 giorni. Questo studio ha confermato quindi che la neuroplasticità è effettivamente una caratteristica del cervello che è osservabile anche nel breve periodo, e che l’allenamento mentale attivi le medesime aree di quello fisico mostrando risultati compatibili con esso, suggerendo, inoltre, che il training mentale possa essere un valido sostituto della pratica fisica quando questa non può essere effettuata come in pazienti temporaneamente immobilizzati, o in sportivi infortunati.

CAPITOLO II

L'IMMAGINAZIONE MOTORIA

2.1 Che cos'è l'immaginazione motoria

2.1.1 Definizioni e varianti. L'immaginazione è una particolare forma di pensiero che non segue regole fisse [...], un'elaborazione libera del contenuto di un'esperienza sensoriale [...], è facoltà di formare immagini, di elaborarle, svilupparle e anche deformatle, presentandosi in ogni caso come potenza creatrice (fonte: enciclopedia Treccani). Partendo da questa definizione, si può comprendere come l'immaginazione permetta di andare ad astrarre un contenuto, a crearlo o ricrearlo nella mente del soggetto, in situazioni dove tale contenuto è assente: questa rappresenta una capacità di fondamentale importanza per l'essere umano sia a livello individuale che a livello sociale. L'immaginazione, o *Imagery* applicata allo sport, è stata definita in maniere differenti nel corso del tempo. Richardson nel 1969 diede una prima definizione dell'*imagery* in questi termini: “La mental imagery si riferisce a quelle esperienze quasi-sensoriali o quasi-percettive di cui siamo consapevoli e che esistono in assenza di quegli stimoli che sono riconosciuti come i responsabili di quelle specifiche reazioni sensoriali o percettive, e che ci si aspetterebbe abbiano una diversa conseguenza dalla loro controparte sensoriale o percettiva” (Richardson, 1969). Successivamente Vaealey e Greenleaf nel 2001, in maniera breve, semplice, ma esaustiva, hanno proposto la loro definizione di *Imagery* sostenendo come essa sia la conseguenza di un “utilizzo di tutti i sensi per creare o ricreare un'esperienza nella mente”. L'utilizzo di tutti i sensi, come si potrà notare nei prossimi paragrafi di questo elaborato, è risultato fondamentale nei vari studi; l'immaginazione, infatti, non è legata solamente alla sfera visiva come si può pensare, ma si concentra anche, se non soprattutto, sulla sfera cinestesica, ovvero come la persona “sente” il movimento, essa inoltre comporta la consapevolezza interna della posizione e dei movimenti delle parti del corpo (Pino, 2019). Ridderinkhof e Brass (2015) sostengono che l'immaginazione motoria cinestesica (*Kinesthetic Motor Imagery*, KMI) sia basata sull'attivazione di un'immagine anticipatoria delle conseguenze sensoriali dell'azione. L'attivazione di questa rappresentazione motoria porta ad un processo di emulazione interna dell'atto motorio che ha un elevato livello di similarità con l'effettivo output motorio. La comparazione tra

l'effetto previsto dell'azione e l'emulazione interna dell'atto motorio può determinare un "segnale d'errore" che è alla base del miglioramento della performance motoria senza la necessità di effettuare alcun movimento reale. Le sessioni di immaginazione motoria possono essere proposte in diverse varianti ed è necessario fare delle distinzioni:

- Immaginazione motoria cioè il processo di rappresentazione mentale di un movimento del proprio corpo senza la sua realizzazione; ed immaginazione del movimento, ovvero il procedimento mediante il quale un individuo immagina un oggetto in movimento (Pino, 2019);
- Immaginazione interna ovvero immaginare sé stessi mentre si effettua il compito richiesto, o immaginazione esterna in cui gli atleti si osservano in terza persona. Ad esempio ricreare una propria partita nella propria mente è immaginazione interna, osservare una partita di terzi o rivedersi tramite videoclip è definita immaginazione esterna (Parnabas et al, 2015);
- Immaginazione statica, ovvero la visualizzazione di un'immagine, o visualizzazione dinamica, cioè la visualizzazione di una sequenza. William James (1890) la paragona al volo di un uccello formato dal passaggio dallo stare appollaiato staticamente al volo dinamico.

Queste distinzioni non sono di poco conto e, come successivamente si evincerà, hanno una notevole importanza sull'effetto del training mentale, andando ad influire sui risultati in maniera considerevole.

2.1.2 Il modello PETTLEP. Uno dei protocolli più utilizzati quando si applica l'immaginazione motoria all'ambito sportivo, è il modello PETTLEP proposto da Holmes e Collins (Holmes & Collins, 2001), il quale si compone di una lista di 7 fattori che conferiscono il nome al modello stesso e che sono stati riportati nella mappa concettuale in figura 3:

1. *Physical* (Fisico): associare all'immaginazione una simulazione del movimento facendo sì che l'allenamento non coinvolga solamente la parte mentale ma anche quella fisica;

2. *Environment* (Contesto): cercare di ricreare in maniera più fedele possibile il contesto dell'allenamento o della gara dell'atleta tramite l'utilizzo di video, ad esempio.
3. *Task* (Compito): il compito deve essere adatto alle possibilità effettive dell'atleta, proponendo quindi gesti atletici realmente eseguibili per il soggetto;
4. *Timing* (Tempi di esecuzione): deve esserci una corrispondenza tra i tempi di esecuzione immaginati e quelli reali;
5. *Learning* (Apprendimento): il compito deve mantenere un'equivalenza funzionale andando ad esempio ad associare al training mentale, un training fisico o tecnico;
6. *Emotional* (Emotività): è importante andare a ricreare le emozioni effettivamente provate durante la gara per apprendere come controllarle ed utilizzare nel modo migliore;
7. *Perspective* (Prospettiva): adottare un punto di vista in prima persona risulta più funzionale nella maggior parte degli sport.

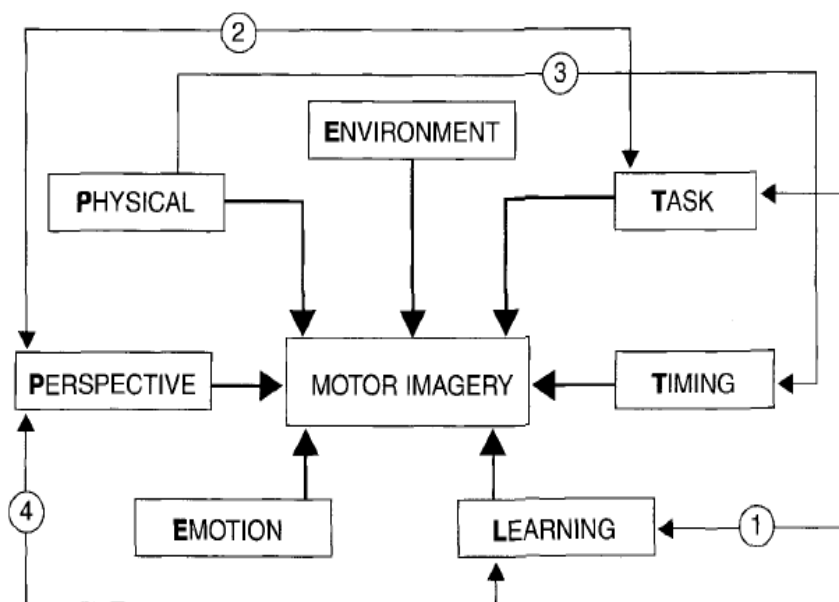


Fig. 3 Componenti del modello PETTLEP e loro interazioni (Holmes & Collind, 2001, p.70)

Come è comprensibile dall'elenco, per far sì che l'immaginazione porti i migliori risultati, essa deve includere tutte le caratteristiche cinestesiche, ambientali ed emozionali del movimento reale; per fare

ciò è necessario che si immagini il movimento assumendo la postura tipica del movimento reale facendo sì che il cervello riceva le adeguate stimolazioni sensoriali e che l'immaginazione sia vissuta in prima persona; questo è quello che viene riportato nel libro "Immaginazione, Stili di Vita e Attività Motoria", volume di Pino (2019) che, inoltre evidenzia alcuni passaggi utili per ottenere il massimo successo dall'utilizzo del modello PETTLEP:

- Eseguire esercizi di riscaldamento con esercizi specifici seguiti da periodi di respirazione;
- Posizionarsi in un luogo tranquillo in una posizione comoda ad occhi chiusi;
- Seguire un programma di allenamento mentale strutturato iniziando con 3-4 sedute settimanali di breve durata;
- Visualizzare i movimenti corretti e positivi a cui dare un punteggio per valutare la nitidezza ed i dettagli;
- Cominciare dalle azioni che riescono meglio.

Può inoltre rivelarsi fondamentale per la riuscita e per la massimizzazione dei risultati ottenuti dall'immaginazione motoria, intraprendere, prima della pratica immaginativa, un percorso di consapevolezza corporea per far sì che non solo il movimento immaginato sia corretto, ma anche che lo schema corporeo non presenti vizi. Un esempio di applicazione del modello PETTLEP si può osservare nel recente studio di Cherappurath e colleghi del 2020, essi hanno selezionato 44 giovani tennisti di alto livello ed hanno proposto loro delle sessioni di immaginazione motoria utilizzando il paradigma PETTLEP per valutare il suo effetto sulla battuta nel tennis: sono stati formati quattro gruppi da 11 partecipanti, un gruppo fungeva da gruppo di controllo e gli altri 3 (E1, E2, E3) rappresentavano le condizioni sperimentali. Il gruppo di controllo ha eseguito i classici allenamenti senza cambiare nulla nella propria routine, il gruppo E1 ha eseguito allenamenti specifici per la battuta, il gruppo E2 ha eseguito solamente sessioni di PETTLEP, il gruppo E3 ha eseguito allenamenti specifici per la battuta associati a sessioni PETTLEP. Ogni gruppo praticava 3 allenamenti settimanali o sessioni mentre il gruppo E3 eseguiva 3 allenamenti pratici e 3 sessioni

PETTLEP settimanali a giorni alterni; il tutto per una durata di 12 settimane. Per rispettare i principi del modello PETTTLEP proposto, le sessioni di immaginazione sono state eseguite in un campo da tennis (*Environment*), con i soggetti vestiti da tennis e provvisti di racchetta e pallina (*Physical*), è stato richiesto ai partecipanti di concentrarsi sulle emozioni e sulle risposte fisiologiche tipiche della partita (*Task; Emotion*), gli atleti venivano inoltre esortati a replicare la loro routine pre-battuta tipica della gara per far sì che lo scenario fosse il più fedele possibile a quello del match (*Timing; Perspective*), infine venivano chiesti loro dei feedback e dei suggerimenti che poi venivano applicati per migliorare il compito immaginativo (*Learning*). Valutando le capacità di battuta prima e dopo il blocco di allenamenti e sessioni, i risultati, visibili in figura 4, sono stati evidenti: il gruppo che aveva ricevuto allenamenti pratici combinati con sessioni di immaginazione tramite il modello PETTTLEP mostrava una differenza nella performance notevolmente più ampia rispetto agli altri gruppi, a testimonianza del fatto che l'associazione di allenamento fisico e mentale determini un maggiore sviluppo delle abilità degli atleti.

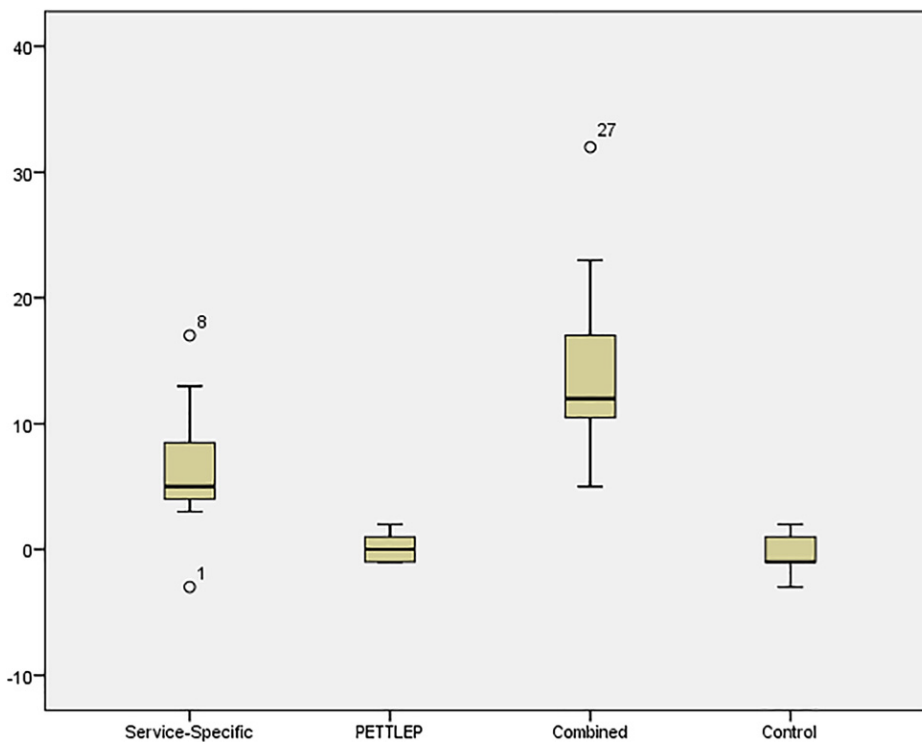


Fig. 4 (Cherappurath et al., 2020, p. 6)

Il PETTTLEP è ad oggi una metodologia conosciuta e di comprovata utilità nell'ambito della pratica sportiva (Wright & Smith,

2009), negli studi sotto citati si potrà osservare l'importanza e la grande applicazione di questo

modello e di questi 7 punti. Essi, infatti, rappresentano dei parametri utilizzati e controllati nella maggior parte delle ricerche riguardo l'immaginazione motoria.

2.1.3 Strumenti di valutazione. Per quanto riguarda la valutazione dell'abilità di immaginazione nello sport, diversi sono i metodi utilizzabili: questionari come il *Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire* (KVIQ, Malouin, 2007) o come la *Sport Imagery Ability Measure* (Watt, Morris & Andersen, 2004), la quale si compone di 12 item: 5 dimensioni dell'immagine (Vividezza, Controllo, Facilità di Generazione e Velocità di Generazione dell'immagine, Durata); 6 modalità sensoriali (Visiva, Auditiva, Cinestesica, Olfattiva, Gustativa, Tattile); e una Valutazione Emotiva della scena. Per ogni item il soggetto deve indicare su una scala da 0 a 100 quale valore rappresenti la sua esperienza immaginativa così da avere la possibilità di comprendere la sua personale esperienza. Ci sono poi metodi specifici per andare a valutare una sola delle componenti dell'immaginazione, prendendo in esame la vividezza, ad esempio, essa può essere misurata andando a proporre il *The Plymouth Sensory Imagery Questionnaire (Psi-Q)* di Andrare e colleghi (2013). Il questionario, come si evince dalla figura 5, si divide in categorie sensoriali: visione, gusto, olfatto, suono, tocco, percezione fisica, emozione. Per ogni categoria al soggetto viene chiesto di immaginare 5 diverse situazioni o immagini che poi egli dovrà valutare tramite una scala likert da 10 punti. È utile, poi, andare ad utilizzare la cronometria mentale; questa è una strategia usata per confrontare i tempi dei movimenti reali e quelli dei movimenti immaginati. Più i tempi di movimento si avvicinano a quelli di immaginazione, maggiore è l'abilità immaginativa del movimento (Pino, 2019). Ovviamente i questionari subiscono delle modifiche, degli aggiornamenti e delle ulteriori validazioni: partendo dal *Movement Imagery Questionnaire* (MIQ, Hall, 1983) e dalla sua successiva rivisitazione, cioè il *Movement Imagery Questionnaire-Revised* (MIQ-R, Hall, 1997), entrambi utilizzabili in soggetti adulti sani, si è arrivati al *Movement Imagery Questionnaire-Revised, Second Edition* (MIQ-RS, Gregg, 2010) che nel 2012 è stato validato per essere utilizzabile sia in soggetti sani che in soggetti in riabilitazione da ictus.

Psi-Q: The Plymouth Sensory Imagery Questionnaire

Please try to form the images described below and rate each mental image on the following scale:

0 (no image at all) to 10 (image as clear and vivid as real life)

Tick the appropriate box for each item. Please rate every item

Imagine the appearance of:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a friend you know well	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
a cat climbing a tree	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
a sunset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
the front door of your house	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
a bonfire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Imagine the sound of:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
an ambulance siren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
hands clapping in applause	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
the mewing of a cat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
the sound of a car horn	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
the sound of children playing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Imagine the smell of:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a stuffy room	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
a rose	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
fresh paint	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
newly cut grass	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
burning wood	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Imagine the taste of:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
mustard	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
toothpaste	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
lemon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sea water	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
black pepper	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Imagine touching:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
warm sand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
a soft towel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
a sunset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
the front door of your house	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
a bonfire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Imagine the bodily sensation of:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
relaxing in a warm bath	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
having a sore throat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
threading a needle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
jumping into a swimming pool	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
walking briskly in the cold	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Imagine feeling:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
excited	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
relieved	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
funious	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
in love	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
scared	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

To score, find the mean response within each subscale, or overall.
 In reporting any use of this questionnaire please cite:
 Andrade, J., May, J., Deeprose, C., Baugh, S.J., Ganis, G. (2013). Assessing Vividness of Mental Imagery: The Plymouth Sensory Imagery Questionnaire. *British Journal of Psychology*. DOI: 10.1111/bjop.12050

Fig. 5 (Andrade et al., 2013)

Per fare ciò, degli 8 item presenti nel MIQ-R (4 visivi e 4 cinestesici), ne sono stati eliminati due: uno di tipo visivo ed uno di tipo cinestesico che richiedevano l'esecuzione o immaginazione del salto, in quanto pazienti in riabilitazione potrebbero non essere in grado di eseguire questo compito; successivamente, sono stati aggiunti 4 item per la modalità visiva e 4 per quella cinestesica che comprendevano azioni quotidiane: piegarsi in avanti, spingere un oggetto (ad esempio una porta), tirare un oggetto (come una maniglia), raggiungere ed afferrare un oggetto (come può essere un bicchiere) (Gregg et al., 2007). Queste modifiche hanno fatto sì che il questionario sia composto da 14 item che valutano l'abilità immaginativa del soggetto, suddivisi in 7 di tipo visivo e 7 di tipo cinestesico. Esso è quindi in grado di valutare sia l'immaginazione che l'effettiva capacità di esecuzione di movimenti funzionali e grossolani, tutti seguiti da una posizione seduta, in soggetti sani ed in soggetti in riabilitazione.

Visual Imagery Scale							Kinesthetic Imagery Scale						
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Very hard to see	Hard to see	Somewhat hard to see	Neutral (not easy not hard)	Somewhat easy to see	Easy to see	Very easy to see	Very hard to feel	Hard to feel	Somewhat hard to feel	Neutral (not easy not hard)	Somewhat easy to feel	Easy to feel	Very easy to feel

Tab. 1 (Gregg et al. 2007)

Dopo aver immaginato i movimenti i partecipanti devono valutare la loro esperienza tramite una scala likert a 7 punti che valuta la facilità di vedere e sentire i movimenti partendo dal punteggio di 1 “molto difficile vedere/sentire”, al punteggio 7 “molto facile vedere/sentire”; come riportato nella tabella 1 (Butler et al., 2012).

2.2 Immaginazione motoria e attivazioni cerebrali

2.2.1 Aree cerebrali coinvolte. Durante un compito motorio le aree coinvolte sono molteplici:

- Corteccia motoria primaria (M1);
- Area motoria supplementare (SMA);
- Area motoria pre-supplementare (pre-SMA);
- Porzioni dorsali e ventrali della corteccia pre-motoria (PMC);
- Cervelletto e gangli della base;
- Corteccia somato-sensoriale primaria (S1)
- Lobo parietale, per lo più l’area parietale superiore ed inferiore (Pino O., 2019).

Diverse evidenze, ad oggi, sostengono che anche durante i compiti di immaginazione motoria vi siano delle attivazioni molto simili a livello cerebrale: in particolare sono state osservate attivazioni di neuroni a livello dell’area motoria supplementare (SMC) e della corteccia pre-motoria (PMC) seppur mostrando una sovrapposizione incompleta; del lobo parietale superiore ed inferiore con un aumento dell’attivazione legato all’aumento della richiesta spaziale del compito; e della corteccia motoria primaria (M1) che però mostra un’attivazione inferiore rispetto a quella osservata durante l’esecuzione del movimento (Munzert et al., 2009). Nel corso degli anni la volontà di definire con

sempre maggior precisione e certezza quali siano le aree comuni attivate durante l'immaginazione motoria e durante la performance effettiva è rimasta immutata, e questo dimostra l'interesse immutato riguardo l'argomento e la sua vastità; a conferma di ciò, sono qui riportate due ricerche effettuate ad un ventennio di distanza che mirano ad approfondire il medesimo argomento: nel 1996, infatti, Porro e colleghi hanno riportato evidenze riguardo come la sola immaginazione di un movimento determini l'attivazione di strutture cerebrali che risultano essere attivate anche durante la performance motoria: lo scopo della ricerca era comprendere se durante un compito di immaginazione motoria ci fosse effettivamente un'attivazione delle aree motorie e quale intensità essa avesse; per fare ciò, gli studiosi hanno esaminato tramite fMRI le attivazioni cerebrali di 14 soggetti volontari che sono stati testati in tre diversi task:

- 1- il movimento di toccare ritmicamente le dita della mano con il pollice (MP);
- 2- l'immaginazione di tale movimento (MI);
- 3- l'immaginazione di una scena statica (VI);

in cui condizione VI veniva usata come condizione di controllo in quanto evitava qualsiasi attivazione dovuta ad un esercizio di immaginazione motoria. Osservando le attivazioni durante i diversi task, i ricercatori hanno potuto evidenziare una differenza nell'intensità di attivazione a livello del giro precentrale anteriore (PreCGAnt) e posteriore (PreCGPost), ed a livello del giro postcentrale (PostCG) nelle varie condizioni: come si può osservare in figura 6, la quale riporta l'esempio delle attivazioni nella parte posteriore del giro precentrale, durante la performance motoria la risposta cerebrale risultava massima, diminuiva nella condizione MI, e risultava minima durante l'immaginazione della scena statica.

Precentral gyrus (posterior portion)

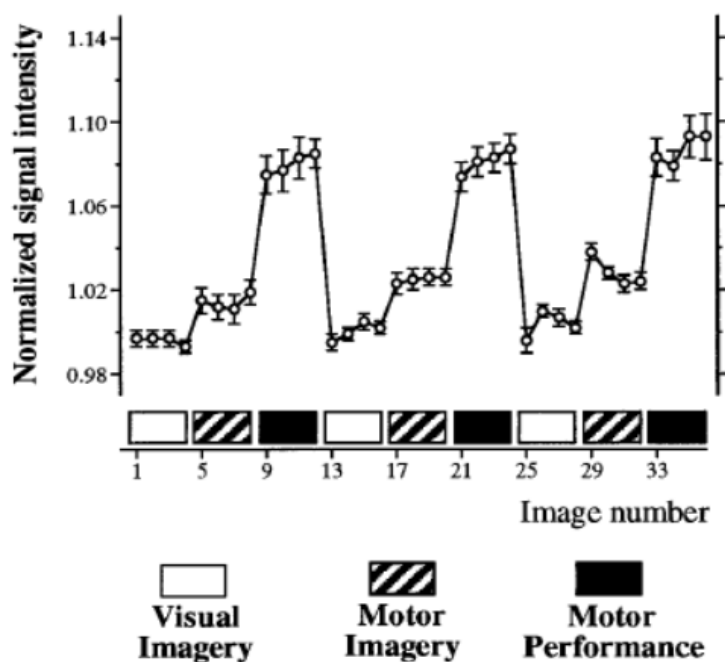


Fig. 6 (Porro et al., 1996, p.7691)

Questo risultato suggerisce che l'immaginazione, per determinare un effetto a livello cerebrale paragonabile a quello della performance motoria, necessita essere riferita ad un movimento e che, quindi, l'esercizio mentale statico non risulta essere sufficiente.

Esattamente 21 anni dopo, Batula e colleghi nel 2017, hanno indagato le diverse attivazioni cerebrali in soggetti sani dovute ad immaginazione motoria confrontandole con quelle relative all'esecuzione del movimento. Utilizzando la spettroscopia funzionale nel vicino infrarosso (fNIRS), hanno così analizzato l'attività cerebrale dei soggetti sia durante effettivi movimenti con mani e piedi, che durante sessioni di immaginazione motoria delle medesime azioni. La fNIRS registra i livelli di emoglobina ossigenata (HbO) e deossigenata (HbR) presenti nel sangue, valutando così la risposta emodinamica con il vantaggio di avere una elevata risoluzione temporale. Come si evince dalla figura 7, i livelli di HbO e quindi le maggiori attivazioni, sono stati riscontrati, come ci si aspettava, nella condizione di esecuzione motoria; il dato interessante, però, riguarda la presenza di attivazioni significative nelle aree coinvolte nell'esecuzione della performance anche nella condizione di sola immaginazione. Mentre la ricerca riguardo le attivazioni cerebrali dovuta ad immaginazione motoria ed a performance motoria approcciate separatamente è sempre attuale ma non più recente, sarà solo del 2014 uno dei primi studi che si interessa all'utilizzo congiunto delle due modalità cercando di comprendere quali siano i vantaggi derivanti da questo connubio: Dodakian e colleghi (2014), infatti,

presero in considerazione 7 pazienti in riabilitazione in seguito ad ictus che presentavano emiparesi al lato destro.

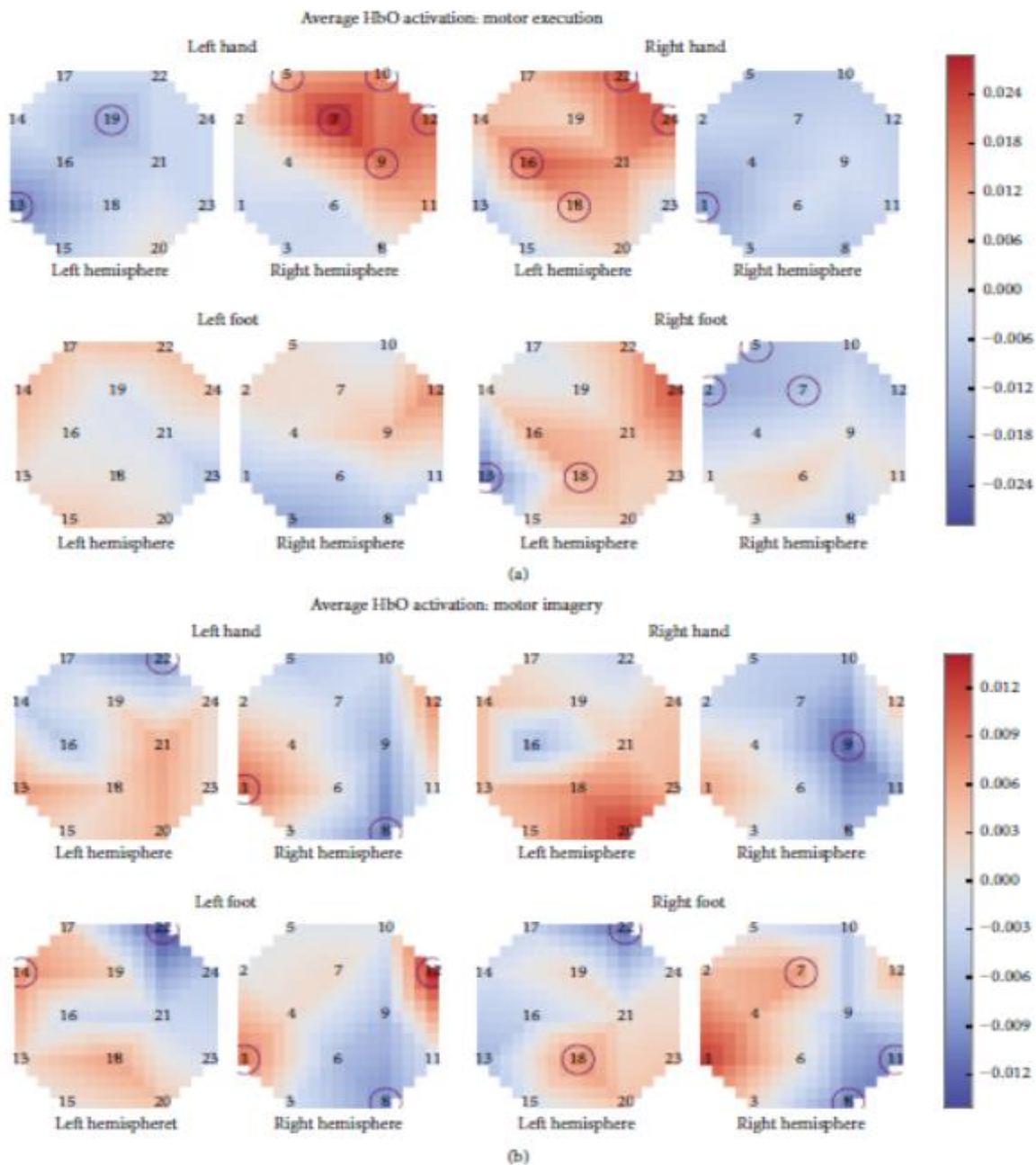


Fig. 7 (Batula et al., 2017, p.7)

Gli studiosi richiedevano ai soggetti di immaginare di prendere in mano la maniglia di una porta e di girarla così da rendere più facile l'immaginazione del gesto proponendo un movimento quotidiano e conosciuto da tutti. Vennero proposte due condizioni: la sola esecuzione di movimenti di pronazione e supinazione dell'avambraccio destro e l'esecuzione degli stessi movimenti accoppiata alla loro immaginazione.

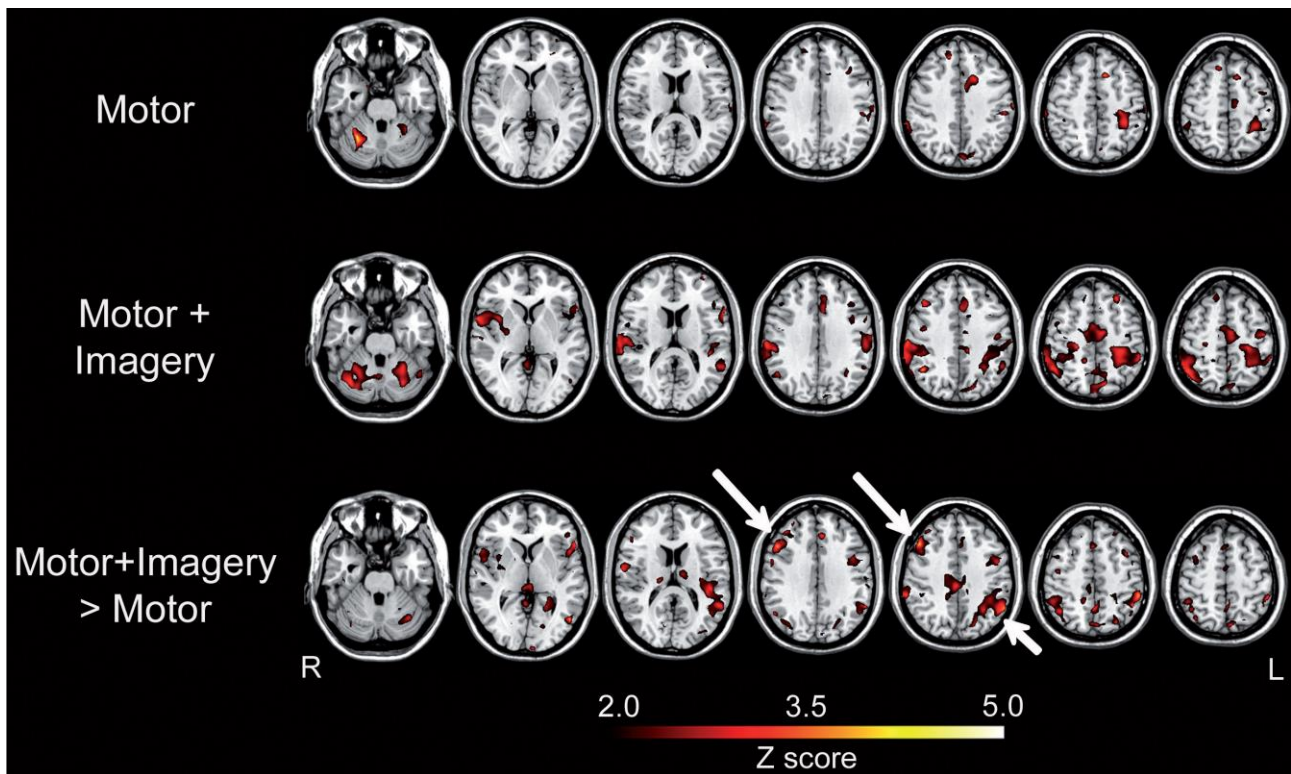


Fig.8 (Dodakian et al., 2014, p.845)

Come si può vedere osservando la figura 8, che riporta le attivazioni cerebrali ottenute tramite fMRI, si possono definire i seguenti risultati: nella condizione di solo atto motorio sono state attivate solamente le aree adibite a pianificazione ed esecuzione motoria come la corteccia sensorimotoria ed il cervelletto; nella condizione di immaginazione associata ad atto motorio, invece, si osservava un'attivazione più ampia ed è stata evidenziata un'attività nettamente maggiore a livello della corteccia prefrontale dorsolaterale destra e del lobo parietale inferiore di sinistra. La corteccia prefrontale riveste vari ruoli nel controllo cognitivo del movimento, ruolo che va ad aumentare di importanza con l'età ed in seguito a problematiche come ictus; la sua attivazione in questo studio può essere dovuta ad un aumento di utilizzo delle risorse attentive riferite al movimento. Per quanto riguarda il lobulo parietale inferiore, invece, esso è fondamentale nelle azioni finalizzate, condizione che in questo caso è stata ricreata dando significato al gesto tramite l'immaginazione dell'apertura della maniglia. Da questo studio non si può dire che queste attivazioni abbiano un effetto benefico o meno, ma è oggettivo come associare l'immaginazione motoria alla performance determini un'attivazione maggiore e più estesa delle aree cerebrali.

2.2.2 *Immaginazione motoria e ritmi cerebrali.* McFarland e colleghi nel 2000 hanno effettuato uno studio con lo scopo di comprendere se ed in che misura ci fossero delle similitudini tra i ritmi cerebrali mu e beta registrati durante gli atti motori e le medesime frequenze osservate durante l'immaginazione motoria. Per fare ciò hanno analizzato le registrazioni cerebrali di 33 soggetti adulti tramite EEG sia durante sessioni di immaginazione motoria che durante esercizi di performance motoria. In questo modo hanno potuto evidenziare una desincronizzazione in entrambe le condizioni a livello delle aree sensorimotorie per entrambi i ritmi Mu e Beta ma in maniera differente: il primo, riportava una desincronizzazione a livello laterale postcentrale, mentre per il secondo la desincronizzazione veniva rilevata nelle misurazioni relative alle zone centrali. I risultati osservati hanno evidenziato come la desincronizzazione delle onde Mu e Beta risultasse simile sia se dovuta ad immaginazione motoria, sia se determinata dal movimento effettivo; inoltre le aree attivate erano le medesime. Alcune importanti evidenze riguardo il funzionamento delle onde cerebrali ed in particolare delle onde Beta, provengono da studi effettuati su pazienti affetti da Morbo di Parkinson (Brown & Marsden, 1999; Kuhn et al., 2006): sia perché questa condizione determina un rallentamento dei movimenti che è stato associato ad un ritmo Beta atipico, sia perché permette di utilizzare metodi che su soggetti sani sarebbero impraticabili. Nel 2006, ad esempio, Kuhn e colleghi hanno osservato le modifiche a livello cerebrali di 8 pazienti affetti da Disturbo di Parkinson, ai quali erano stati impiantati degli elettrodi in profondità a livello del nucleo subtalamico (STN). I soggetti erano seduti di fronte ad uno schermo, al segnale "go", dovevano effettuare un'estensione del polso della mano dominante (*Motor Execution, ME*), oppure immaginare il medesimo movimento senza muovere la parte del corpo (*Motor Imagination, MI*). Si richiedeva specificamente una concentrazione sulla componente cinestetica del movimento durante l'immaginazione, ovvero non focalizzarsi sulla visualizzazione del gesto, ma piuttosto sulla percezione delle sensazioni provate durante l'effettivo atto motorio. È stata poi aggiunta una terza condizione in cui solo 5 soggetti al segnale "go", dovevano effettuare un esercizio di immaginazione non motoria, nello specifico

immaginare il viso di un parente (*Visual Imagination*, VI). Valutando le medie dei valori sia nella condizione ME che MI è stata osservata una significativa desincronizzazione evento-correlata (ERD) del ritmo Beta dopo il segnale “go”: situazione comune a tutti i pazienti osservati. Le due condizioni hanno generato una soppressione del ritmo beta molto simile in termini di frequenza, andamento temporale, e grado, come si evince dalla figura 9.

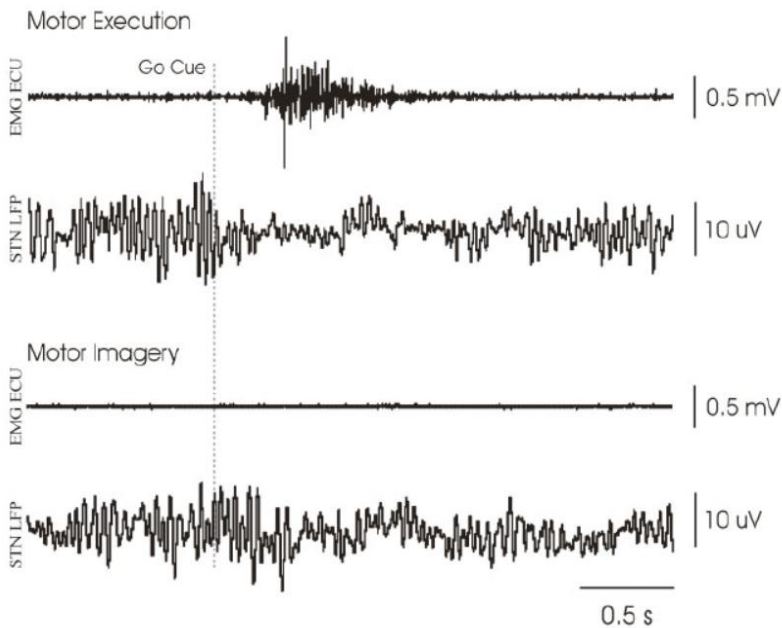


Fig.9 (Khun et al., 2006, p.699)

Analizzando la condizione VI, ovvero di visualizzazione statica, si è comunque osservato un ERD significativo, ma decisamente

inferiore rispetto alle due condizioni precedentemente analizzate, al contrario, una sincronizzazione evento-correlata (ERS) è apparsa significativamente inferiore nella condizione MI e minima nella condizione VI rispetto alla condizione ME. Questi risultati vanno quindi a confermare l'ipotesi che l'immaginazione motoria sia una tecnica valida per andare a simulare una performance anche a livello neurale e fisiologico; evidenziano inoltre un'importante differenza tra l'immaginazione motoria e l'immaginazione statica: non è, infatti, la sola immaginazione a determinare un'attivazione cerebrale comparabile a quella connessa all'attività fisica, ma è fondamentale visualizzare una situazione dinamica concentrandosi, come suggerito dagli autori di questo studio, sulla cinestetica ovvero la sensazione del movimento.

2.3 Immaginazione motoria: applicazioni

2.3.1 *L'immaginazione motoria nella riabilitazione.* Diverse sono le evidenze a livello clinico dei benefici dell'immaginazione motoria, che può essere utilizzata sia in associazione a movimenti motori (Dodakian e colleghi, 2014), sia come unica terapia quando i movimenti sono impossibili o fortemente compromessi dalla condizione dei pazienti. È il caso dello studio di Cramer e colleghi (2006), i quali hanno selezionato 10 soggetti che presentavano danni a livello del midollo spinale con conseguente tetra o paraplegia; per 7 giorni gli studiosi hanno proposto allenamenti di immaginazione motoria di lingua e piede. Confrontando il movimento dei muscoli non paralizzati dei pazienti prima e dopo la terapia, è stato notato un miglioramento in termini di velocità di esecuzione degli atti motori, mentre per quanto riguarda le attivazioni cerebrali, tramite fMRI è stato osservato un incremento di attività a livello del putamen sinistro e del globo pallido sinistro. Altra evidenza in ambito clinico è quella riportata da Dunsky e colleghi, che nel 2007 hanno effettuato uno studio prendendo come campione 17 soggetti con emiparesi agli arti inferiori dovuta a ictus unilaterale avvenuto almeno 3 mesi prima dello studio. Per 3 giorni a settimana per una durata di 6 settimane, hanno proposto ai pazienti 15 minuti di esercitazione con immaginazione motoria; al termine dello studio è stato osservato un aumento della velocità nella camminata che era mantenuto anche al follow-up effettuato dopo tre settimane dal termine dell'esperimento come riportato in Figura 10. Tramite l'utilizzo di apposite scale come la *Modified Functional Walking Categories Index (MFWC)* e la *Tinetti Performance-Oriented Mobility Assessment (POMA)*, sono stati riscontrati ulteriori miglioramenti che hanno interessato la cadenza, la possibilità di supporto dell'arto colpito, e, come rappresentato in figura 11, un incremento della lunghezza del passo; grazie a tali evidenze, gli autori possono quindi suggerire che sessioni di immaginazione motoria permettono di raggiungere un miglioramento significativo in pazienti con difficoltà motorie.

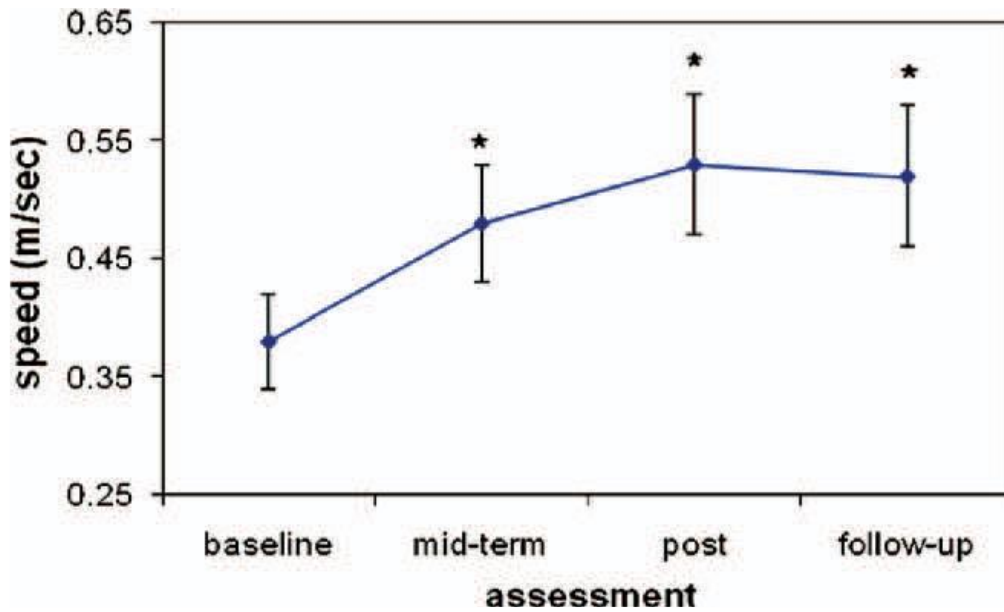


Fig. 10 (Dunsky et al., 2007, p.1582)

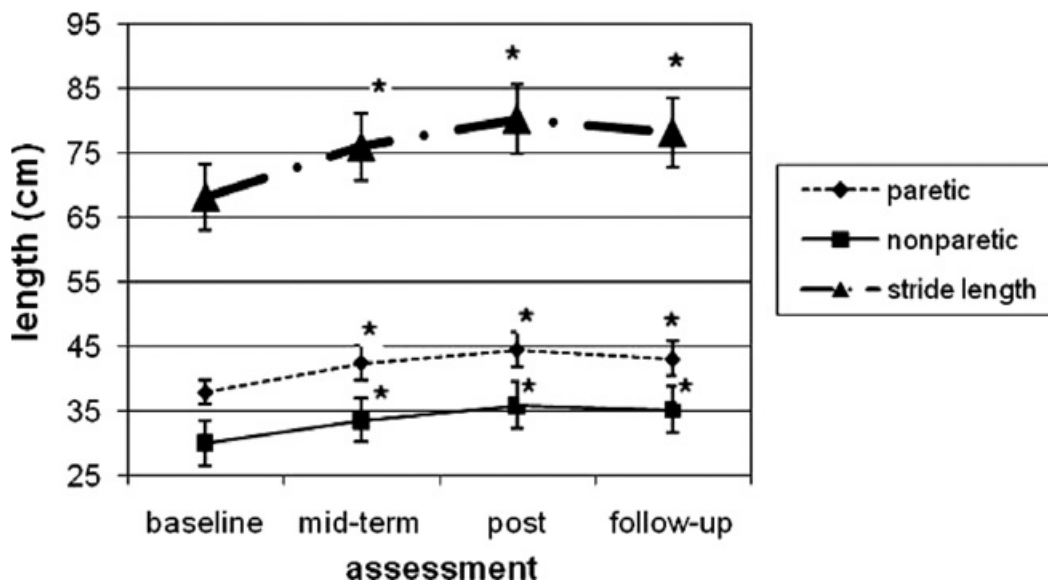


Fig. 11 (Dunsky et al., 2007, p.1582)

L'immaginazione motoria si è dimostrata funzionale anche in pazienti appena operati: nel caso specifico individui in fase di recupero da un intervento di artroplastica al ginocchio a causa di artrosi, hanno trovato giovamento dal dolore ed un miglior recupero delle loro abilità motorie degli arti inferiori, seguendo, accanto alla classica fisioterapia, un protocollo di immaginazione motoria che ha determinato miglioramenti più rapidi rispetto a soggetti nella medesima condizione trattati in maniera classica (Briones-Cantero, 2020).

2.3.2 *L'immaginazione motoria nello sport.* L'utilità e le possibilità di applicazione dell'immaginazione motoria in ambito sportivo, sono state indagate in diversi sport: nel 2010, ad esempio, Chang e colleghi hanno effettuato uno studio andando ad osservare 18 arcieri professionisti e 18 soggetti senza alcuna esperienza precedente di tiro con l'arco. Ogni partecipante osservava un video di tiratori con arco di 10 minuti e successivamente effettuava il compito di immaginazione motoria: nella condizione sperimentale i soggetti dovevano rievocare a livello mentale il tiro con l'arco da una prospettiva in prima persona; nella condizione di controllo, invece, veniva richiesto di rilassarsi il più possibile immaginandosi fermi e seduti in una spiaggia deserta; l'idea in questo caso era quella di confrontare gli effetti dell'immaginazione di tipo statico e di quella di tipo dinamico. Ogni sessione di immaginazione aveva una durata di 30 secondi e veniva alternata con l'altra grazie ad un segnale acustico, per un tempo totale di 4 minuti; osservando le immagini ottenute dalla fMRI gli studiosi hanno evidenziato una differenza nell'organizzazione dei network neurali tra gli arcieri ed i non arcieri: questi ultimi durante l'immaginazione motoria risultavano avere un'attivazione estesa che comprendeva area premotoria (PMC), area motoria supplementare (SMC), lobo parietale inferiore (IPL) e superiore (SPL), area frontale dorsolaterale bilateralmente (DLFC), gangli basali e cervelletto. Gli arcieri più esperti, invece, hanno fatto registrare un'attivazione più ristretta e principalmente relativa all'area supplementare motoria come si nota dalla figura 12. Questo ha dimostrato che le attivazioni durante compiti di immaginazione motoria non dipendono dalla capacità di immaginazione dell'individuo, quanto piuttosto dalla sua capacità riguardo la performance motoria da visualizzare. I tiratori professionisti, infatti, mostravano la capacità di economizzare la pianificazione motoria, la quale determinava maggior focus, efficienza e risparmio di energia. Un'attivazione significativamente differente tra i due gruppi è stata individuata nel cervelletto, l'ipotesi degli autori è che questo, maggiormente attivato dai tiratori non professionisti durante l'immaginazione motoria, sia utilizzato dai meno esperti per poter concentrarsi non solamente sul

movimento di tiro, ma su un insieme di gesti e movimenti ai quali non sono abituati e che devono gestire e coordinare.

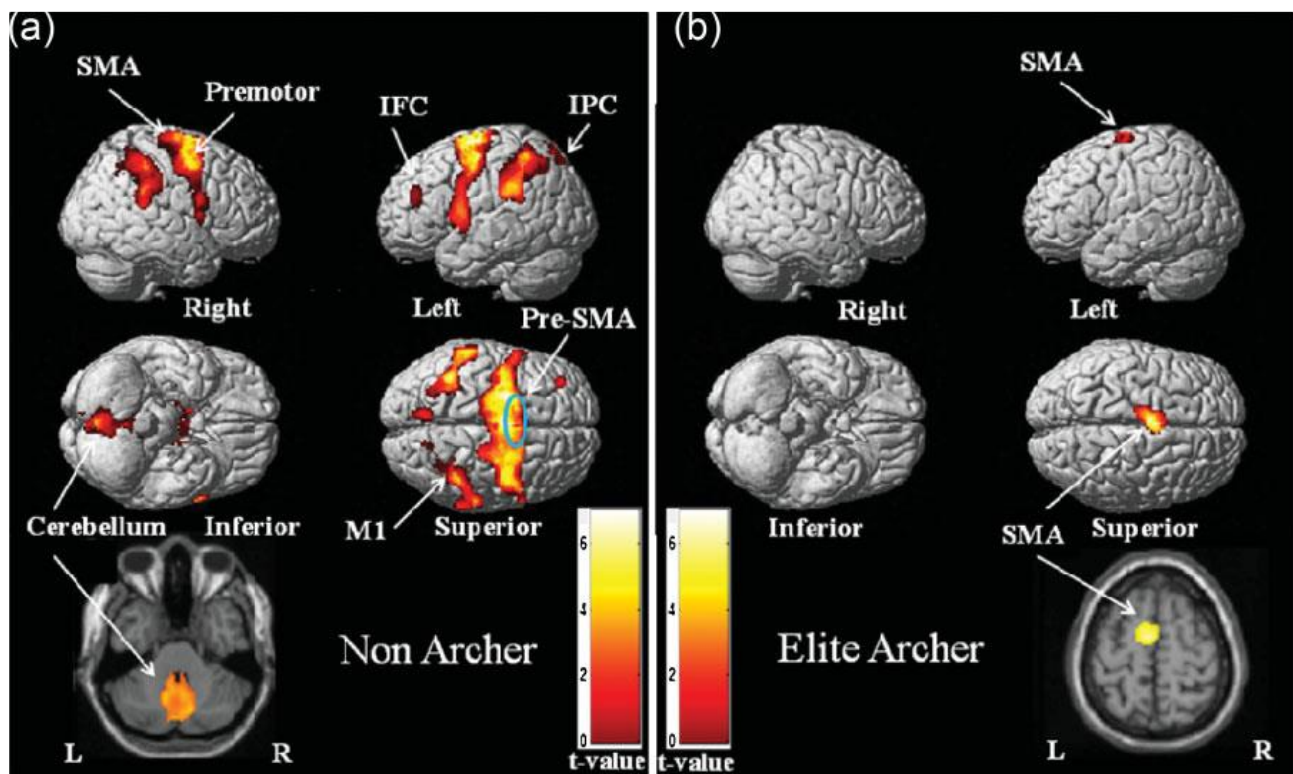
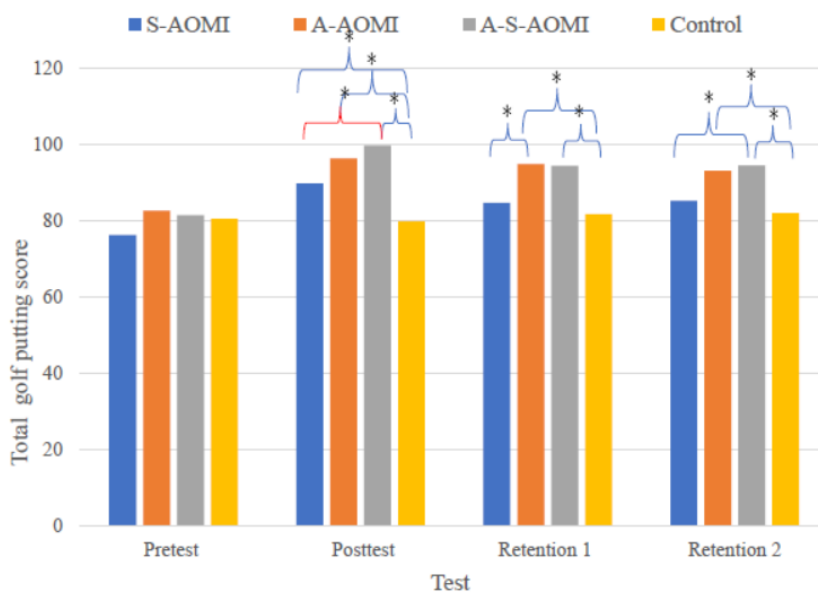


Fig. 12 (Chang et al., 2010, p.369)

Questi risultati sono in accordo con quelli ottenuti da altri studi (Haufler et al., 2000), in cui questa “*economia cognitiva*” è stata osservata in tiratori esperti rispetto a tiratori non esperti anche durante la performance, osservando differenze notevoli in termini di espansione delle attivazioni corticali. Come già evidenziato nella premessa, questi risultati dimostrano ancora una volta che i talenti e le capacità superiori di specialisti in specifici ambiti, abbiano una spiegazione scientifica basata sulle differenze strutturali e funzionali della corteccia cerebrale e del suo sviluppo ed adattamento nel corso degli anni. Nel 2014, Battaglia e colleghi si sono interessati all’applicazione di tecniche di immaginazione motoria per ottenere miglioramenti nell’ambito ginnico; hanno così effettuato uno studio selezionando 72 ginnaste di livello nazionale per valutare un eventuale possibilità di incremento del salto in seguito a sessioni di immaginazione motoria; hanno così suddiviso i soggetti in due gruppi: una condizione di controllo in cui le ginnaste hanno affrontato 6 settimane di lavoro fisico generico associato ad un lavoro specifico per il salto, ed una condizione sperimentale in cui le

atlete hanno effettuato per lo stesso periodo sessioni giornaliere di immaginazione motoria e, a livello fisico, solamente l'allenamento specifico per il salto, il medesimo proposto al gruppo di controllo. Al gruppo sperimentale veniva fatto osservare un videoclip in cui un'atleta professionista performava tre salti verticali e successivamente veniva chiesto ai soggetti di immaginarsi in prima persona al posto della protagonista del video, effettuando gli stessi movimenti e prestando attenzione alle sensazioni provate durante la performance motoria del salto. Confrontando i risultati ottenuti dai due gruppi, gli autori hanno evidenziato miglioramenti molto simili nonostante a livello fisico l'allenamento proposto alle ginnaste appartenenti alla condizione sperimentale fosse notevolmente inferiore ed hanno così suggerito che l'utilizzo dell'immaginazione motoria nell'ambito del miglioramento della forza fisica in generale, e del salto nel caso specifico, possa essere una soluzione efficace non solamente per l'esito dei test di salto, ma anche perché, sostengono gli autori, determina una maggior attivazione cognitiva che permette al cervello di inviare segnali più intensi ai muscoli dell'atleta ed inoltre riduce lo stress da sovraccarico a livello muscolare. Oltre che nel caso appena citato, l'integrazione di osservazione e immaginazione motoria, è stata proposta da diversi studi in diversi sport (vedere Robin et al. 2019): ad esempio Lin e colleghi nel 2022 hanno valutato quale fosse la miglior combinazione di osservazione dell'azione (AO) e sua



immaginazione (MI) nello sport del golf.

Fig. 13 (Lin et al., 2022, p.13)

Hanno quindi proposto ai 45 soggetti facenti parte dell'esperimento diverse condizioni: Sincrona (AO

ed MI allo stesso tempo), Asincrona (MI successiva ad AO), e Progressiva (prima approccio

asincrono, poi sincrono). Dopo aver diviso in soggetti in gruppi hanno proposto a ciascun gruppo una diversa condizione, aggiungendo un gruppo di controllo che invece non ha ricevuto alcun tipo di training: i risultati hanno mostrato un notevole miglioramento rispetto al pre-test di tutti i soggetti all'interno dei gruppi sperimentali rispetto a quelli appartenenti al gruppo di controllo, mentre non sono stati ottenuti risultati significativi riguardo quale fosse la miglior combinazione tra osservazione dell'azione e sua immaginazione come si evince dal grafico rappresentato in figura 13. Quello che è certo è che la combinazione di queste due pratiche, chiamata AOMI, determini una maggior attivazione neurale ed un coinvolgimento di più funzioni cerebrali, le quali permettono un miglioramento nelle prestazioni motorie ed una più rapida acquisizione di un loro apprendimento. Associare l'osservazione dell'azione all'immaginazione motoria, come già suggerito dal protocollo PETTLEP e come successivamente si evincerà dai risultati dello studio di Robin e colleghi del 2019, può rivelarsi utile e favorevole al miglioramento dell'esperienza immaginativa ma è fondamentale tenere conto della prospettiva con cui il soggetto osserva e successivamente immagina il movimento, una discordanza tra le due prospettive, infatti, potrebbe richiedere uno sforzo ulteriore all'individuo ed ostacolare la riuscita dell'allenamento.

2.3.3 L'immaginazione motoria nel basket. Nello sport della pallacanestro molti studi hanno indagato l'efficacia di varie metodologie di immaginazione motoria proposta sia come unico allenamento, sia associata ad altri tipi di pratica. Questo sport ha caratteristiche non facili da studiare in quanto molto dinamico e con contatti fisici importanti con i giocatori avversari che rappresentano un ostacolo non di poco conto; per questo e per le ragioni sotto riportate la maggior parte degli studi sull'immaginazione motoria nella pallacanestro hanno preso in esame il tiro libero. Il tiro libero è un fondamentale del gioco paragonabile al rigore nel calcio: il giocatore infatti si posiziona al di là della linea detta appunto "*linea del tiro libero*" la quale è collocata a 4.22 metri dal cerchio del canestro che misura 0.45 metri di diametro. Durante l'esecuzione del gesto i difensori non possono interferire con il tiratore che quindi si trova da solo, senza alcun ostacolo di fronte a sé, con 5 secondi per potersi

concentrare e poi effettuare il tiro. Per quanto possa sembrare semplice, questo è senz'altro uno dei tiri più complessi che spesso decide l'esito di una gara; nonostante, infatti, le distanze siano standard, quindi comuni a tutti i campi da basket e, come detto, il tiratore non può subire alcun tipo di interferenza difensiva, la pressione percepita raggiunge il suo apice in questi momenti. È proprio per l'assenza di un difensore che possa intervenire, per la staticità (altrimenti assente nel basket) e per l'importanza che il tiro libero ricopre nell'economia di una partita, che è stato oggetto della maggior parte degli studi riguardo l'immaginazione motoria. Nel 2018, Fazel e colleghi hanno indagato gli effetti dell'immaginazione motoria nei tiri liberi proponendo, inoltre, delle evidenze riguardo la modalità di immaginazione più adatta per ottenere i migliori risultati. In questo studio tre erano le condizioni diverse di immaginazione: “*routine imagery*” (RI) durante la quale il soggetto immaginava la scena completa dall'inizio alla fine della sessione; “*progressive imagery*” (PI) in cui si partiva dall'immaginazione di una scena semplice per poi arrivare ad immaginare una scena più complessa; “*retrogressive imagery*” (RETI) durante la quale il soggetto iniziava con l'immaginare una scena complessa per poi eliminare alcuni particolari gradualmente; infine vi era una condizione di controllo nella quale i partecipanti non affrontavano alcun training. I particolari che nelle condizioni PI e RETI venivano eliminati o aggiunti comprendevano la presenza di giocatori della squadra avversaria, del pubblico, dei suoni tipici di una palestra e delle sensazioni emotive personali usuali durante un tiro libero. Le sessioni di immaginazione erano scandite da una traccia audio che dava indicazioni sulla modalità di training da svolgere e venivano proposte per 3 volte a settimana per 4 settimane consecutive. Le valutazioni riguardo le performance sui tiri liberi sono state effettuate prima dell'inizio dello studio e dopo ogni tre sessioni di training, quindi al termine di ogni settimana. Ogni individuo doveva effettuare due serie da 10 tiri liberi ciascuna con 15 minuti di riposo tra le due prove; i risultati hanno mostrato che sia nella condizione di controllo che nella condizione di “*progressive imagery*” non vi fossero cambiamenti tra l'inizio e la fine della ricerca; le altre due condizioni presentate invece hanno iniziato a mostrare miglioramenti significativi dalla seconda settimana di allenamento. In particolare: la condizione di “*retrogressive imagery*” ha mostrato

risultati eccellenti tra la seconda e la terza settimana, la condizione “*routine imagery*”, invece, ha dato esiti positivi dalla terza settimana in poi come testimoniato dal grafico in figura 14.

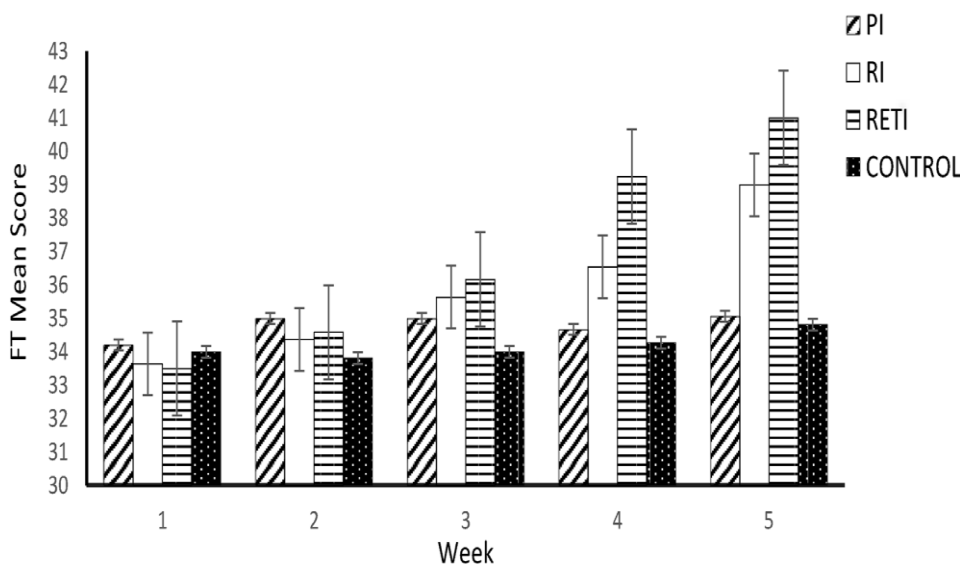


Fig. 14 (Fazel et al., 2018, p.34).

In conclusione, gli autori hanno potuto asserire che tra tutte le

condizioni proposte, i migliori risultati in termini di performance sono stati ottenuti con la *retrogressive imagery*, quindi l’eliminazione graduale di particolari presenti nella scena immaginata può determinare una miglior riuscita dell’atto. Questo risultato suggerisce che a livello pratico, la *retrogressive imagery* potrebbe consentire all’atleta di aumentare gradualmente il focus su di sé eliminando fattori che causerebbero distrazione e dispersione di energie attentive. Altri studi, hanno poi indagato se i miglioramenti osservati derivanti da sessioni di immaginazione motoria potessero essere aumentati ed ampliati ulteriormente associando ad essa altre tipologie di training e di stimoli. Robin e colleghi (2019), ad esempio hanno osservato i cambiamenti nella capacità di performare nei tiri liberi prima e dopo l’utilizzo di sessioni di *dynamic motor imagery* (dMI) ovvero immaginazione motoria dinamica associata all’osservazione di un modello. Per immaginazione motoria dinamica si intende una immaginazione motoria in cui il soggetto deve appena simulare il movimento richiesto durante il training; nel caso specifico si richiedeva ai partecipanti di flettere leggermente le ginocchia come se stessero effettuando il tiro, e di mimare il gesto con le braccia. Solamente un gruppo di soggetti in questo studio associava all’immaginazione motoria dinamica l’osservazione di un modello, e questo connubio si è rivelato vincente: sono stati infatti osservati i risultati pre-test e post-test ed è stato visto come questa condizione ottenesse miglioramenti superiori rispetto alla condizione

che prevedeva solamente l'immaginazione motoria dinamica senza l'osservazione di alcun modello. Il miglioramento è stato registrato ma non è stato significativo, gli autori ipotizzano che si fosse già raggiunto un effetto plateau (il massimo miglioramento era già stato raggiunto tramite la sola immaginazione motoria), e proprio per questo, di conseguenza, il gruppo che associava all'immaginazione motoria l'osservazione di un modello, necessitava di più prove e sessioni per evidenziare un miglioramento nella performance di tiro libero, inoltre il video proposto era in terza persona (prospettiva esterna) e ciò ha sicuramente reso difficile l'immaginazione motoria in prima persona da effettuare successivamente (prospettiva interna). L'utilizzo di sessioni di immaginazione motoria può essere associato anche alla pratica motoria, ed è ciò che ha fatto il dottor Amandeep Singh nel 2019: dopo aver diviso 50 giocatrici di basket in due gruppi distinti, propose ai soggetti del gruppo sperimentale sessioni di 15 minuti di immaginazione motoria seguiti da 30 minuti di pratica, mentre il gruppo di controllo affrontava solamente l'allenamento pratico, ovvero i secondi 30 minuti.

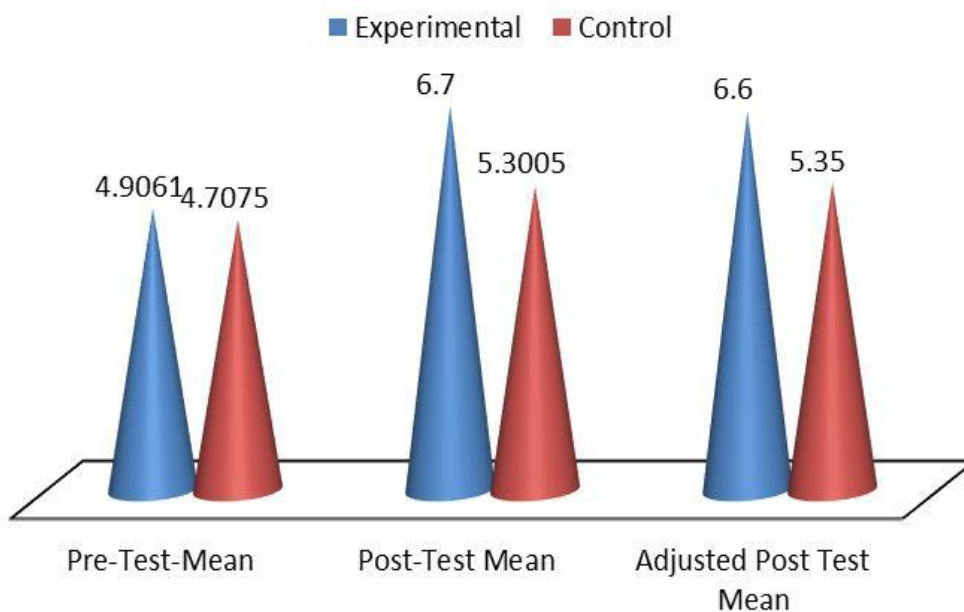


Fig. 15 (Singh, 2019, p.179)

Queste sessioni sono state affrontate dalle partecipanti alla

ricerca per 3 giorni a settimana per un totale di 6 settimane. Al termine di questi è stata rivalutata la capacità di tiro delle giocatrici, sono stati così evidenziati miglioramenti significativi, osservabili in figura 15, per quanto riguarda il gruppo sperimentale rispetto a quello di controllo. Allo stesso modo Gaggioli e colleghi nel 2013, dopo aver reclutato 60 studentesse universitarie che non avevano mai giocato a basket ed averle divise in due gruppi, hanno proposto al gruppo sperimentale sessioni di

training mentale della durata di 10 minuti l'una guidate da una traccia audio, seguite poi da allenamenti fisici; al gruppo di controllo, invece, è stato somministrato il solo allenamento di tipo pratico.

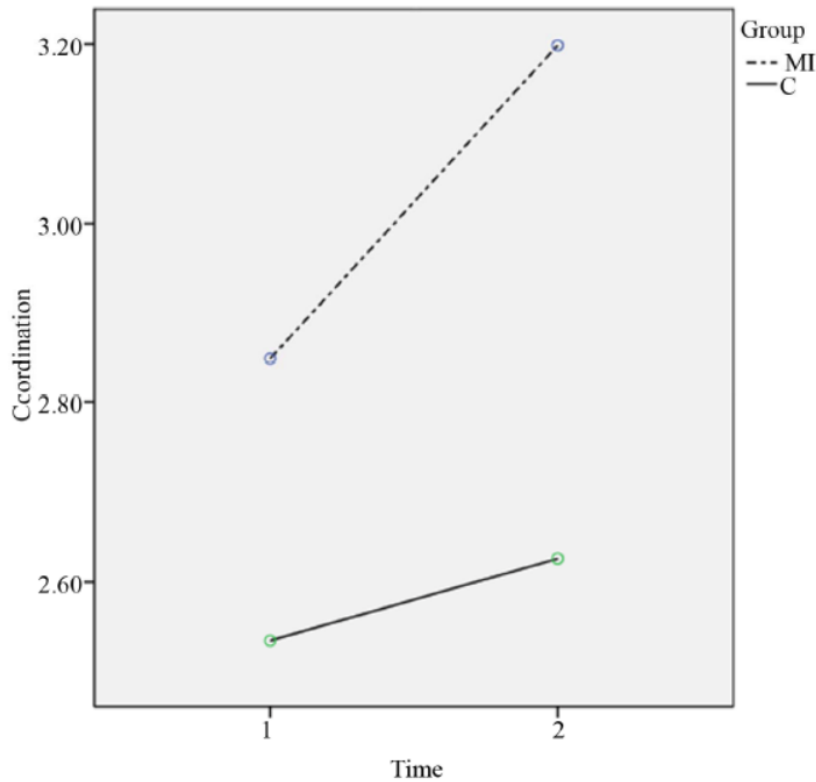


Fig. 16 (Gaggioli et al., 2013, p.4)

L'atto motorio indagato in questo caso, non era però il tiro libero, ma il *lay-up* o terzo tempo: si chiedeva quindi alle giocatrici di fare due passi con la palla in mano e saltare per tirare la palla nel canestro, effettuando quello che è il tiro più

ravvicinato che ci sia nella pallacanestro. La misurazione in questo caso ha valutato la fluidità, il ritmo, la precisione nei passi, la coordinazione e l'equilibrio durante il gesto tecnico; c'è stato un miglioramento significativamente maggiore nei soggetti del gruppo sperimentale rispetto a quelli del gruppo di controllo per quanto riguarda la coordinazione nel gesto raffigurata in figura 16; mentre per quanto riguarda la precisione nei passi precedenti al tiro è stata notata una differenza quasi significativa nel miglioramento dei due gruppi. La presenza di differenze tra i due gruppi porta a concludere che vi sia un vantaggio nell'utilizzo del training mentale associato al training pratico, e le evidenze riguardo il miglioramento della coordinazione in novizi è di notevole importanza: è proprio questa, infatti, accanto all'imprecisione dei passi durante la performance, che risulta essere l'ostacolo principale tra chi si avvicina per la prima volta alla pallacanestro ed un corretto terzo tempo.

Risultati positivi riguardo l'impiego dell'immaginazione motoria nel miglioramento del terzo tempo sono stati confermati successivamente nel 2019 da Satriawan ed Amar, i quali hanno selezionato 34 principianti nel basket e, dopo averli divisi in due gruppi, hanno proposto al gruppo sperimentale due training mentali settimanali della durata di 90 minuti l'uno per un periodo di 3 settimane. Confrontando i risultati del pre-test e quelli del post-test, gli studiosi hanno notato dei miglioramenti significativi per quanto riguarda l'efficacia del terzo tempo da parte dei soggetti del gruppo sperimentale rispetto a quelli del gruppo di controllo. Come già evidenziato in seguito ai risultati dello studio precedente, e come suggeriscono Satriawan ed Amar al termine di questa ricerca, questi dati permettono di ipotizzare un utilizzo delle tecniche di immaginazione motoria sia da parte di allenatori sia da parte degli stessi giocatori; inoltre fanno ben sperare riguardo la possibilità di ampliare l'utilizzo di queste tecniche non solo a situazioni statiche come quella del tiro libero che limiterebbero notevolmente l'applicazione del training cerebrale, ma anche a situazioni più dinamiche che però ancora hanno bisogno di essere indagate maggiormente. Come gli studi di Robin e colleghi (2019), di Gaggioli et al. (2013) e di Singh (2019) hanno suggerito, l'immaginazione motoria può aumentare la sua efficacia se associata ad altri tipi di allenamenti o stimoli di altra natura; Zhang e colleghi, invece, nel 2018, hanno dimostrato che la capacità di immaginazione motoria possa essere migliorata utilizzando strumenti specifici dello sport analizzato. In particolare hanno selezionato 24 giocatori di basket esperti e 24 novizi della stessa età; il compito motorio consisteva nell'effettuare tiri dalla distanza del tiro libero ma da 5 diverse posizioni: una centrale e quattro da differenti angolazioni a destra e a sinistra come rappresentato in figura 17; a livello mentale, invece, i soggetti dovevano posizionarsi in ognuna delle 5 posizioni ed immaginare il tiro effettuato in prima persona tenendo in mano una palla da basket, una da pallavolo, o nulla; tenendo gli occhi chiusi e cercando di far combaciare i tempi di immaginazione motoria con i tempi di esecuzione effettiva del movimento. Le misurazioni miravano a valutare la congruenza a livello temporale del movimento e dell'immaginazione motoria e la sua miglior vividezza: quindi una misura oggettiva ed una soggettiva. È stato interessante osservare che nei giocatori esperti è stata evidenziata una maggior

congruenza temporale tra immaginazione ed esecuzione e, anche se in misura minore, una maggior vividezza percepita durante il training di immaginazione nella condizione in cui i soggetti avevano una palla da basket in mano; l'altro aspetto molto interessante è stato osservare come, negli esperti, i risultati migliori venivano ottenuti, in ordine: con la palla da basket in mano, a mani vuote, ed infine tenendo la palla da pallavolo.

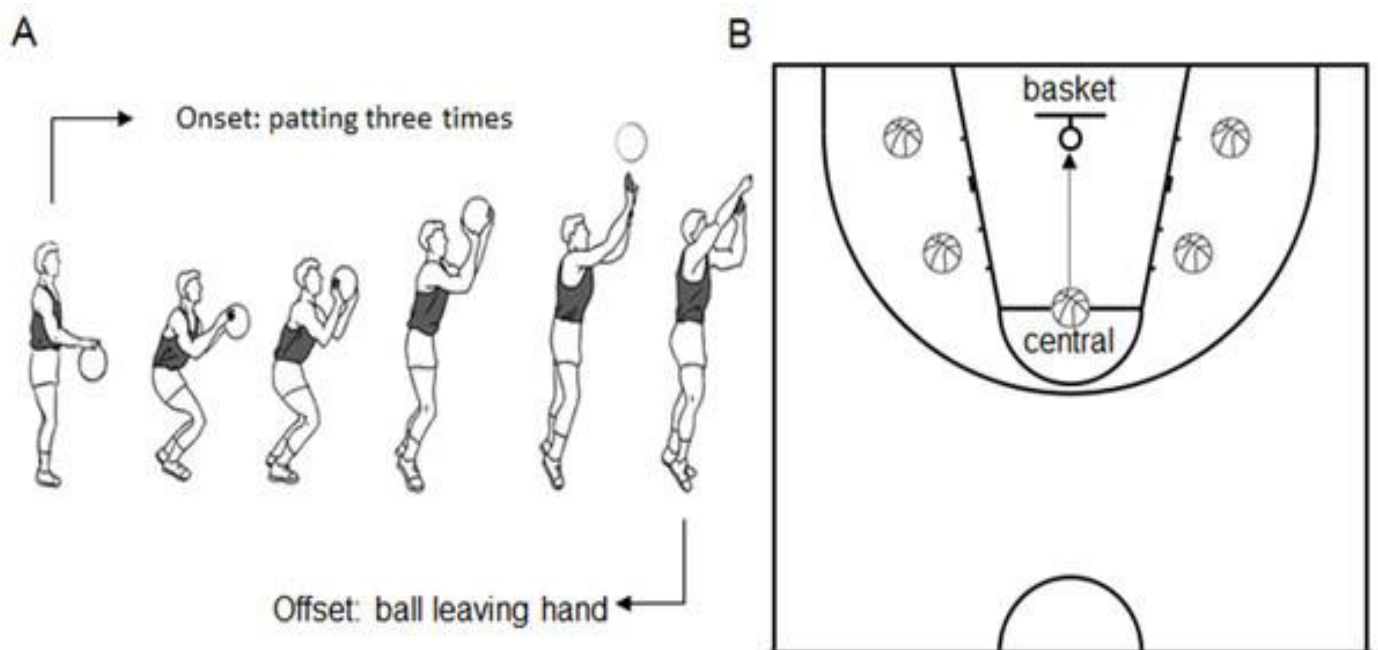


Fig. 17 (Zhang et al., 2018, p.3)

Questo ha portato gli autori a concludere che non solo nei giocatori esperti l'utilizzo di uno strumento specifico per lo sport permetta un miglioramento dell'esperienza immaginativa, ma che l'utilizzo di uno strumento differente vada ad interferire con il training mentale. Fondamentale, nel proporre sessioni di immaginazione motoria, è infatti l'utilizzo dell'adeguata strumentazione: un giocatore esperto, ad esempio, è in grado di percepire facilmente una differenza di peso, forma o dimensione dello strumento che utilizza abitualmente più volte a settimana da molti anni; una modifica in queste componenti causerebbe disagio all'atleta durante la performance molto più di quanto potrebbe causarne ad un individuo che si avvicina alla disciplina per le prime volte. Le capacità di allenamento mentale possono, inoltre, essere migliorate anche tramite tecniche tipiche della psicologia come ad esempio la Mindfulness: questa è una tecnica utilizzata anche nella clinica che promuove la ricerca di una consapevolezza determinata dal prestare attenzione al momento

presente senza un aspetto critico o valutativo dell'esperienza (Ajilchi et al., 2019). Ajilchi e colleghi nel 2019 hanno utilizzato il *Mindful Sport Performance Enhancement* (MSPE), ovvero un programma di 6 settimane formato da 90 minuti a settimana di sessioni di gruppo ed allenamento a casa, che utilizza i principi della Mindfulness applicati allo sport; è stata valutata sia la capacità di autoregolazione emotiva che la *mental toughness* o durezza mentale definibile come resilienza e fiducia in sé stessi (fonte: wikipedia). In seguito alle sessioni di Mindfulness proposte, è stato osservato un miglioramento in entrambe le capacità sopracitate; miglioramento che ha determinato un maggior controllo dello stress, una maggior attenzione e concentrazione sul raggiungimento dell'obiettivo preposto. In seguito a tali evidenze, gli autori hanno concluso che l'utilizzo della Mindfulness nello sport possa avere un ruolo importante nello sviluppo delle capacità mentali in generale e, visti i risultati delle ricerche riguardo il training mentale, un aumento di attenzione e concentrazione può rivelarsi fondamentale per la miglior riuscita di sessioni di immaginazione motoria. Tutti gli studi finora citati hanno impiegato diverse settimane e sessioni prima di osservare miglioramenti dovuti all'utilizzo dell'immaginazione motoria; nel 2013, però, Ferreira Dias Kanthack e colleghi hanno effettuato uno studio molto interessante in quanto utilizza il training motorio in sessioni molto brevi. In questa ricerca, gli individui che appartenevano al gruppo "immaginazione motoria", osservavano 1 minuto di video in cui un professionista eseguiva un tiro libero e poi per 3 minuti praticavano dell'immaginazione motoria statica, i miglioramenti nella performance, che era composta da 10 tiri liberi consecutivi, non sono stati significativi tra il gruppo di controllo ed il gruppo sperimentale che utilizzava l'immaginazione motoria; tramite la valutazione dello *Small Worthwhile Change* (SWC), però, gli studiosi hanno concluso che una differenza tra i due gruppi era presente nei primi due tiri liberi della serie da 10 effettuata dopo la sessione di training, come si può osservare dal grafico in figura 18. Con l'84% di probabilità, sostengono gli autori, questa differenza è dovuta all'utilizzo dell'immaginazione motoria.

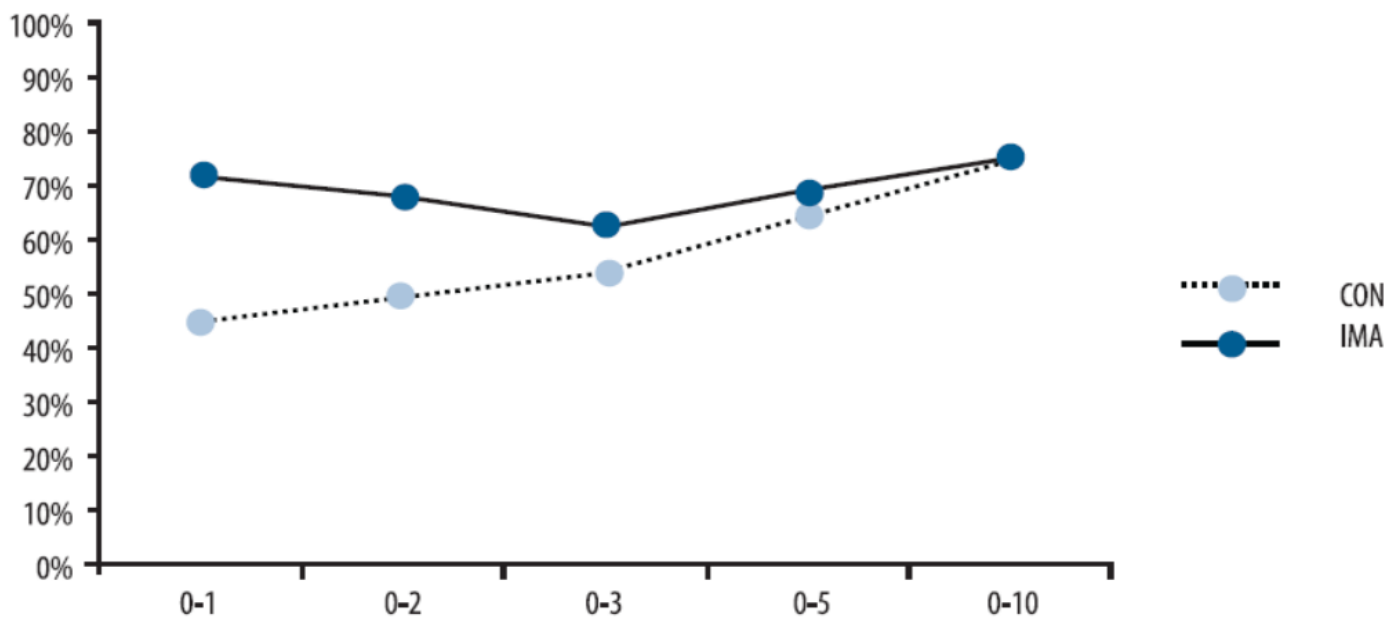


Fig. 18 Percentuale di tiri liberi segnati dopo 1, 2, 3, 5 o 10 tiri tentati. (Ferreira et al., 2013, p.53)

L'importanza di questo studio non risiede nelle evidenze riguardo l'utilizzo dell'immaginazione motoria come allenamento: le sessioni impiegate, infatti, sono troppo poche e troppo brevi, ed effettivamente non hanno sortito alcun effetto significativamente positivo; è possibile però ipotizzare che questo genere di brevi sessioni di immaginazione motoria possano essere utili durante una partita. Trovare una metodologia di rapida applicazione che permetta di avere un miglioramento, come in questo caso, nei primi due tiri liberi tentati, può rivelarsi di notevole interesse in quanto, durante una gara, il numero di tiri liberi tirati consecutivamente nella maggior parte dei casi è proprio due.

CAPITOLO III

IL NEUROFEEDBACK TRAINING

La neuromodulazione è definibile come l'insieme di modificazioni della trasmissione degli impulsi nervosi indotte, a scopo terapeutico, a livello del sistema nervoso centrale o del sistema nervoso periferico (Enciclopedia Treccani). Per raggiungere i cambiamenti degli impulsi nervosi desiderati, possono essere utilizzate metodologie: la neuromodulazione infatti può avvenire tramite somministrazione intratecale di farmaci, tramite stimolazione elettrica utilizzando elettrodi collegati ad un generatore di impulsi, oppure utilizzando elettrodi collegati ad un EEG, impiegando quindi la tecnica del Neurofeedback: un approccio di neuromodulazione cognitivo-comportamentale. Questa metodologia nasce alla fine degli anni '60 come metodo per riqualificare i modelli di onde cerebrali attraverso il condizionamento operante e da quel momento un corpo considerevole di ricerca si è occupato sull'efficacia di questa metodologia applicata al trattamento dell'epilessia incontrollata, ADD/ADHD, ansia, alcolismo, disturbo da stress post-traumatico e lievi lesioni alla testa. Uno dei primi usi del Neurofeedback a livello terapeutico risale al 1972 come trattamento per l'epilessia (Carlton, 2017). Nel suo libro *"The Answer"*, Edward Carlton paragona l'utilizzo del Neurofeedback all'imparare ad andare in bici: per fare ciò, infatti, ogni individuo necessita di una persona fidata che guidi la sua prima esperienza sulle due ruote, che lo tenga al sicuro e che lo segua con cautela; allo stesso modo, colui il quale si avvicina per la prima volta al Neurofeedback Training necessita di essere accompagnato lungo un nuovo percorso che determinerà un apprendimento a livello cerebrale. La sessione di allenamento tramite Neurofeedback può variare nella forma ma segue sempre gli stessi principi: si può utilizzare un supporto sottoforma di video, di audio o di gioco; ciò rappresenta il "mezzo" e non la meta dell'allenamento: mentre, ad esempio, il soggetto osserva un video, si va a monitorare tramite elettrodi collegati ad un elettroencefalogramma (EEG) la sua attività cerebrale come rappresentato in figura 15.

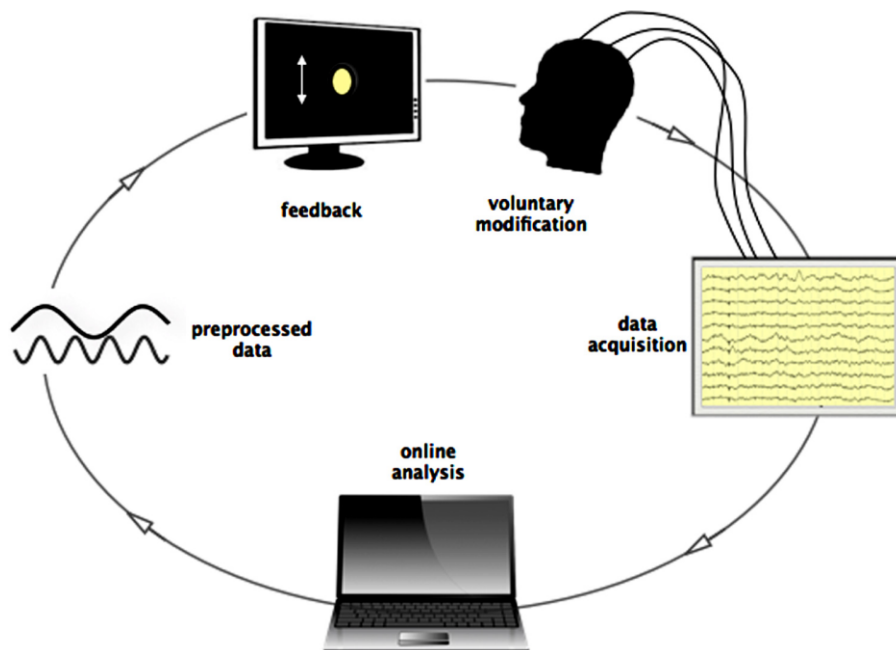


Fig. 15 (Bagdasaryan & Le Van Quyen, 2013, p.2)

Quando le onde cerebrali perdono le frequenze richieste, la traccia audio o video varia per far sì che il soggetto si rifocalizzi in maniera adeguata. Diversi studi forniscono indicazioni incoraggianti riguardo il fatto che il Neurofeedback offra un'alternativa terapeutica in casi di difficoltà di apprendimento, ictus, depressione, fibromialgia, autismo, insonnia, acufene, mal di testa, problemi di equilibrio fisico e per il miglioramento delle massime prestazioni. In un momento in cui un numero crescente di persone è preoccupato per gli effetti negativi derivanti dal fare affidamento esclusivamente sui trattamenti farmacologici, il Neurofeedback può offrire un'ulteriore alternativa terapeutica per molte condizioni (Hammond,2007). Come si comprenderà, addentrandosi ulteriormente nell'elaborato, diversi sono gli ambiti e soprattutto i miglioramenti che questa tecnica può aiutare a raggiungere:

- Cambiamenti strutturali della materia bianca e della materia grigia (Ghaziri et al., 2013);
- Miglioramenti nell'ansia (Faridnia et al., 2012)
- Miglioramenti in compiti di *working memory* e attenzione negli adulti (Wang & Hsieh, 2013)
- Miglioramenti delle funzioni esecutive negli adolescenti (Wang & Hsieh, 2013)
- Miglioramenti comportamentali in soggetti con ADHD (Fox et al., 2005)

- Miglioramenti nel riconoscimento e nel richiamo di informazioni in soggetti con Morbo di Alzheimer (Luijmes et al., 2016);
- Miglioramenti nell'equilibrio statico e dinamico in soggetti con Morbo di Parkinson (Azarpaikan et al., 2014).

Questi sono solo alcuni dei risultati ottenuti nei vari studi analizzati che hanno proposto tecniche di allenamento tramite Neurofeedback. Come già accennato, questo strumento è nato ed è stato inizialmente impiegato in ambito prettamente clinico e ancora oggi è considerato come valida alternativa a trattamenti farmacologici; col tempo, però, esso è stato testato e validato anche nel trattamento di soggetti sani, ovvero senza alcuna patologia, e nello specifico di atleti professionisti, amatori o novizi.

3.1 Setting e varianti

3.1.1 Tipologie. Marzbani, Marated e Mansourian, nella loro review del 2016, individuano 7 diverse tipologie di Neurofeedback utilizzabili:

- 1- *Frequency/power neurofeedback* o *surface neurofeedback*, ovvero Neurofeedback superficiale, così definito in quanto solitamente utilizza 2 o 4 elettrodi superficiali; viene utilizzato per la modulazione di onde cerebrali in pazienti che presentano ADHD, ansia o insonnia;
- 2- *Slow cortical potential neurofeedback* (SCP-NF), o Neurofeedback a potenziale corticale lento, il quale è utile per la regolazione della direzione di potenziali corticali lenti nel trattamento di ADHD, epilessie ed emicranie;
- 3- *Low-energy neurofeedback system* (LENS), o Neurofeedback a bassa energia, utilizzato nel trattamento di lesioni cerebrali, ADHD, insonnia, fibromialgia, malattia di Willis-Ekbom o sindrome delle gambe senza riposo, ansia, depressione e rabbia. Esso invia un debole segnale elettromagnetico per modificare le onde cerebrali del paziente mentre egli è immobile con gli occhi chiusi;

- 4- *Hemoencephalographic* (HEG) o emoenceleografia è un tipo di Neurofeedback che invia dei feedback riguardo il flusso sanguigno, viene utilizzato per trattare le emicranie;
- 5- *Live Z-score neurofeedback* ovvero Neurofeedback in tempo reale del punteggio Z, è utilizzato nel trattamento dell'insonnia, esso introduce il confronto continuo di variabili di attività elettrica cerebrale a un database sistematico per fornire feedback continuo;
- 6- *Low-resolution electromagnetic tomography* (LORETA) è una tecnica che coinvolge l'utilizzo di 19 elettrodi per monitorare fase, coerenza e potenza, è utilizzata per il trattamento di dipendenze, depressione e disturbo ossessivo-compulsivo;
- 7- *Functional magnetic resonance imaging* (fMRI) è la tipologia più recente di Neurofeedback per la regolazione dell'attività cerebrale basata sul feedback derivante dalle aree sottocorticali profonde del cervello.

3.1.2 *Protocolli*. Oltre alle varie tipologie di Neurofeedback, gli autori definiscono varie tipologie di protocolli utilizzabili che variano in base alle frequenze cerebrali coinvolte.

- 1- *Alpha protocol* (Protocollo Alpha): da 8Hz a 13 Hz. Le onde alpha sono correlate ad umore calmo e situazioni piacevoli, queste frequenze sono implicate nell'attività creativa del cervello utile nei processi di rilassamento dell'individuo che possono portare anche alla condizione di sonno; l'allenamento delle onde alpha viene utilizzato solitamente per ottenere sollievo da un dolore, ridurre stress o ansia, migliorare la memoria e la performance mentale, trattare soggetti con lesioni cerebrali;
- 2- *Beta protocol* (Protocollo Beta): da 15 Hz a 32 Hz. Il ritmo beta è un buon indicatore per valutare la performance mentale, una sua alterazione può rappresentare disordini di tipo psicofisico come depressione, ADHD ed insonnia. Le onde beta sono associate a consapevolezza, elevata concentrazione ed abilità nel *problem solving*. L'allenamento di queste frequenze è utilizzato per migliorare la concentrazione, l'attenzione, migliorare le abilità di lettura, migliorare le performance scolastiche, computazionali ed i processi

cognitivi, inoltre può portare una riduzione di preoccupazioni, di dipendenza da alcool, insonnia e disturbo ossessivo-compulsivo. È inoltre in grado di ridurre fatica, stress, rabbia ed epilessie;

- 3- *Alpha/Theta Protocol* (Protocollo Alpha/Theta): da 7 Hz a 8.5 Hz. Solitamente si utilizza il valore di 7.8 Hz. Questo range di frequenze è un indicatore dello stato di veglia o di sonno, questo protocollo è molto utilizzato nella riduzione dello stress, per livelli profondi di depressione, dipendenze, ansia ed inoltre incrementa creatività, rilassamento, performance musicali e può aiutare nel superamento di traumi. Solitamente questo tipo di training si effettua ad occhi chiusi, condizione che permette un incremento del rapporto tra frequenze theta ed alpha tramite l'ausilio di feedback uditivo;
- 4- *Gamma Protocol* (Protocollo Gamma): da 32 Hz a 100 Hz. Sono le frequenze più elevate e sono associate a processi cognitivi e memoria, sono inoltre responsabili delle connessioni neurali e dello scambio di dati con il mondo esterno. Per lo più esse vengono registrate nell'ippocampo (area implicata in processi di conversione informazioni da memoria a breve a memoria a lungo termine), durante attacchi improvvisi come in caso di spasmi o convulsioni. L'allenamento delle onde gamma promuove lo sviluppo di capacità cognitive, problem-solving, migliora le capacità di calcolo ed organizza il cervello migliorando la velocità di processamento delle informazioni e la memoria a breve termine, infine è utile per ridurre gli attacchi di emicrania;
- 5- *Theta Protocol* (Protocollo Teta): da 4 Hz a 8 Hz. Le frequenze theta sono correlate a diverse attività cerebrali come la memoria, le emozioni, la creatività, il sonno, la meditazione, l'ipnosi; sono inoltre associate alla prima fase di sonno. Sono utilizzate per la riduzione di ansia, depressione, distraibilità, disordini emotivi ed ADHD.

In conclusione, suggeriscono gli stessi autori, si può optare per due approcci differenti: a frequenze basse come alpha o alpha/theta se si vuole operare sul rilassamento e la concentrazione; a frequenze elevate come beta o theta se invece si vuole rinforzare uno stato di attivazione, organizzazione ed inibire la distraibilità. La tabella 2 riassume le informazioni sopra riportate.

Common brainwave frequency	Frequency range (Hz)	General characteristics
Delta	1-4	Sleep, repair, complex problem solving, unawareness, deep-unconsciousness
Theta	4-8	Creativity, insight, deep states, unconsciousness, optimal meditative state, depression, anxiety, distractibility
Alpha	8-13	Alertness and peacefulness, readiness, meditation, deeply-relaxed
Lower alpha	8-10	Recalling
Upper alpha	10-13	Optimize cognitive performance
SMR (sensorimotor rhythm)	13-15	Mental alertness, physical relaxation
Beta	15-20	Thinking, focusing, sustained attention, tension, alertness, excitement
High beta	20-32	Intensity, hyperalertness, anxiety
Gamma	32-100 or 40	Learning, cognitive processing, problem solving tasks, mental sharpness, brain activity, organize the brain

Tab. 2 (Marzbani et al., 2016, p.144)

3.1.3 Posizionamento degli elettrodi: il metodo 10-20. È fondamentale, per poter utilizzare uno strumento come quello del Neurofeedback, essere in grado di posizionare gli elettrodi correttamente; con il metodo *Electrode System 10-20* (Jasper, 1958), si deve rispettare un massimo di variazione del 10% o 20% nella distanza tra punti del cranio ben definiti e la collocazione degli elettrodi. Di 21 elettrodi posizionati sullo scalpo, 19 vengono utilizzati per registrare l'attività dalle diverse aree corticali, mentre 2 vengono utilizzati come elettrodi di riferimento e posizionati come in figura 16.

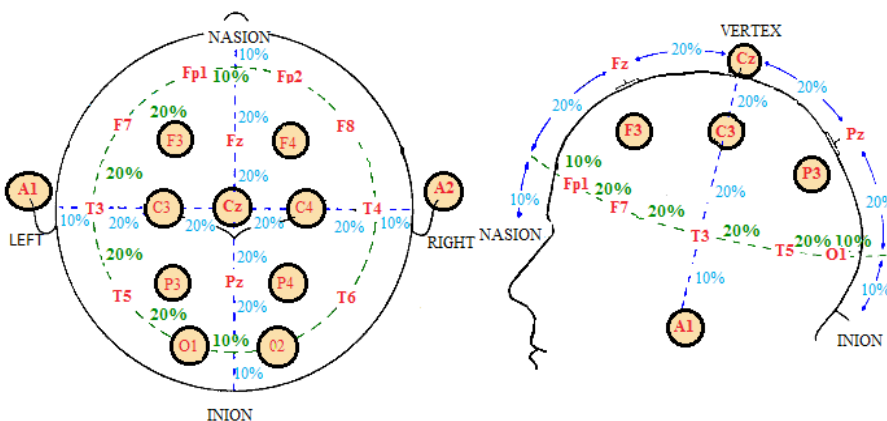


Fig. 16 (Marzbani et al., 2016, p.145)

	Sites	Functions	Considerations
Parietal lobes	P_2, P_3, P_4	LH: Problem solving, math, complex grammar, attention, association RH: Spatial awareness, Geometry	Dyscalculia sense of direction learning disorders
Frontal lobes	$F_{P1}, F_{P2}, F_{P2}, F_2, F_3, F_4, F_7, F_8$	LH: Working memory, concentration, Executive planning, positive emotions. RH: Episodic memory, social awareness Frontal poles: attention judgment	LH: Depression RH: Anxiety, fear, executive planning, poor executive functioning
Temporal lobes	T_3, T_4, T_5, T_6	LH: Word recognition, reading, language, memory RH: Object recognition, music, social cues Facial recognition	Anger, rage, dyslexia, long-term memory, closed head injury
Occipital lobes	O_2, O_1, O_2	Visual learning, reading, parietal- temporal-occipital functions	Learning disorders
Sensorimotor cortex	C_2, C_3, C_4	LH: Attention, mental processing, RH: Calmness, emotion, Empathy Combined: Fine motor skills, manual dexterity, sensory and motor integration and processing	Paralysis (stroke), seizure disorder, poor handwriting, ADHD symptoms
Cingulate gyrus	$F_{P2}, F_2, C_2, P_2, O_2$	Mental flexibility, cooperation, attention, motivation, morals	Obsessions, compulsions, tics, perfectionism, worry, ADHD symptoms, OCD & OCD spectrum
Broca's area	F_7, T_3	Verbal expression	Dyslexia, poor spelling, poor reading
Left hemisphere	All odd numbered sites	Logical sequencing, detail oriented, language abilities, word retrieval, fluency, reading, math, science, problem solving, verbal memory	Depression (underactivation)
Right hemisphere	All even numbered sites	Episodic memory encoding, social awareness, eye contact, music, humor, empathy, spatial awareness, art, insight, intuition, non-verbal memory, seeing the whole picture	Anxiety (overactivation)

Tab. 3 (Marzbani et al., 2016, p.146)

Le regioni dello scalpo sono individuate utilizzando le lettere che richiamano le varie regioni cerebrali, ed i numeri che invece comunicano informazioni riguardo l'emisfero interessato. Le lettere F, P, T, O e C si riferiscono nell'ordine a corteccia frontale, parietale, temporale, occipitale ed aree centrali; i numeri pari sono associati all'emisfero destro, mentre i dispari a quello sinistro; infine la lettera "z" è utilizzata in sostituzione ai numeri quando si tratta di collocare gli elettrodi nella linea che unisce i due punti craniometrici "anion" ed "inion"; infine le zone definite da "A1" ed "A2", sono quelle in cui tipicamente viene posto l'elettrodo di riferimento. L'identificazione così precisa e definita delle aree su cui applicare gli elettrodi, permette un miglior utilizzo e funzionamento del Neurofeedback in quanto permette di associare ad ogni zona delle funzioni suggerendo agli specialisti dove concentrare il lavoro in base ai deficit presentati dal paziente: le zone "F", ad esempio, sono implicate nelle capacità attentive, organizzazione del tempo, capacità sociali, emozioni, memoria di lavoro, capacità di pianificazione; le aree "P" si riferiscono a deficit di tipo grammaticale, costruzione di frasi, problemi lessicali e matematici, orientamento, riconoscimento di "destra" e "sinistra"; le zone "T", invece, interessano diverse funzioni come lettura, memoria, apprendimento, buonumore, ansia, riconoscimento facciale e senso della direzione; le aree contraddistinte da "O" sono implicate in memoria visiva, lettura, memorie traumatiche accompagnate da flashback, localizzazione oggetti nell'ambiente, riconoscimento di forme e colori, corretta identificazione degli oggetti, lettura e scrittura; infine le zone centrali identificabili con "C" riguardano la parte motoria, quindi il controllo di tutti i movimenti come digitazione, capacità di suonare uno strumento, scrivere, utilizzare macchinari complessi, parlare e riconoscere sensazioni corporee. Le varie zone, le loro relative funzioni e alcune condizioni a cui esse sono correlate sono riportate nella tabella 3.

3.2 Neurofeedback e attivazioni cerebrali

3.2.1 *Substrati neurali attivati.* Per indagare a livello cerebrale quali fossero le zone e le strutture attivate durante un training con Neurofeedback, Ninaus e colleghi nel 2013 hanno effettuato uno studio proponendo condizioni di “fake neurofeedback training” così da evitare modifiche in itinere dovute all’allenamento: per ricreare una situazione identica a quella di una classica seduta di Neurofeedback Training, gli autori utilizzarono uno stimolo proiettato su uno schermo che si muoveva verso l’alto o verso il basso. I 20 volontari che hanno preso parte all’esperimento erano divisi in 3 gruppi: una condizione sperimentale denominata “get control” nella quale i soggetti dovevano cercare di controllare il cursore (in questo caso le barre) sullo schermo andando a modulare le loro onde cerebrali; e due condizioni di controllo chiamate “watch moving bars” ovvero osservazione di barre dinamiche, e “watch static bars” quindi osservazione di barre statiche come rappresentato in figura 17.

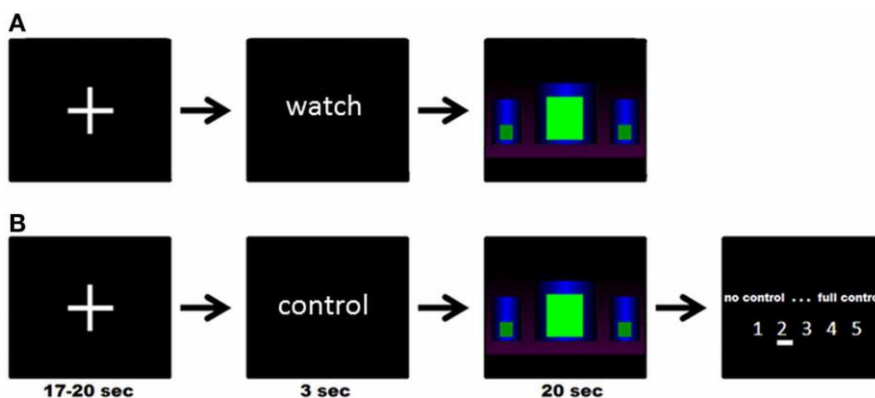


Fig. 17 (Ninaus et al., 2013, p.3)

Utilizzando la fMRI durante le sessioni di training, gli studiosi sono riusciti ad

osservare le diverse attivazioni dei partecipanti di ogni gruppo; dopodiché, mettendo in contrasto le condizioni "get control" e "watch moving bars" sono state rilevate diverse attivazioni di clusters altamente significative: un'attivazione diffusa è stata identificata nelle aree frontali con il suo picco nella parte anteriore sinistra dell'insula; un ampio cluster di attivazione è stato rilevato a livello dell'insula destra dorso-mediale e laterale prefrontale, dell'area motoria bilaterale supplementare e della parte anteriore della circonvoluzione cingolata come si può evincere dalla figura 18.

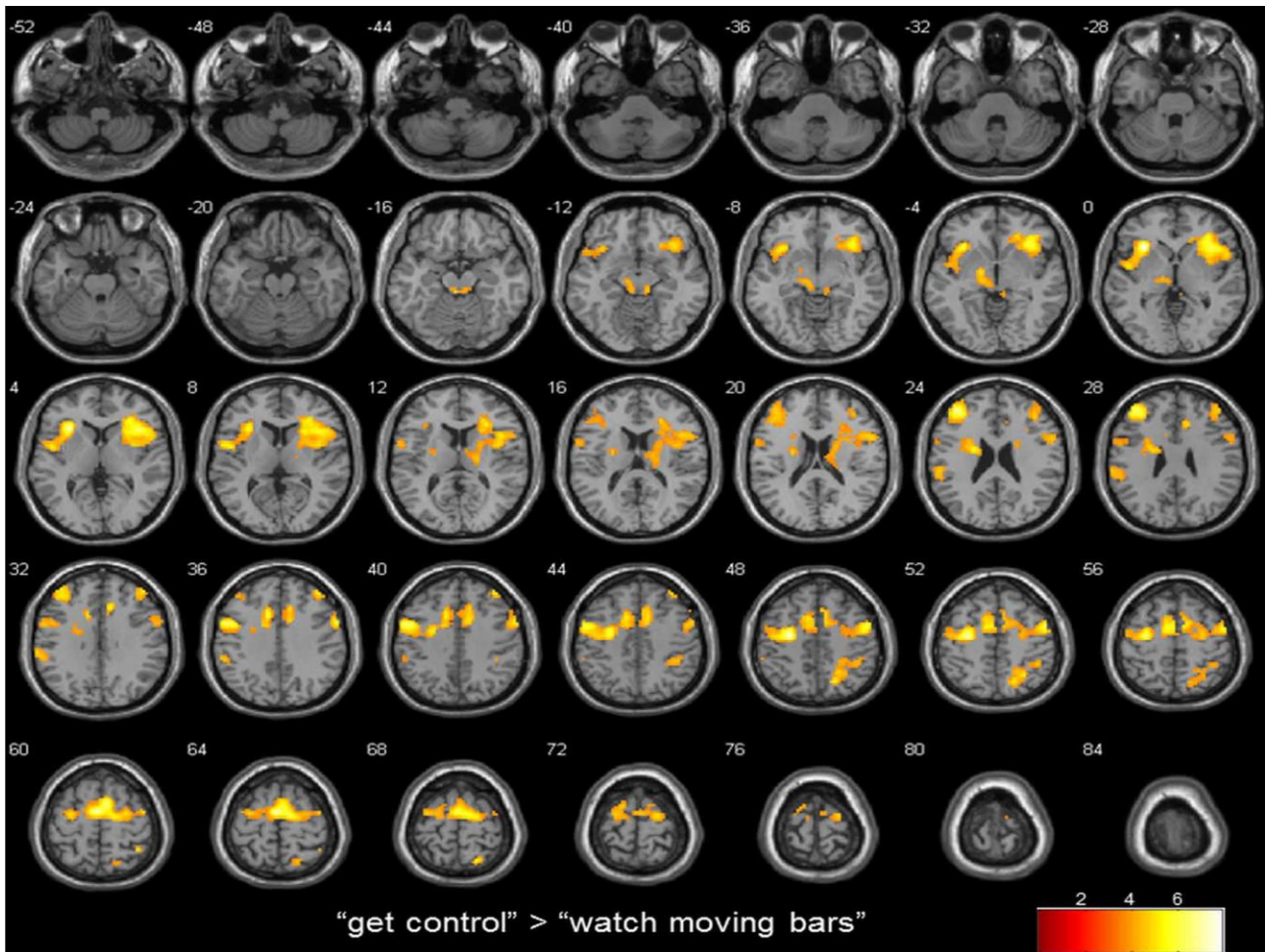


Fig.18 (Ninaus et al., 2013, p.6)

Il confronto ha inoltre rivelato una attivazione significativa di un cluster nel lobo parietale superiore destro, nel giro frontale mediale destro, nel giro sopra-marginale sinistro e nel talamo sinistro (aree 6, 13, 32, 9, 47, 44, 24, 46, 10, 45, 22, 8, 4, 38, 7, 40 di Brodmann). Sottraendo invece le attivazioni durante la condizione “*get control*” alla condizione “*watch moving bars*”, è stata notata una sola attivazione significativa a livello del giro angolare sinistro. La struttura neuroanatomica che ha mostrato una maggiore attivazione sottraendo le varie attivazioni nelle condizioni “*watch bars*” a quelle nella condizione “*get control*” è stata l’insula anteriore a livello bilaterale; questo risultato, suggeriscono gli autori, può essere dovuto al fatto che tale struttura abbia il compito di fornire ai circuiti relativi al controllo cognitivo un riferimento rispetto al quale confrontare l’arrivo di informazioni derivanti dal feedback visivo; sarebbe quindi implicata nella valutazione della presenza o meno di una corrispondenza tra queste due categorie di stimoli.

Un ulteriore spot di attivazione nella condizione “*get control*” di notevole importanza riguarda la corteccia cingolata anteriore e la corteccia prefrontale dorsolaterale; queste aree sono implicate nella comparazione tra lo stato attuale del feedback ricevuto e quello desiderato e nella ricerca successiva di una strategia per raggiungere il *goal* cioè far sì che il cursore sullo schermo raggiunga la posizione richiesta: questo meccanismo è alla base del miglioramento tramite Neurofeedback. La corteccia cingolata anteriore è inoltre nota per essere adibita a rilevare la discrepanza tra uno stato attuale ed uno desiderato, all’autoriflessione ed alla sintonizzazione dei processi mentali, con collegamenti diretti verso talamo, insula, amigdala ed aree frontali e parietali (Ninaus et al., 2013).

3.2.2 Regolazione ritmo cerebrale. Diversi sono stati gli studi che negli anni hanno dimostrato la correlazione tra le onde cerebrali ed il movimento. Tra le componenti di quest’ultimo, la velocità risultava essere quella maggiormente condizionata dalla modulazione delle onde beta (12,5-30 Hz). L’emissione di questa categoria di onde cerebrali è tipica del network motorio che determina l’interazione tra i gangli della base e la corteccia cerebrale (He et al., 2020). Nel 2009, Pogosyan e colleghi, hanno evidenziato per la prima volta una correlazione causale tra ritmo beta a livello corticale e velocità di movimento, per farlo hanno inviato impercettibili scariche di corrente alternata tramite un elettrodo posizionato sullo scalpo al di sopra della corteccia motoria, in modo da raggiungere la frequenza di 20Hz (frequenza tipica delle onde beta) a livello cerebrale in 14 soggetti sani. Gli individui hanno mostrato una evidente riduzione di velocità nei movimenti volontari della mano controlaterale alla zona stimolata del 10% circa; evidenza che è in linea, come sostenuto dagli stessi autori con altri dati riguardanti soggetti con disturbi, in particolare pazienti con Parkinson, i quali presentano un’attività beta eccessivamente sincronizzata che determina un rallentamento dei movimenti. Per contrastare questo sintomo, la modulazione del ritmo beta è stata suggerita come possibile terapia aggiuntiva, essa infatti permetterebbe un miglioramento di fluidità e velocità di movimento. Riguardo l’utilità della modulazione delle onde beta finalizzata al miglioramento della performance motoria, He e colleghi nel 2020, hanno reclutato 20 giovani tra i 18

ed i 21 anni dividendoli poi in maniera casuale in due gruppi: “*real feedback group*” e “*sham feedback group*” senza che i partecipanti sapessero a quale gruppo appartenessero. Il paradigma riportato in figura 19 comprendeva sessioni di Neurofeedback della durata di 4 secondi seguite dal compito motorio, durante il quale i soggetti dovevano effettuare il gesto di pizzicare il più velocemente possibile in risposta ad un segnale “go”.

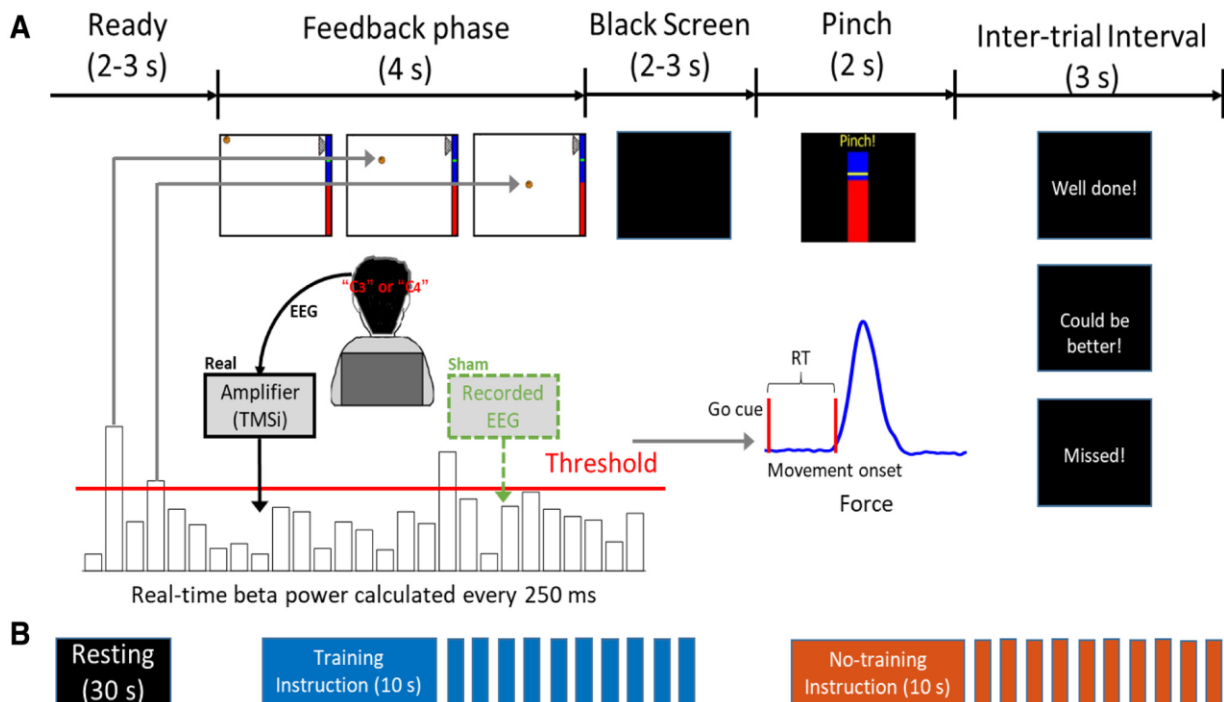


Fig. 19 (He et al., 2020, p.4023)

Durante la sessione di Neurofeedback, invece, una palla da basket compariva sullo schermo in alto a sinistra e la sua posizione veniva aggiornata ogni 250 ms muovendosi verso destra in maniera uniforme e continua; nel gruppo “*real feedback*” il movimento della palla era determinato dalla rilevazione in tempo reale delle onde beta che venivano registrate con un EEG a livello della corteccia sensorimotoria controlaterale alla mano che poi avrebbe effettuato l’atto motorio. La posizione finale della palla al termine della sessione, quindi, dipendeva dalla rilevazione del ritmo beta, mentre nel caso del gruppo “*sham feedback*”, la posizione della palla veniva determinata utilizzando le oscillazioni beta calcolate da un EEG a riposo in 6 soggetti sani appartenenti ad uno studio precedente. Prima di ogni prova, per una durata di 10 secondi, venivano mostrate delle istruzioni che suggerivano al soggetto come svolgere la sessione: vi erano delle sessioni “di

allenamento”, prima delle quali si chiedeva ai partecipanti di provare a far galleggiare la palla sulla parte alta dello schermo, oppure vi erano delle sessioni di “non-allenamento” in cui invece si chiedeva semplicemente di concentrarsi sul movimento della palla e prepararsi a reagire al segnale successivo “go” per effettuare il task motorio; ogni sessione era composta da 10 ripetizioni dell’esercizio richiesto e ciascun individuo di entrambi i gruppi ha affrontato 4 sessioni di *training* e 4 sessioni di *non-training* al giorno per 3 giorni. Dopo 3 giorni sono stati analizzati sia i tempi di reazione per effettuare il compito motorio, sia il percorso e la posizione finale della palla sullo schermo in entrambi i gruppi: il gruppo “*real feedback*” aveva superato significativamente il gruppo di feedback fittizio nella capacità di soppressione delle onde beta nonostante anche in questo secondo gruppo fossero stati notati dei miglioramenti utilizzando strategie simili riportate in figura 20.



Fig.20 (He et. Al, 2020, p.4025)

Per quanto riguarda i tempi di reazione, invece, solamente il gruppo sottoposto a sessioni reali di

Neurofeedback ha mostrato miglioramenti presentando tempi di reazioni più brevi, risultati osservabili nel grafico riportato in figura 21, È stata così osservata una significativa correlazione tra i tempi di reazione e la durata del ritmo beta nei 2 secondi precedenti al segnale “go”. I tempi di reazione differenti tra condizione “*training*” e “*non-training*” correlavano con la durata delle onde beta sia nei 2 secondi prima del segnale “go”, che durante la fase di Neurofeedback. Questi risultati suggeriscono che l’emisfero che ottiene una migliore riduzione del ritmo beta è associato ad un miglioramento più evidente nella performance motoria della mano controlaterale per

quanto riguarda i tempi di reazione: notevolmente più brevi. In linea con queste evidenze sono anche i risultati osservati dal gruppo di Studer nel 2014: dopo un training con Neurofeedback, mirato alla soppressione delle onde beta, infatti, adulti sani mostravano sia un miglioramento nei tempi di risposta sia un aumento della capacità attentiva osservato nella fase di preparazione dell'Attention Network Test (ANT).

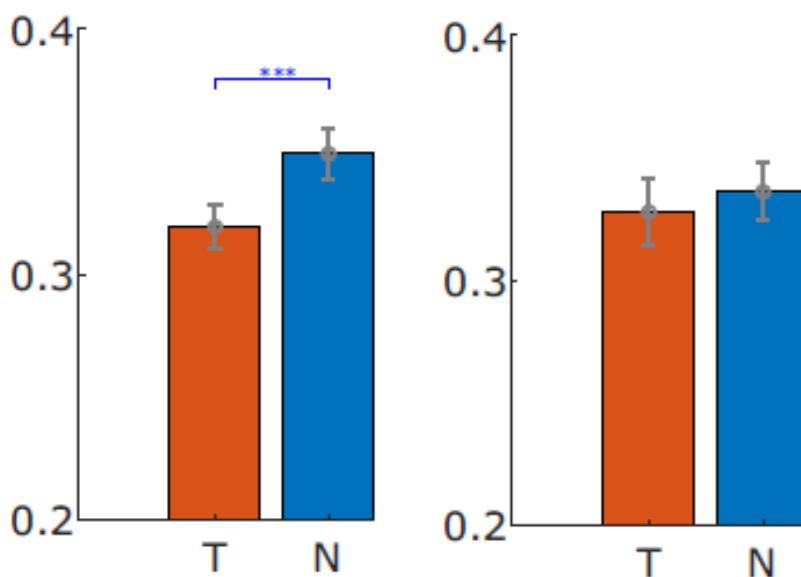


Fig. 21 a sinistra il grafico con i tempi di reazione del gruppo “*real feedback*”; a destra il grafico con i tempi di reazione del gruppo “*sham feedback*”; la colonna “T” indica le sessioni di training, la colonna “N” indica le sessioni di non-training, sull’ordinata invece è rappresentato il tempo. (He et al., 2020, p.4027).

Nello stesso studio è stata inoltre indagata l’eccitabilità del sistema motorio in seguito alle medesime sessioni di training ed è stato notato come, per questo parametro, misurato tramite Stimolazione Magnetica Transcranica (TMS), l’effetto fosse comparabile a quello del Metilfenidato, ovvero uno stimolante del sistema nervoso centrale che viene utilizzato, ad esempio, nel trattamento di pazienti con ADHD (www.humanitas.it).

3.2.3 L’importanza del Locus of Control. Una componente fondamentale che è stata indagata in diversi studi riguardanti il neurofeedback è la credenza di controllo sulla tecnologia percepita dai soggetti o *Locus of Control (LOC)*. È interessante osservare come tale credenza possa mutare tra la fase precedente e successiva alla sessione di allenamento, e come possa interferire con risultato finale del training. Nel medesimo studio sopracitato, Ninaus e colleghi (2013) hanno indagato la correlazione tra la credenza di controllo iniziale e quella percepita durante la sessione di allenamento

con Neurofeedback; è stato osservato che più elevata era inizialmente la credenza di poter controllare devices elettronici, più bassa era l'abilità percepita di controllo del cursore durante l'esperimento, vi era dunque una correlazione negativa tra le due dimensioni. Nello stesso anno, Witte e colleghi (2013) hanno evidenziato una correlazione tra la credenza di controllo precedente al trattamento ed i risultati ottenuti in seguito a diverse sessioni di training: 20 soggetti sono stati divisi in due gruppi da 10, un gruppo ha affrontato 10 sessioni di Neurofeedback Training reale mentre l'altro 10 sessioni di Neurofeedback Training fittizio, ovvero senza la possibilità da parte dell'utente di controllare il cursore sullo schermo; nessuno sapeva a quale gruppo appartenesse. All'inizio dello studio ed una volta terminate tutte le sessioni di Neurofeedback Training, è stato somministrato ai partecipanti il questionario KUT (Beier, 1999), utile per andare a valutare, tramite una scala likert a 5 punti, il Locus of Control: così facendo, gli studiosi, hanno osservato che la capacità di regolazione del ritmo sensorimotorio (SMR) era correlata negativamente con le credenze di controllo sostenute dai soggetti prima dell'esperimento. In base a queste evidenze gli autori hanno concluso che può risultare vantaggioso ed utile per la riuscita dell'allenamento istruire i soggetti a rilassarsi durante le sessioni, invece di chiedergli di concentrarsi e provare a controllare ciò che vedono sullo schermo. Risultati differenti sono quelli che invece sono stati ottenuti nel recentissimo studio di Trambaioli e colleghi effettuato nel 2021: lo scopo della ricerca era comprendere come il risultato del training tramite Neurofeedback possa risentire dell'invio di feedback coerenti e della credenza di controllo dei partecipanti. 31 soggetti hanno partecipato all'esperimento: durante la sessione di Neurofeedback veniva richiesto agli individui di utilizzare i loro stati mentali per modificare la forma della figura che compariva sullo schermo in un cerchio perfetto; per fare ciò essi dovevano comportarsi in maniera differente a seconda delle istruzioni: durante le *"positive trials"* ovvero "esercitazioni positive", veniva loro richiesto di rievocare esperienze personali autobiografiche con valenza positiva, durante le *"neutral trials"* o "esercitazioni neutre", invece, essi dovevano solamente rilassarsi. Come rappresentato in figura 22 le istruzioni venivano comunicate tramite il colore della figura sullo schermo: blu per le prove positive e giallo per quelle neutre.

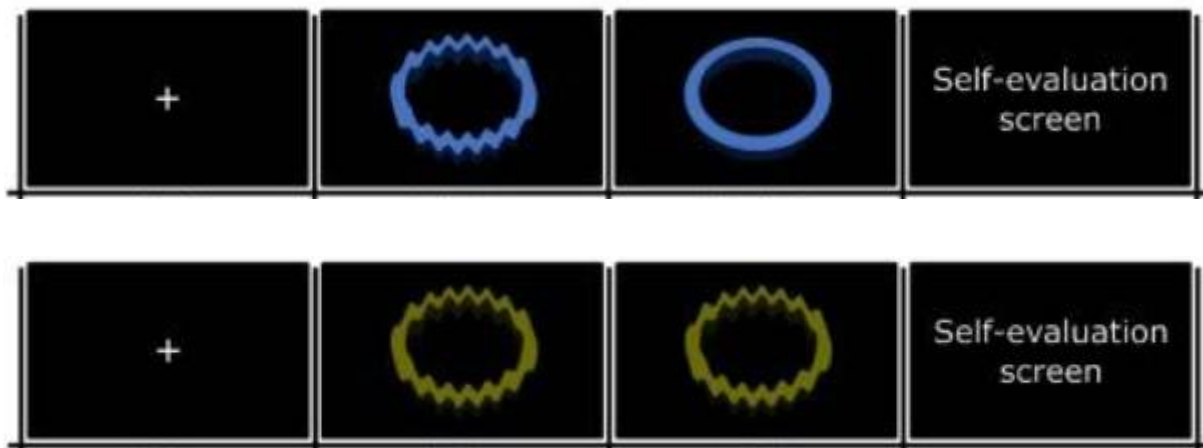


Fig. 22 (Trambaiolli et al., 2018, p.4)

Le modifiche alla figura, quindi i feedback, potevano essere congruenti e quindi seguire lo stato mentale del soggetto durante la sessione, oppure non congruenti, e quindi essere manipolati dagli sperimentatori; al termine di ogni prova, veniva chiesto ai partecipanti di valutare la loro performance di controllo sullo stimolo con un giudizio da 1 (mancanza di controllo) a 9 (controllo totale), valutazione che veniva poi confrontata dagli esperti con i risultati effettivi delle performance. Osservando i dati raccolti, gli sperimentatori hanno osservato che la coerenza dei feedback inviati influisce sulla performance percepita, i partecipanti all'esperimento, infatti, percepivano un maggiore controllo sulla loro attività neurale durante le prove con feedback congruenti piuttosto che in quelle in cui il feedback non era coerente con la loro attività mentale; il dato che risulta essere interessante e rappresenta il motivo per cui è stato esaminato lo studio in questione, riguarda la correlazione tra la performance percepita e quella effettiva relative alle prove con feedback congruenti: a differenza di quello che avevano potuto osservare sia Ninaus che Witte con i rispettivi gruppi di ricerca nel 2013, in questo caso gli studiosi hanno evidenziato una correlazione positiva tra la performance percepita e quella effettivamente eseguita suggerendo che i soggetti che percepivano maggior controllo sul protocollo di Neurofeedback proposto, erano gli stessi che riportavano i risultati migliori ricavati dalle misurazioni strumentali. Date le evidenze riportate dai vari studi, non è possibile ad oggi trarre una conclusione definitiva; è certo che la credenza di controllo sulla propria attività neurale possa

rivestire un ruolo importante nel training tramite Neurofeedback, non è però ancora appurato se essa possa interferire con i risultati del trattamento oppure massimizzarli.

3.3 Neurofeedback: applicazioni

3.3.1 Il Neurofeedback nella riabilitazione. Come già evidenziato all'inizio del capitolo, il Neurofeedback nasce ed ancora oggi è molto utilizzato in diversi casi di riabilitazione, siano essi dovuti a disturbi di tipo psichico, lesioni o impedimenti motori: uno studio che si è interessato al trattamento di soggetti con disturbi psichici è quello di Cheon e colleghi del 2015; essi hanno osservato i cambiamenti prima e dopo le sedute di training di 20 soggetti con disturbo depressivo maggiore. È interessante in quanto ha proposto e valutato i miglioramenti in seguito all'utilizzo di due diverse tipologie di training: *Beta Protocol* ed *Alpha/Theta Protocol*. I soggetti dell'esperimento hanno dovuto affrontare per due o tre volte a settimana un allenamento dell'emisfero sinistro tramite Protocollo Beta localizzato nell'area frontale (F3) per una durata di 30 minuti seguito da ulteriori 30 minuti di Protocollo Alpha/Theta localizzato nell'area parietale (Pz); il tutto per una durata di otto settimane. Durante il periodo di training la somministrazione di farmaci è stata mantenuta rispettando le dosi ed i farmaci già assunti da ogni soggetto, inoltre, prima dell'inizio delle sessioni, a metà percorso ed al loro termine sono state effettuate varie misurazioni utilizzando differenti scale: *Hamilton rating scale for Depression* (HAM-D; Hamilton, 1960), *Hamilton rating scale for Anxiety* (HAM-A; Hamilton, 1959), *Beck Depression Inventory* (BDI-II; Beck, 1996), *Beck Anxiety Inventory* (BAI; Beck, 1988), e *Clinical global impression* (CGI; Guy, 1976). Il confronto tra i punteggi ha evidenziato, come riportato nei grafici in figura 23 un miglioramento in tutte le misurazioni effettuate, le quali interessavano non solamente la depressione, disturbo che rappresentava il criterio di inclusione dei soggetti nello studio, ma anche sintomi ansiosi, ampliando così la gamma di miglioramenti osservabili. Grazie a questi risultati, gli autori suggeriscono che l'utilizzo di un protocollo di Neurofeedback mirato possa rappresentare una valida terapia da associare, come in

questo caso, a quella farmacologica, allo stesso modo, però, gli stessi studiosi evidenziano il principale limite della ricerca priva di gruppo di controllo che risulterebbe indispensabile per conferire ulteriore validità ai metodi utilizzati.

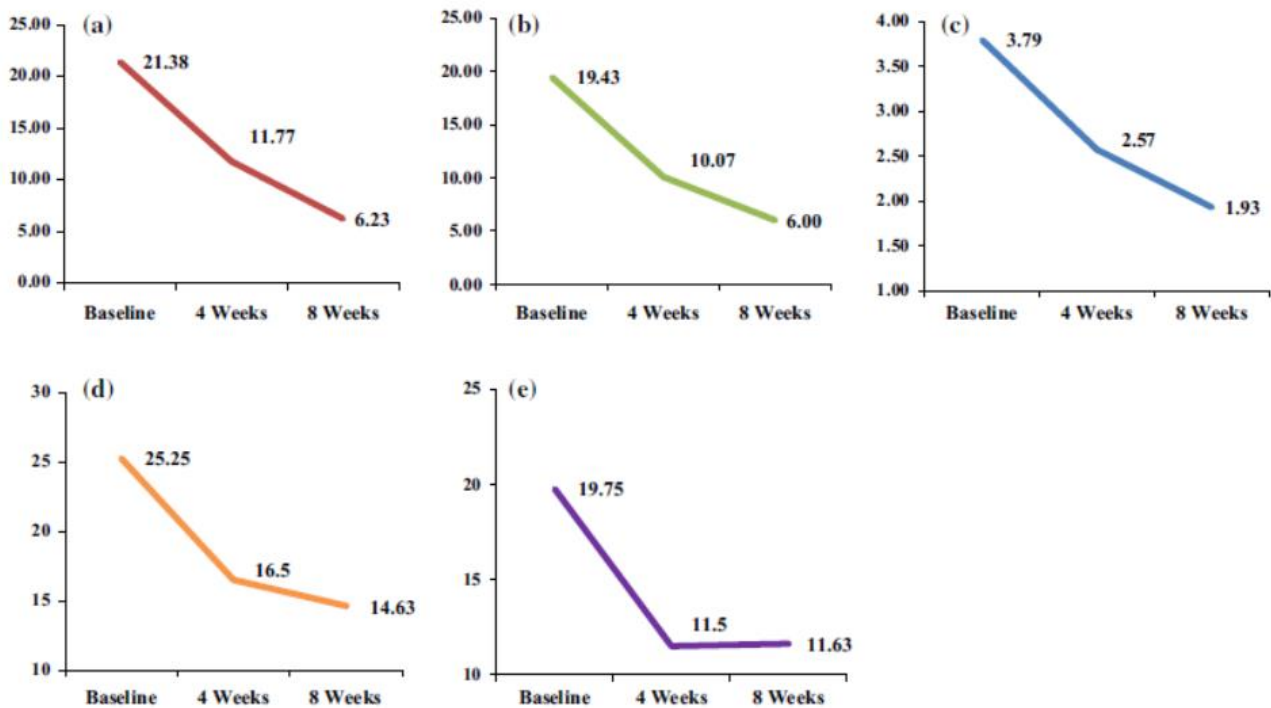


Fig. 23 Efficacia Neurofeedback, a) HAM-D, b) HAM-A, c) CGI, d) BDI, e) BAI (Cheon et al., 2016, p.107)

Un altro studio interessante riguardo l'utilizzo del Neurofeedback nella riabilitazione riguarda un caso di lesione cerebrale riportato dalla dottoressa Wing nel 2015; casi in cui individui umani riportano lesioni che necessitano di trattamenti specifici ed invasivi sono rari e, da un punto di vista esclusivamente scientifico rappresentano una risorsa, ciò aumenta notevolmente la loro importanza. Nello specifico, lo studio si riferiva ad un *case study* il quale trattava la terapia affrontata da una giovane ragazza 19enne alla quale all'età di 12 anni è stato diagnosticato un astrocitoma cistico cerebellare che sin dall'infanzia aveva determinato la presenza di difficoltà motorie nel soggetto; inoltre, alla stessa età la paziente era stata vittima di un incidente stradale che le aveva causato una lesione al lobo frontale anteriore ed una temporanea perdita di conoscenza. Dopo operazioni chirurgiche per asportazione del tumore e riabilitazione fisica in seguito all'incidente, all'età di 19 anni la ragazza presentava comunque deficit in equilibrio, andatura, resistenza, tremolio acuto della mano destra, carenza di coordinazione, carenza di forza nell'arto superiore destro.

Per tentare di contrastare la presenza di questi deficit ancora invalidanti, la paziente è stata sottoposta a riabilitazione tramite Neurofeedback; dopo aver valutato tramite EEG un andamento anomalo a livello dell'emisfero destro per quanto riguarda le onde cerebrali delta, theta, alpha e beta (queste ultime per lo più nell'area occipitale, sede del tumore), sono state proposte 40 sessioni di Neurofeedback distribuite in 3 settimane. 33 sessioni di training sono state effettuate a casa ed hanno seguito un protocollo di tipo beta, le altre 7 invece sono state affrontate in clinica concentrandosi sulle frequenze theta; queste rappresentavano, infatti, le due tipologie di onde cerebrali più critiche nella paziente. Sia prima che dopo l'allenamento sono stati valutati diversi movimenti come camminare sul tallone, saltare, stringere un oggetto, camminare su una linea, misurare la forza di presa, inserire degli anelli su di un piolo; tutti i test sono riportati in tabella 4:

Activity	Before NFB (8/6/2000)	After NFB (8/21/2000)
Right single leg stance	Maintained balance 3 seconds	Maintained balance 5 seconds
Left single leg stance	Maintained balance 1 second	Maintained balance 4 seconds
Heel toe walking	Trunk sway = 100% Shoulder abduction = 45% + wrist extension	Trunk sway = 90% Shoulder abduction = 15% No wrist extension
Jumping forward/back	1 of 10 trials of 2-footed take off/landing Right foot tremor	6 of 10 trials of 2-footed take off/landing Right foot tremor
Jumping side to side	1 of 8 trials of 2-footed take off/landing	2 of 10 trials of 2-footed take off/landing
Plantigrade walking	RLE tremor Significant right hip abduction during swing phase	No RLE tremor Minimal right hip abduction during swing
Skipping	Overflow to right wrist & finger extension	Overflow to right finger extension only
Dribble with right hand	Loss of control in 4 of 5 bounces	Loss of control in 1 of 4 bounces
Dribble with left hand	Loss of control in 1 of 5 bounces	No loss of control
Right finger to nose	1 of 3 successful trials	0 of 3 successful trials
Left finger to nose	2 of 2 successful trials	2 of 3 successful trials
Single leg hopping (right & left)	Hypertonia in RUE shoulder abduction, wrist extension, and finger extension	No change in tone with effort.
Left single leg stance while touching the floor with the right hand	Loss of balance in 2 of 2 trials Overflow to right wrist extensors	Loss of balance in 1 of 2 trials No overflow to wrist extensors
Right single leg stance while touching the floor with the left hand	Loss of balance 3 of 3 times Overflow to right wrist extensors	Successful completion of 2 of 2 trials No overflow to wrist extensors

Tab. 4 (Wing, 2015, p.51)

come si può osservare dai risultati riportati l'unico task in cui la paziente non ha mostrato miglioramenti significativi è stato il portare il dito al naso, compito che veniva svolto ad occhi chiusi. Osservando le altre misurazioni, però, è lampante come ci siano stati dei notevoli miglioramenti, che, come afferma l'autrice dello studio, sono stati osservati anche da persone vicine alla ragazza una volta terminato il trattamento: due settimane dopo la fine del trattamento, ad esempio, la coinquilina della ragazza ha notato come la 19enne fosse in grado camminare tenendo un bicchiere d'acqua in mano, cosa che prima non le aveva mai visto fare. La paziente in esame non ha ricevuto alcun tipo di trattamento ulteriore durante il periodo di training, questo può far ragionevolmente concludere che i miglioramenti evidenziati sono dovuti alle sessioni di Neurofeedback. Questi risultati dimostrano l'efficacia del trattamento su una paziente che riportava sintomi molto simili a quelli osservabili in soggetti in seguito ad ictus: debolezza generale, deviazioni nella camminata, limitazioni funzionali varie; nonostante tali evidenze, però, la terapia tramite Neurofeedback è ancora poco utilizzata in questa tipologia di pazienti, probabilmente, suggerisce la dottoressa Wing, non tanto a causa di una mancanza di evidenze e risultati, quanto piuttosto per una mancanza di consapevolezza e praticità con questo tipo di approccio.

3.3.2 Il Neurofeedback Training nello sport. Uno dei primi studi focalizzati sull'attività delle strutture cerebrali durante la pratica sportiva risale al 1984: Hatfield e colleghi, infatti, hanno selezionato 17 atleti specializzati nel tiro a segno con la carabina ed hanno chiesto loro di effettuare 40 spari proponendo un setting tipico di una competizione indoor; durante la preparazione e l'esecuzione del movimento sono state registrate le attivazioni cerebrali dei soggetti tramite EEG, osservando così la modulazione del ritmo alpha tiratori: mentre l'attività dell'emisfero destro rimaneva costante, è stato osservato un incremento dell'attività alpha nell'area temporale ed occipitale dell'emisfero sinistro. Gli autori hanno così diviso gli ultimi 7.5 secondi di preparazione, precedenti alla pressione del grilletto, in tre fasi da 2.5 secondi l'una; il grafico in figura 24

rappresenta chiaramente l'andamento del ritmo alpha durante questi intervalli mostrando come avvicinandosi al momento dello sparo, questo tenda ad aumentare.

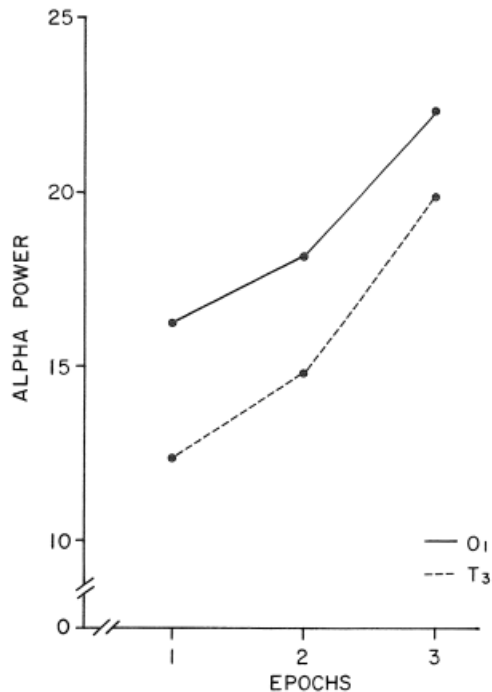


Fig. 24 La linea continua è relativa alle rilevazioni a livello dell'area temporale, la linea tratteggiata si riferisce a quelle relative all'area occipitale. (Hatfield et al., 1984, p.48)

Questi risultati sono in linea con quelli riportati da Kerick e colleghi nel 2001, i quali hanno riscontrato una sincronizzazione del ritmo alpha nella regione temporale sinistra. Per fare ciò hanno

selezionato 8 tiratori di carabina valutando il loro EEG in tre differenti situazioni: “*postural control*” (PC) ovvero mantenere la postura di tiro imbracciando la carabina per una durata di 90 secondi; “*movement control*” (MC) durante la quale i soggetti dovevano eseguire il movimento di tiro dopo aver mantenuto la posizione di mira per una durata di 8 secondi; ed infine “*shooting condition*” (SH) durante la quale i soggetti dovevano eseguire uno sparo prendendo la mira sul bersaglio come se fossero in una gara senza altre indicazioni; le tre condizioni permettevano così di simulare la parte grossolana del movimento di tiro (condizione PC), integrarla con i movimenti fini tipici della disciplina (condizione MC), ed infine aggiungere la scelta del timing perfetto per colpire il bersaglio (condizione SH). La scelta della procedura non è stata casuale: la sincronizzazione del ritmo alpha nella zona temporale sinistra, infatti, può avere diverse cause: controllo motorio di ordine inferiore, soppressione verbale, integrazione di processi sensorimotori di ordine superiore ed inferiore durante la preparazione dello sparo. Come si può notare dai grafici in figura 25 (a sinistra) e 26 (a destra), i risultati ottenuti tramite EEG hanno mostrato che la sincronizzazione alpha era maggiore nella

condizione SH rispetto alle due condizioni di controllo solamente nell'area temporale sinistra, mentre nella regione centrale non vi erano differenze tra le condizioni.

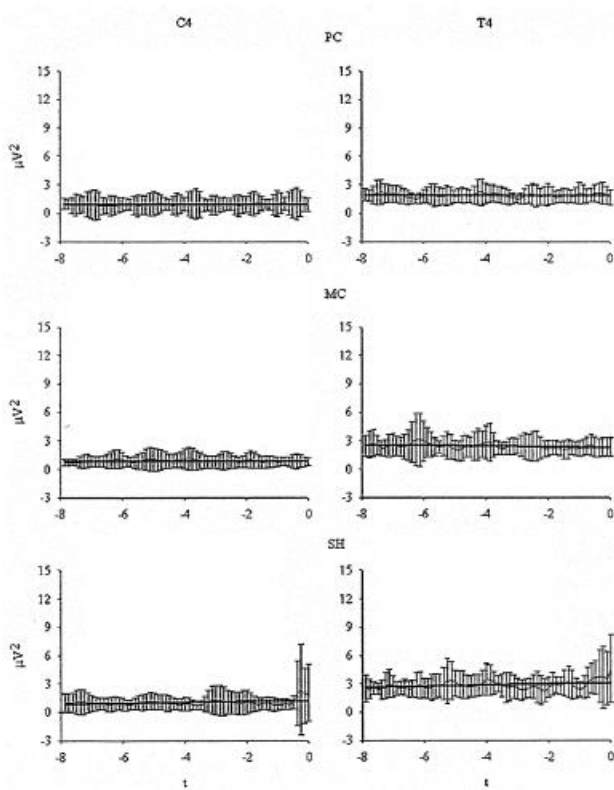


Fig. 25 la colonna di sinistra si riferisce all'area centrale mentre quella di destra all'area temporale dell'emisfero destro (Kerick et al., 2001, p.272).

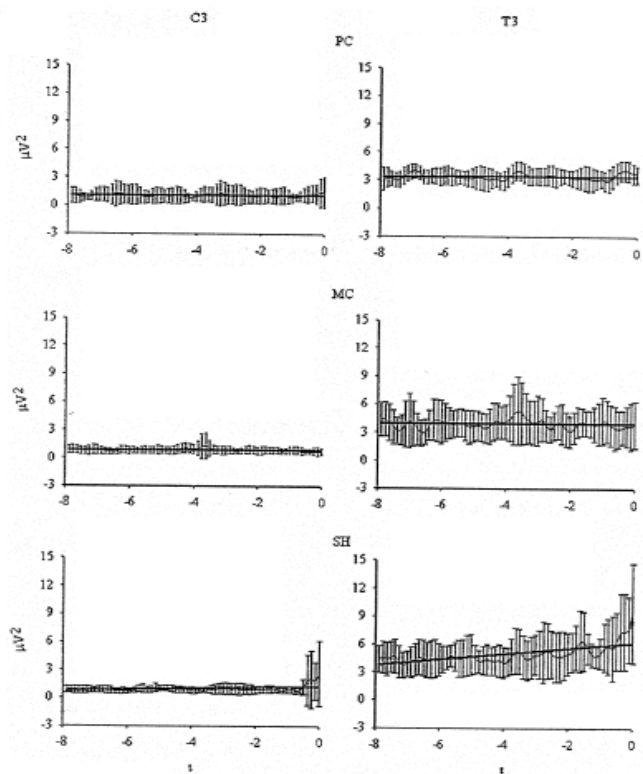


Fig. 26 la colonna di sinistra si riferisce all'area centrale mentre quella di destra all'area temporale dell'emisfero sinistro (Kerick et al., 2001, p.271).

L'ulteriore dato interessante derivante da questo studio riguarda il fatto che l'incremento del ritmo alpha è stato osservato solamente nella condizione sperimentale, quindi quella di tiro che più si avvicinava ad una condizione reale, segno che la modulazione delle onde nel tiro con fucile non sia associata alla regolazione di processi motori di ordine inferiore quanto piuttosto alla soppressione verbale o pianificazione e controllo motorio di ordine superiore durante il periodo di mira del bersaglio. Molte evidenze riguardo l'utilizzo di Neurofeedback come ausilio per migliorare il risultato

della performance, provengono da studi su sport “di tiro” statici, come ad esempio il golf in cui diverse ricerche, come quella di Cheng e colleghi del 2015, hanno evidenziato miglioramenti in golfisti non professionisti, nel caso specifico è stato osservato un incremento della precisione del tiro ed un aumento dell’intensità del ritmo sensorimotorio riportata nel grafico in figura 27 che determinava una minor distraibilità derivante da stimoli esterni; altri risultati interessanti sono quelli riportati Norouzi e colleghi nel 2018, i quali hanno osservato dei miglioramenti in tiratori di freccette per quanto riguarda la connessione tra elaborazione motoria cosciente e prestazioni sportive: in seguito all'allenamento tramite Neurofeedback, si creava un’automaticità nella risposta motoria dell’atleta che risultava di conseguenza più rapida.

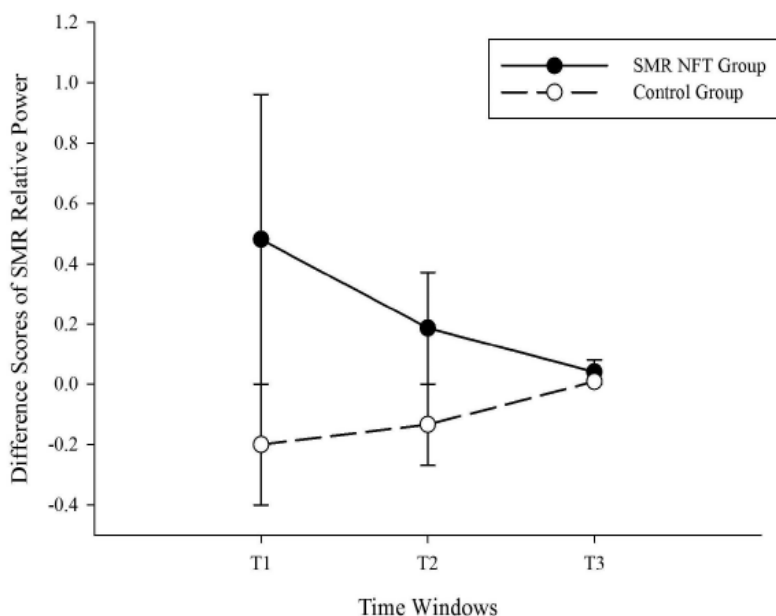


Fig. 27 (Cheng et al., 2015, p.630)

Nel 2012 Rostami e colleghi hanno analizzato e valutato le modifiche nella performance di 24 tiratori con fucile: hanno diviso il campione in due gruppi; uno sperimentale al

quale sono state proposte 3 sedute di 60 minuti di Neurofeedback a settimana per 5 settimane, ed uno di controllo che non ha preso parte al protocollo di Neurofeedback Training. Sono state misurate diverse componenti relative alla capacità di tiro come la stabilità nel tiro, la durata nell’agganciamento del bersaglio e la precisione di tiro. Miglioramenti significativi sono stati osservati esclusivamente nel gruppo sperimentale e riguardavano solamente la precisione di tiro; tra tutte, come evidenziato dagli autori, la componente più importante in quanto è quella che poi in gara decreta il piazzamento finale dell’atleta. Le tabelle 5 e 6 testimoniano le osservazioni appena riportate: sono infatti descritti i valori prima e dopo le sessioni di Neurofeedback per quanto riguarda i risultati della performance

di tiro (*Shot result*), della stabilità della mira (*Steadiness in 10.a0*), dell'accuratezza della mira (*Steadiness in 10.0*), del movimento del tiratore in seguito allo sparo (*Trace length*), della distanza del colpo dal centro del bersaglio (*Distance between average aiming point and breach*), del tempo impiegato per prendere la mira (*Aiming time*); come si può osservare, solamente la prima voce "*Shot result*" ha ottenuto un valore $p=.001$ nel gruppo Neurofeedback, ovvero un miglioramento significativo, tutte le altre misurazioni, invece hanno riportato valori di $p>0.05$, quindi le differenze osservate in questo caso non possono essere definite significative.

Indicator	Test	M	SD	Paired t	
				test	p
Shot result	Pretest	9.48	0.26	-4.506	.001
	Posttest	9.73	0.13		
Steadiness in 10.a0	Pretest	33.33	10.25	-0.457	0.657
	Posttest	34.92	7.96		
Steadiness in 10.0	Pretest	57.08	12.68	0.466	0.650
	Posttest	54.67	18.47		
Trace length	Pretest	97.31	48.61	-0.622	0.547
	Posttest	100.31	42.49		
Distance between average aiming point and breach	Pretest	7.98	2.59	1.012	0.333
	Posttest	7.39	2.11		
Aiming time	Pretest	6.87	2.31	0.425	0.679
	Posttest	6.59	1.96		

Tab.5 risultati Pretest e Posttest del gruppo di Neurofeedback Training (Rostami et al., 2012, p.266)

Indicator	Test	M	SD	Paired t	
				test	p
Shot result	Pretest	9.53	0.33	0.796	.443
	Posttest	9.45	0.22		
Steadiness in 10.a0	Pretest	36.42	21.49	0.124	0.903
	Posttest	36.08	15.94		
Steadiness in 10.0	Pretest	54.75	21.14	-0.357	0.728
	Posttest	55.50	18.77		
Trace length	Pretest	79.48	49.65	-1.097	0.296
	Posttest	90.53	55.75		
Distance between average aiming point and breach	Pretest	6.26	3.30	-1.034	0.323
	Posttest	6.89	3.65		
Aiming time	Pretest	7.30	2.63	0.634	0.539
	Posttest	6.88	1.96		

Tab. 6 risultati Pretest e Posttest del gruppo di controllo (Rostami et al., 2012, p.266)

Per valutare l'utilità di sessioni di allenamento tramite Neurofeedback in sport più dinamici, sono stati svolti diversi studi su differenti discipline: dall'atletica, con i risultati del gruppo di Hashemian (2014) che ha evidenziato un miglioramento delle capacità attentive in atleti specializzati in discipline di atletica leggera in seguito a sedute di Neurofeedback; al nuoto, in cui

Mikicin e colleghi nel 2020 hanno studiato le risposte fisiologiche e mentali al di 7 nuotatori, osservando un significativo miglioramento nella quantità di ossigeno assorbita dall'atleta in seguito ad allenamento con Neurofeedback. Al medesimo campo appartiene lo studio di Faridnia e colleghi del 2012, i quali hanno preso in considerazione 20 nuotatrici professioniste ed hanno somministrato loro 12 sessioni da 45 minuti l'una di allenamento con Neurofeedback: i risultati hanno mostrato come una modulazione del ritmo sensorimotorio e dell'attività beta e theta determinasse una diminuzione nel livello di ansia delle nuotatrici che, come riportato dal grafico in figura 28 riguardava solamente il gruppo sperimentale.

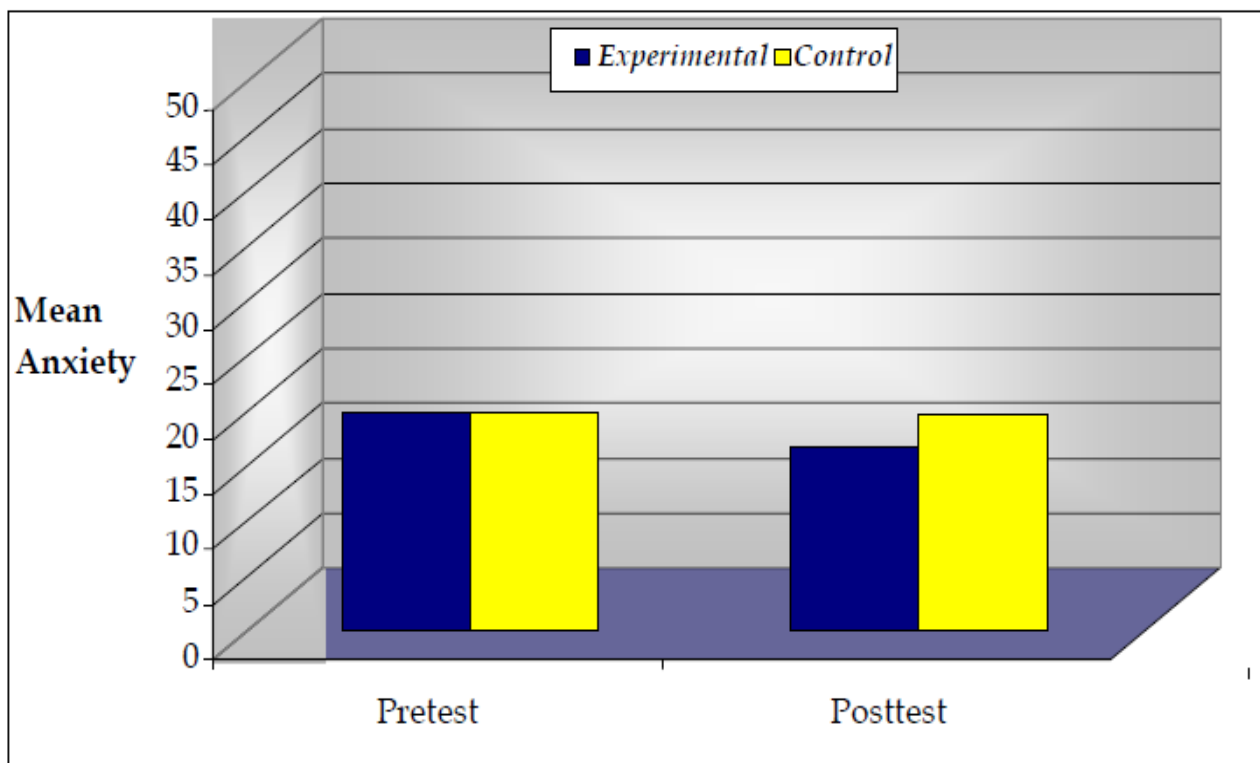


Fig. 28 (Faridnia et al., 2012, p.1025)

Lo studio degli effetti del Neurofeedback ha interessato anche sport definiti “da contatto”, come ad esempio il Judo, al quale hanno prestato attenzione Maszczyk e colleghi nel 2020; essi hanno esaminato 12 atleti di genere maschile appartenenti alla squadra nazionale polacca che hanno suddiviso in maniera casuale in due gruppi: sperimentale e di controllo. Entrambi i gruppi hanno affrontato 15 sessioni a giorni alterni di 10 minuti (primo ciclo), e successivamente, dopo 4 settimane di pausa, ulteriori 15 sessioni a giorni alterni ma della durata di 4

minuti (secondo ciclo); entrambi i gruppi hanno partecipato allo stesso numero di sessioni con la differenza che il gruppo sperimentale eseguiva allenamenti di Neurofeedback, mentre al gruppo di controllo veniva fatta osservare una simulazione di EEG all'insaputa dei soggetti. Sia prima che dopo entrambi i cicli di allenamento è stata misurata la velocità di in tutti i soggetti; in seguito alla raccolta dati, è emerso che il gruppo sperimentale mostrava una significativa diminuzione dei tempi di reazione come conseguenza delle sessioni di Neurofeedback, rispetto al gruppo di controllo, già dopo il primo ciclo di training ed ancor di più, come si evince dal grafico in figura 29, dopo il secondo. Questo risultato, suggeriscono gli autori, può essere dovuto alla capacità, appresa tramite l'allenamento specifico, di controllare le onde cerebrali (nello specifico onde beta) che influenzano la concentrazione e la velocità di reazione.

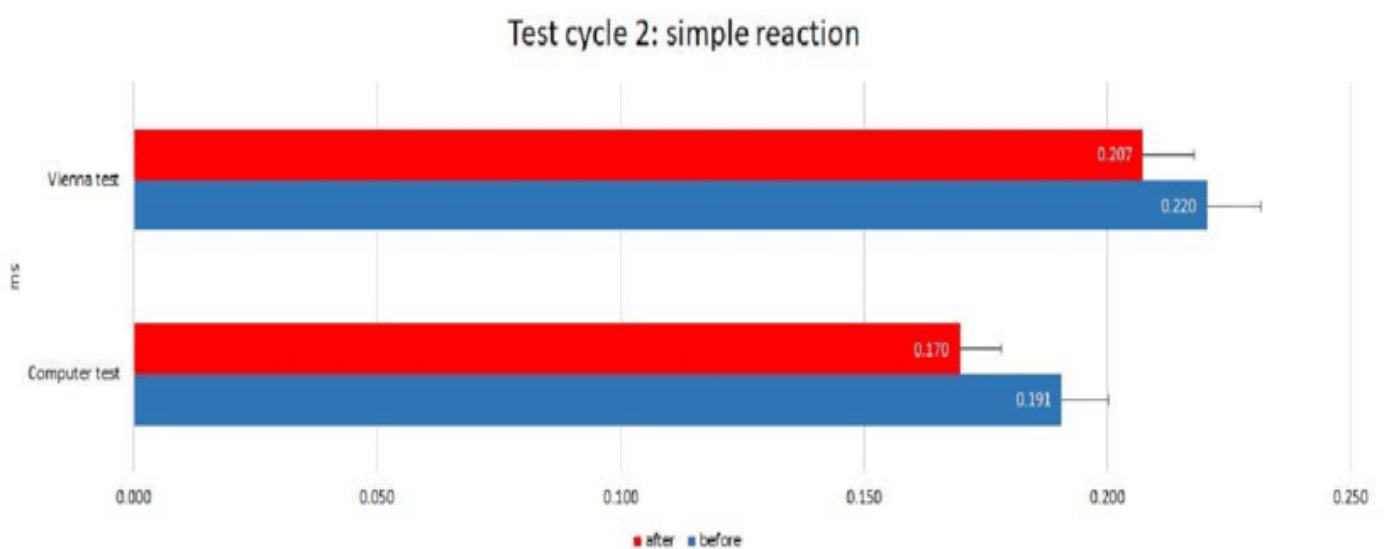


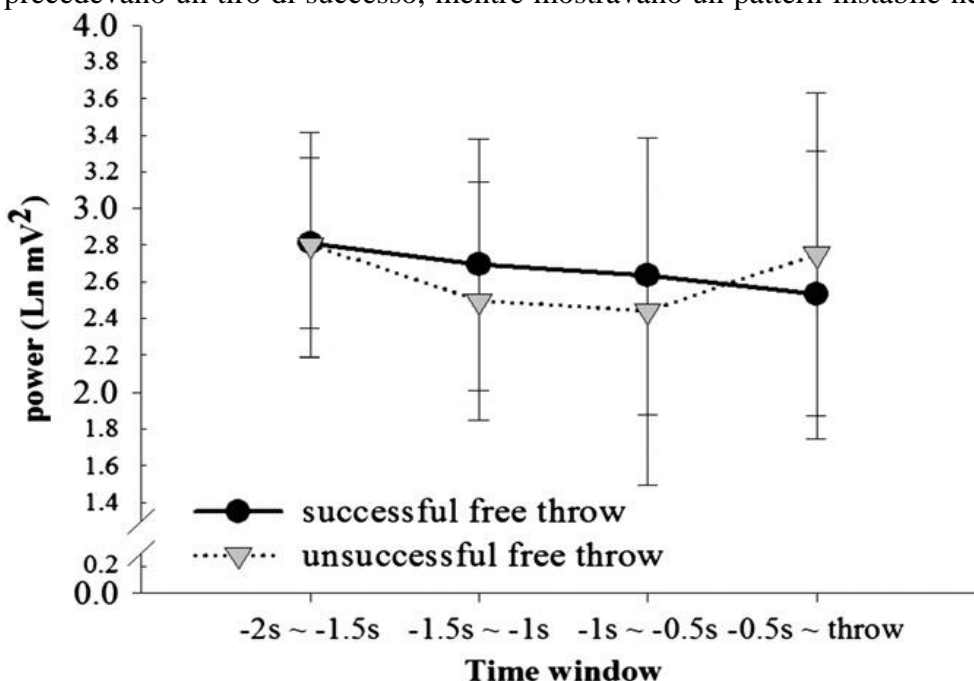
Fig. 29 (Maszczyk et al., 2020, p.225)

Un altro risultato interessante emerso da questa ricerca riguarda il momento in cui è stata registrata la maggior riduzione del tempo di reazione: gli autori hanno infatti evidenziato come dopo il secondo ciclo di sessioni, nonostante esse fossero più brevi, ci fosse il miglioramento più importante; le cause di questo effetto, a detta degli studiosi, sono attribuibili sia al maggior numero di sessioni di Neurofeedback Training affrontate dagli atleti, sia dalla minor durata del training che permette un miglior mantenimento del focus attentivo. Questo risultato, in linea con quelli di altri studi sopracitati permette di ipotizzare, in accordo con gli autori di quest'ultimo studio, che il Neurofeedback possa

essere considerato parte integrante dell'allenamento nelle varie discipline sportive e non utilizzato come una semplice aggiunta al classico e tradizionale allenamento fisico.

3.3.3 Il Neurofeedback nel basket. Ad oggi non sono molti gli studi che si sono interessati all'utilizzo del Neurofeedback nella pallacanestro, quelli che l'hanno fatto, però, hanno potuto osservare risultati interessanti che possono essere presi come punto di partenza per approfondimenti futuri. Yakup Paktas, ad esempio ha effettuato uno studio nel 2021 in cui osservava i risultati ottenuti in seguito allo svolgimento di sessioni di Neurofeedback Training in giocatori di basket maschi e femmine; 30 individui hanno preso parte allo studio e sono stati divisi in due gruppi da 15 soggetti l'uno in maniera casuale. Solamente il gruppo sperimentale ha affrontato sessioni di Neurofeedback divise in 2 sedute settimanali per un totale di 6 settimane; sono poi stati valutati diversi parametri nei due gruppi sia pre che post trattamento; un primo miglioramento riguardava l'aumento di equilibrio, valutato tramite un'apposita pedana, nei soggetti appartenenti al gruppo sperimentale; allo stesso modo per quanto riguarda i tempi di reazione, è stato evidenziato un miglioramento, essi infatti risultavano decisamente più brevi rispetto a quelli del gruppo di controllo. L'autore dello studio suggerisce che tale differenza sia da attribuire alla capacità di processamento delle informazioni: un'adeguata modulazione del ritmo cerebrale beta, infatti, determina un incremento dell'attenzione, della concentrazione e dello stato d'allerta, permettendo così un miglior riconoscimento dello stimolo. Infine risultava aumentato anche l'apporto di sangue a livello corticale, quindi maggiore quantità di ossigeno e glucosio che determinano un miglior funzionamento dell'area parietale, cioè l'area sensori-motoria. Precedente a questo è lo studio di Mozghan e colleghi, i quali nel 2018 hanno proposto 10 sedute di Neurofeedback a 24 giocatori di basket non professionisti divisi in due gruppi: uno sperimentale che ha effettuato le sedute proposte, ed uno di controllo che invece non ha avuto la possibilità di affrontare l'allenamento tramite Neurofeedback. È stata valutata la precisione al tiro sia prima che dopo l'applicazione del protocollo proposto, ed è stato osservato un incremento dell'attenzione e della performance balistica; tali evidenze hanno portato gli autori a consigliare

l'utilizzo di questa pratica per migliorare attenzione e precisione negli sport in generale e nella pallacanestro in particolare. Come già evidenziato nel capitolo precedente, durante una partita di pallacanestro è importante e può risultare fondamentale l'esito di uno o più tiri liberi; per questo è interessante comprendere a livello cerebrale quali siano le attivazioni associate al successo o meno di questa specifica tipologia di tiro. Questo è esattamente quello che hanno fatto Chuang e collaboratori nel 2013: hanno infatti selezionato 15 giocatori di basket taiwanesi che competevano nella prima lega collegiale della nazione: dopo un riscaldamento di 5 minuti gli studiosi registravano tramite EEG i segnali cerebrali dalle zone F3, F4, Fz, P3, P4 e Pz per la durata di 1 minuto in condizione di riposo ad occhi aperti, 1 minuto in condizione di riposo ad occhi chiusi e per tutta la durata del task motorio, durante il quale si richiedeva agli atleti di realizzare 50 tiri liberi senza dar loro alcun tipo di limite temporale, mentre gli autori continuavano a registrare le attivazioni cerebrali tramite EEG; il task terminava quando l'individuo raggiungeva i 50 tiri segnati. L'interesse nella misurazione da parte degli autori era concentrato sulla regolazione del ritmo theta durante la preparazione al tiro. Osservando i risultati ottenuti in seguito alle varie serie di tiri liberi, gli studiosi hanno potuto notare che nell'area frontale vi era una correlazione sia tra onde theta basse (4-6 Hz) che tra onde theta alte (6-8 Hz) e risultato del tiro: entrambe le frequenze, infatti, risultavano stabili nei momenti che precedevano un tiro di successo, mentre mostravano un pattern instabile nei 2 secondi precedenti a



tiri liberi sbagliati;

Fig. 30 Andamento delle onde theta basse durante il task motorio (Chuang et al., 2013, p.324)

in questo caso le onde theta basse assumevano una forma ad “U”, visibile in figura 30 mentre le onde theta alte presentavano una bassa intensità che aumentava avvicinandosi al momento dell’esecuzione dell’atto motorio come rappresentato in figura 31.

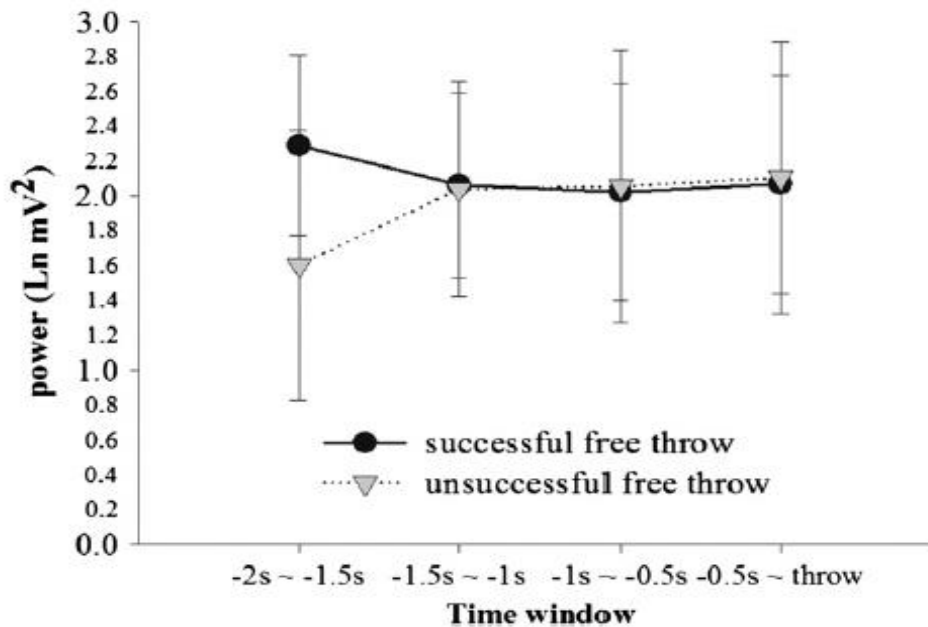


Fig. 31 Andamento delle onde theta alte durante il task motorio (Chuang et al., 2013, p.324)

Gli autori spiegano queste attivazioni

cerebrali evidenziando risultati di altre ricerche che hanno dimostrato come una frequenza theta molto bassa, tra i 4 Hz ed i 5 Hz sia correlata a sonnolenza e diminuzione dello stato di vigilanza, quindi la fluttuazione delle frequenze theta basse riscontrata può determinare uno stato di arousal instabile; le onde theta elevate, invece è stato dimostrato essere connesse ad elevato stato di allerta ed attenzione, la loro instabilità precedente ai tiri liberi sbagliati, è stata interpretata dagli autori dello studio come un eccessivo sforzo mentale ed utilizzo delle risorse attentive che si rivelerebbero dannosi per la performance sportiva. Quest’ultima osservazione può sollevare un importante questione: comprendere quale sia la giusta quantità di tiri liberi da proporre in uno studio sull’effetto di un protocollo di allenamento cerebrale non è affatto facile; così come nel capitolo precedente Robin e colleghi al termine del loro esperimento del 2019 sull’effetto dell’immaginazione motoria nell’abilità nel tiro libero avevano ipotizzato che il numero di tiri tentati dai soggetti analizzati non fosse sufficiente per osservare miglioramenti significativi; allo stesso modo, richiedere di segnare 50 tiri

liberi a giocatori non esperti potrebbe aver causato un affaticamento tale da far registrare delle frequenze theta più elevate del solito, cosa che potrebbe non avvenire in atleti di livello superiore.

CONCLUSIONI

Lo scopo dell'elaborato è quello di comprendere funzionamento, metodologie ed effetti di due tecniche di allenamento cerebrale, ovvero l'immaginazione motoria ed il Neurofeedback applicate allo sport, in particolare al basket. Partendo dalle evidenze derivanti prima di tutto dall'utilizzo delle suddette tecniche in ambito clinico, si è poi passati all'applicazione dei protocolli in ambito sportivo ed infine, nello specifico, nel loro utilizzo nel mondo della pallacanestro. Analizzando i risultati degli studi presi in considerazione è emerso che effettivamente l'utilizzo di queste tecniche di allenamento possa determinare un miglioramento nei vari ambiti sopracitati. Per quanto riguarda l'immaginazione motoria, le evidenze in ambito riabilitativo hanno mostrato notevoli miglioramenti sia in pazienti appena operati, che in pazienti con danni più datati, in particolare sono stati osservati tempi di recupero più brevi, aumento della velocità dei movimenti e riduzione del dolore post-operatorio. Questi risultati possono già suggerire un'applicazione dell'immaginazione motoria nello sport, sia in casi di recupero da infortuni, sia per la possibilità di migliorare la velocità di esecuzione delle performance; ed è proprio questo ciò che è emerso dall'analisi di ricerche effettuate su atleti appartenenti a varie discipline. Oltre ai miglioramenti sopra evidenziati, è stata proposta la possibilità di utilizzare sedute di immaginazione motoria mirate all'incremento muscolare, tipicamente raggiungibile solamente utilizzando dei sovraccarichi; questa osservazione è molto interessante in quanto spesso per ricercare la miglior forma fisica, preparatori ed atleti tendono ad esagerare con allenamenti e sforzi, talvolta arrivando ad infortunarsi; proporre sedute di immaginazione motoria, potrebbe quindi ridurre lo stress fisico a cui sono sottoposti gli atleti, i loro muscoli, le loro articolazioni e tendini, ovvero le componenti più sollecitate, stimulate e con maggior probabilità di essere danneggiate durante allenamenti mirati al miglioramento della forza muscolare. Concentrandosi nello specifico nello sport del basket, diverse evidenze sono state riportate ed hanno mostrato che l'utilizzo dell'immaginazione motoria può effettivamente rappresentare un valore aggiunto: notevoli sono stati i miglioramenti registrati in diverse componenti del gioco; tramite

sessioni di immaginazione motoria è infatti risultato possibile migliorare la performance di tiro libero, la coordinazione e la precisione dei passi durante il terzo tempo, l'attenzione, la concentrazione e la gestione dello stress. È quindi evidente come sia possibile uno sviluppo delle capacità dell'atleta a tutto tondo, ovvero che interessi sia l'aspetto prettamente mentale, sia che vada a migliorare le capacità tecniche e fisiche. Per ottenere questi risultati, diverse sono state le metodologie proposte; è emerso che la *retrogressive imagery* permetta di raggiungere risultati migliori, che la visione di un modello prima dell'immaginazione motoria possa portare benefici all'atleta facilitando il compito immaginativo, e che, soprattutto in sportivi esperti, l'utilizzo dello strumento tipico della disciplina durante le sessioni di training cerebrale determini un miglioramento dell'esperienza immaginativa; è inoltre stato osservato come l'applicazione di un protocollo di Mindfulness possa portare miglioramenti soprattutto a livello mentale. Analizzando i risultati ottenuti da diverse ricerche riguardanti il Neurofeedback sia per scopi riabilitativi che sportivi, allo stesso modo, sono state rilevate evidenze importanti ed incoraggianti riguardo l'utilizzo di questa metodologia di neuromodulazione: in particolare sono stati notati dei miglioramenti in seguito a sedute di Neurofeedback nell'equilibrio, nell'andatura, nella resistenza, nella coordinazione e nella forza; queste evidenze, apprese da casi clinici, possono rivelarsi utili anche a livello sportivo quando l'obiettivo è quello di accorciare i tempi di recupero di un atleta infortunato. Osservando i risultati ottenuti dall'applicazione di protocolli di Neurofeedback Training in sportivi di varie discipline e in particolare in giocatori di basket, sono stati osservati, così come nel caso dell'immaginazione motoria, risultati interessanti sia per quanto riguarda il dominio fisico che per quanto riguarda quello mentale; gli atleti, infatti, hanno incrementato la loro capacità di gestione dell'ansia e la quantità di ossigeno e glucosio a livello corticale, è stata inoltre migliorata la precisione nel tiro, ed i tempi di reazione sono apparsi notevolmente più brevi grazie all'aumentato livello di concentrazione, di attenzione e di stato di allerta, i quali sono risultati correlati strettamente alle frequenze theta più elevate. Se nello studio dell'immaginazione motoria applicata alla pallacanestro non è stato difficile trovare del materiale, il limite riscontrato trattando la neuromodulazione tramite Neurofeedback, invece, è

stata proprio la difficoltà nel reperire dati e ricerche specificatamente riferiti all'utilizzo di tale metodologia nella pallacanestro. Proprio per questo motivo, nell'elaborato, sono stati proposti dei risultati di studi concentratisi su diverse discipline ma che ottenessero risultati applicabili nei vari sport: si pensi alla diminuzione dei tempi di reazione riscontrati nei judoka (Maszczyk et al., 2020) e nei tiratori di freccette (Norouzi et al., 2018); alla minor distraibilità ed attenzione evidenziate nei golfisti (Cheng et al, 2015) ed in atleti di atletica leggera (Hashemian et al., 2014); alla miglior gestione dell'ansia ed al maggior assorbimento di ossigeno riscontrati in nuotatori (Faridnia et al. 2012; Mikicic et al., 2020). Sia per quanto riguarda l'utilizzo di immaginazione motoria che quello del Neurofeedback, anche se come è emerso dall'elaborato ci siano diverse evidenze riguardo l'efficacia in ambito sportivo soprattutto della prima metodologia, sono pochissimi i casi in cui questi risultati vengono poi applicati nella pratica sportiva quotidiana della pallacanestro. Si possono ipotizzare motivazioni diverse alla base dell'inutilizzo di queste due tecniche di allenamento: sicuramente il momento storico in cui stiamo vivendo non è particolarmente florido a livello economico per quanto riguarda la pallacanestro in generale e quella italiana nello specifico, per questo la maggior parte delle squadre evita di assumere uno specialista dell'allenamento cerebrale così da evitare costi aggiuntivi; inoltre, nel caso specifico del Neurofeedback Training c'è una carenza di studi che trattano la sua applicazione nel basket e ciò, unito al quadro economico appena espresso, non incoraggia dirigenti di società sportive ed allenatori ad investire nell'utilizzo di questa metodologia. Auspicando una quanto più celere ripresa economica generale, la speranza è che almeno dal punto di vista della ricerca, le varie evidenze presentate rappresentino una base, un punto di partenza per indagare più a fondo l'utilità dell'allenamento cerebrale ed in particolare di una metodologia come quella del Neurofeedback che nel basket è stata ancora poco esplorata, ma che in altre discipline ha già mostrato un interessante potenziale certamente ampliabile ulteriormente.

BIBLIOGRAFIA

- Ajilchi, B., Amini, H.R., Pouraghaei, Z., Majid, A., Zadeh, M., Kisely, S., 2019, Applying mindfulness training to enhance the mental toughness and emotional intelligence of amateur basketball players. *Australas Psychiatry* 00, p.291-296.
- Andrade J., May, J., Deeprase, C., Baugh, S.J., Ganis, G., Assessing Vividness of Mental Imagery: The Plymouth Sensory Imagery Questionnaire, 2013. *British Journal of Psychology* 105, p.547-563.
- Azarpaikan, A., Torbati, H.T., Sohrabi, M., 2014 Neurofeedback and physical balance in Parkinson's patients. *Gait & Posture* 40, p.177-181.
- Bagdasaryan, J., Le Van Quyen, M., 2013, Experiencing your brain: neurofeedback as a new bridge between neuroscience and phenomenology. *Frontiers in Human Neuroscience* 7, p.1-10.
- Battaglia, C., D'Artibale, E., Fiorilli G., Piazza M., Tsopani, D., Giombini A., Calcagno G., Di Cagno A., 2014, Use of video observation and motor imagery on jumping performance innational rhythmic gymnastics athletes. *Human Movement Science* 38, p.225-234.
- Batula, A.M., Mark, J.A., Kim, Y.E., Ayaz, H., 2017 Comparison of Brain Activation during Motor Imagery and Motor Movement Using fNIRS. *Computational Intelligence and Neuroscience* 2017, p.1-12.
- Biagioli, T., 2013, Il cervello dell'atleta. Studi neuroanatomici strutturali, funzionali e tecnica del Biofeedback. *Psicoanalisi NeoFreudiana*, p.1-4
- Boninelli, M.L., Bullegas, D., Damnotti, S., 2016, Cognitive modifiability and brain plasticity in adult age. *Formazione e Insegnamento* 14, p.59-70.
- Briones-Cantero, M., Fernández-de-las-Peñas, C., Lluch-Girbés, E., Osuna-Pérez, M.C., Navarro-Santana, M.J., Plaza-Manzano, G., Martín-Casas, P., 2020, Effects of Adding Motor Imagery

to Early Physical Therapy in Patients with Knee Osteoarthritis who Had Received Total Knee Arthroplasty: A Randomized Clinical Trial. *Pain Medicine* 21, p.3548-3555.

Brown, P., Marsden, D., 2001, Bradykinesia and impairment of EEG desynchronization in Parkinson's disease. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder* 14, p.423-429.

Butler, A.J., Cazeaux, J., Fidler, A., Jansen, J., Lefkove, N., Gregg, M., Hall, C., Easley, K.A., Shenvi, N., Wolf, S.L., 2012, The Movement Imagery Questionnaire-Revised, Second Edition (MIQRS) Is a Reliable and Valid Tool for Evaluating Motor Imagery in Stroke Populations. *Evidence-based complementary and alternative medicine* 2012, p.1-11.

Cardellicchio, P., Hilt, P.M., Dolfini, E., Fadiga, L., D'Ausilio, A., 2020, Beta Rebound as an Index of Temporal Integration of Somatosensory and Motor Signals. *Frontiers in Systems Neuroscience* 14, p.1-12.

Carlton, Dr. E., 2017, The Answer, p.17-20.

Chang, Y., Jae-Jun, L., Jee-Hye, S., Hui-Jin, S., Yang-Tae, K., Hui, J.L., Hye, J.K., Jongmin, L., Woojong, K., Minjung, W., Jin, G.K., 2010 Neural correlates of motor imagery forelite archers. *NMR in biomedicine* 4, p.366-372.

Cheng, M., Huang, C., Chang, Y., Koester, D., Schack, T., Hung, T., 2015 Sensorimotor Rhythm Neurofeedback Enhances Golf Putting Performance. *Journal of sport & exercise psychology* 6, p.626-636.

Cheon, E., Koo, B., Choi, J., 2016, The Efficacy of Neurofeedback in Patients with Major Depressive Disorder: An Open Labeled Prospective Study. *Applied psychophysiology and biofeedback* 1, p.103-110.

Chi-Hsian, L., Lu, F.J.H., Gill, D.L., Huang, K.S., Wu, S., Chiu, Y., 2022, Combinations of action observation and motor imagery on golf putting's performance. *PeerJ* 10, p.1-22.

- Chuang, L., Huang, C., Hung, T., 2013, The differences in frontal midline theta power between successful and unsuccessful basketball free throws of elite basketball players. *International Journal of Psychophysiology* 90, p.321-328.
- Corydon, H.D., 2007, What is Neurofeedback?, *Journal of Neurotherapy: Investigations in Neuromodulation, Neurofeedback and Applied Neuroscience* 10, p.26-28.
- Cramer, S.C., Orr E.L.R., Cohen M.J., Lacourse Michael G., 2007, Effects of motor imagery training after chronic, complete spinal cord injury. *Exp Brain Res*, p.233–242.
- Dayan, E., Cohen L.G., 2011, Neuroplasticity subserving motor skill learning. *Neuron* 3, p.443-454.
- Dodakian, L., Stewart, J.C., Cramer, S.C., 2014, Motor imagery during movement activates the brain more than movement alone after stroke: a pilot study. *Journal of rehabilitation medicine* 9, p.843-848.
- Domenici, L., 2018, Viaggio alla scoperta del cervello. Aracne Editrice, p.19-20.
- Dunsky, A., Dickstein, R., Marcovitz, E., Levy, S., Deutsch, J., 2007, Home-Based Motor Imagery Training for Gait Rehabilitation of People With Chronic Poststroke Hemiparesis. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 8, p.1580-1588.
- Eusebio, A., Brown, P., 2009, Synchronisation in the beta frequency-band — The bad boy of parkinsonism or an innocent bystander?. *Experimental Neurology* 217, p.1-3.
- Fallah, M., Moghadas, T.Y., Gharayagh, Z.H., 2018, The Effects of Neurofeedback training on Attention and performance in free throw skill. *Journal of Neuropsychology* 4, p.97-108.
- Faridnia, M., Shojaei, M., Rahimi, A., 2012, The effect of neurofeedback training on the anxiety of elite female swimmers. *Annals of Biological Research* 3, p.1020-1028.

- Fazel, F., Morris, T., Watt, A., Maher, R., 2018, The effects of different types of imagery delivery on basketball free-throw shooting performance and self-efficacy. *Psychology of Sport and Exercise* 39, p.29-37.
- Fox, J.D., Tharp, D.F., Fox, L.C., 2005, Neurofeedback: An Alternative and Efficacious Treatment for Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Applied psychophysiology and biofeedback* 4, p.365-373.
- Gaggioli, A., Morganti, L., Mondoni, M., Antonietti, A., 2013, Benefits of Combined Mental and Physical Training in Learning a Complex Motor Skill in Basketball. *Psychology* 6, p.1-6.
- Ghaziri, J., Tucholka, A., Larue, V., Blanchette-Sylvestre, M., Reyburn, G., Guillaume, G., Lévesque, J., Beaugard, M., 2013, Neurofeedback training induces changes in white and gray matter. *Clinical EEG and neuroscience* 44, p.265-272.
- Gregg, M., Hall, C., Butler, A., 2007, The MIQ-RS: A Suitable Option for Examining Movement Imagery Ability. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine* 7, p.249-257.
- Hashemian, P., Farrokhi, A., Mirifar, A., Keihani, M., Sadjadi, A., 2014, The effect of neurofeedback training on attention rate in proficient track and field athletics. *Journal of Fundamentals of Mental Health* 5, p.312-318.
- Hatfield, B.D., Landers, D.M., Ray, W.J., 1984, Cognitive Processes During Self-Paced Motor Performance: An Electroencephalographic Profile of Skilled Marksmen. *Journal of Sport and Exercise Psychology* 6, p.42-59.
- Haufler, A. J., Spalding, T. W., Santa Maria, D. L., Hatfield, B. D., 2000, Neuro-cognitive activity during a self-paced visuospatial task: comparative EEG profiles in marksmen and novice shooters. *Biological psychology* 53, p.131-160.

- He, S., Everest-Phillips, C., Clouter, A., Brown, P., Tan, H., 2020, Neurofeedback-Linked Suppression of Cortical β Bursts Speeds Up Movement Initiation in Healthy Motor Control: A Double-Blind Sham-Controlled Study. *The Journal of Neuroscience* 40, p.4021-4032.
- Holmes, P.S., Collins, D.J., 2001, The PETTLEP approach to motor imagery: a functional equivalence model for sport psychologists. *Journal of Applied Sport Psychology* 13, p.60-83.
- Kanthack, T.F.D., Bigliassi, M., Vieira, L.F., Altimari, L.R., 2013, Acute effect of motor imagery on basketball players' free throw performance and self-efficacy. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano* 16, p.47-57.
- Kerick, S.E., McDowell, K., Hung, T., Santa Maria, D.L., Spalding, T.W., 2001, The role of the left temporal region under the cognitive motor demands of shooting in skilled Marksmen. *Biological psychology* 58, p.263-277.
- Kuhn, A.A., Doyle, L., Pogosyan, A., Yarrow, K., Kupsch, A., Schneider, G., Hariz, M.I., Trottenberg, T., Brown, P., 2006, Modulation of beta oscillations in the subthalamic area during motor imagery in Parkinson's disease. *Brain* 129, p.695–706.
- Lucidi, F., 2011, SportivaMente: temi di psicologia dello sport, p.427-431.
- Luijmes, E.R., Pouwels, S., Boonman, J., 2016, The effectiveness of neurofeedback on cognitive functioning in patients with Alzheimer's disease: Preliminary results. *Clinical Neurophysiology* 46, p.179-187.
- Malouin, F., Richards, C.L., Jackson, P.L., Lafleur, M.F., Durand, A., Doyon, J., 2007, The Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ) for Assessing Motor Imagery in Persons with Physical Disabilities: A Reliability and Construct Validity Study. *Journal of neurologic physical therapy*, 31, p.20-29.

- Marzbani, H., Marateb, H.R., Mansourian, M., 2016, Methodological Note: Neurofeedback: A Comprehensive Review on System Design, *Methodology and Clinical Applications. Basic and clinical neuroscience* 7, p.143-158.
- Maszczyk, A., Dobrakowski, P., Nitychoruk, M., Żak, M., Kowalczyk, M., Toborek, M., 2020, The Effect of Neurofeedback Training on the Visual Processing Efficiency in Judo Athletes. *Journal of Human Kinetics* 71, p.219-227.
- McFarland, D.J., Miner, L.A., Vaughan, T.M., Wolpaw, J.R., 2000, Mu and Beta Rhythm Topographies During Motor Imagery and Actual Movements. *Brain topography* 12, 177-186.
- Mikicin, M., Mróz, A., Karczewska-Lindinger, M., Malinowska, K., Mastalerz, A., Kowalczyk, M., 2020, Effect of the Neurofeedback-EEG Training During Physical Exercise on the Range of Mental Work Performance and Individual Physiological Parameters in Swimmers. *Applied Psychophysiology and Biofeedback* 45, p.49-55.
- Milley, K.R., Ouellette, G.P., 2021, Putting Attention on the Spot in Coaching: Shifting to an External Focus of Attention With Imagery Techniques to Improve Basketball Free-Throw Shooting Performance. *Frontiers in psychology* 12, p.1-9.
- Minino, R., Belfiore, P., Liparoti, M., 2020, Neuroplasticity and motor learning in sport activity. *Journal of Physical Education and Sport* 20, p.2354 – 2359.
- Munzerta, J., Loreya, B., Zentgrafa, K., 2009, Cognitive motor processes: The role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain research reviews* 60, p.306-326.
- Nafih, C., Masilamani, E., Dilshith, A.K., Amila, A., Paris, V., Athos, A., 2020, PETTLEP imagery and tennis service performance: an applied investigation. *De Gruyter* 15, p.1-9.

- Ninaus, M., Kober, S.E., Witte, M., Koschutnig, K., Stang, M., Neuper, C., Wood, G., 2013, Neural substrates of cognitive control under the belief of getting neurofeedback training. *Frontiers in Human Neuroscience* 7, p.1-10.
- Norouzi, E., Hosseini, F., Vaezmousavi, M., 2018, The effect of Neurofeedback training on sport performance enhancement and conscious motor processing in skilled dart player. *Journal of Sports and Motor Development and Learning* 10, p.139-157.
- Paktas, Y., 2021, The effect of neurofeedback training on the perceptual-motor abilities of basketball athletes. *Pakistan Journal of Medical Health Sciences* 15, p.791-793.
- Parnabas, V., Parnabas, J., Parnabas, A.M., 2015, Internal and External Imagery on Sports Performance among Swimmers. *European Academic Research* 2, p.14735-14741.
- Pascual-Leone, A., Nguyet, D., Cohen, L.G., Brasil-Neto, J.P., Cammarota, A., Hallett, M., 1995, Modulation of Muscle Responses Evoked by Transcranial Magnetic Stimulation during the Acquisition of New Fine Motor Skills. *Journal of neurophysiology* 74, p.1037-1045.
- Pino, O., 2019, Immaginazione, Stili di Vita e Attività Motoria, Universitas, p.61-67, 113-117.
- Pogosyan, A., Gaynor, L.D., Eusebio, A., Brown, P., 2009, Boosting Cortical Activity at Beta-Band Frequencies Slows Movement in Humans. *Current Biology* 19, p.1637–1641.
- Porro, C.A., Francescato, M.P., Cettolo, V., Diamond, M.E., Baraldi, P., Zuiani, C., Bazzocchi, M., Di Prampero, P.E., 1996, Primary Motor and Sensory Cortex Activation during Motor Performance and Motor Imagery: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *The Journal of Neuroscience* 16, p.7688-7698.
- Richardson, A., 1969, Mental Imagery. New York: Springer Publishing Company, Inc, p.2-3.
- Ridderinkhof, K.R., Brass, M., 2015, How Kinesthetic Motor Imagery works: a predictive-processing theory of visualization in sports and motor expertise. *Journal of Psychology* 109, p.53-63.

- Robin, N., Toussaint, L., Charles-Charlerya, C., Coudeville, G.R., 2019, Free throw performance in non-expert basketball players: The effect of dynamic motor imagery combined with action observation. *Learning and Motivation* 68, p.1-10.
- Rostami, R., Sadeghi, H., Karami, K.A., Abadi, M.N., Salamati, P., 2012, The Effects of Neurofeedback on the Improvement of Rifle Shooters' Performance. *Journal of Neurotherapy* 16, p.264-269.
- Satriawan, R., Khairul, A., 2019, The Effect of Training on the Increasing of the Skill Lay Up Shoot Basketball Games Extracurricular Participants Basketball Students of SMA Negeri Woha. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research* 443, p.292-296.
- Schwenkreis, P., El Tom, S., Ragert, P., Pleger, B., Tegenthoff, M., Dinse, H.R., 2007, Assessment of sensorimotor cortical representation asymmetries and motor skills in violin players. *The European journal of neuroscience* 26, p.3291-3302.
- Singh, Dr. A., 2019, The effect of mental training on shooting ability of university girls basketball players. *International Journal of Yogic, Human Movement and Sports Sciences* 2019 4, p.178-180.
- Stiles J., 2000., Neural Plasticity and Cognitive Development. *Developmental Neuropsychology*, 18 p.237-272.
- Studer, P., Kratz, O., Gevensleben, H., Rothenberger, A., Moll, G.H., Hautzinger, M., Heinrich, H., 2014, Slow cortical potential and theta/beta neurofeedback training in adults: effects on attentional processes and motor system excitability. *Frontiers in Human Neuroscience* 8, p.1-13.
- Subramanian, L., Hindle, J.V., Johnston, S., Roberts, M.V., Husain, M., Goebel, R., Linden, D., 2011, Real-Time Functional Magnetic Resonance Imaging Neurofeedback for Treatment of Parkinson's Disease. *The Journal of neuroscience* 31, p.16309-16317.

- Trambaiolli, L.R., Biazoli, C.E. Jr., Cravo, A. M., Sato, J.R., 2021, Feedback congruence affects real and perceived performance of an affective neurofeedback task. *10th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering*, p.331-333.
- Trambaiolli, L.R., Biazoli, C.E. Jr., Cravo, A.M., Falk, T.H., Sato, J.R., 2018, Functional near-infrared spectroscopy-based affective neurofeedback: feedback effect, illiteracy phenomena, and whole-connectivity profiles. *Neurophotonics* 5, p.1-15.
- Wang, J., Shulan, H., 2013, Neurofeedback training improves attention and working memory performance. *Clinical neurophysiology* 124, p.2406-2420.
- Wing, K., 2015, Effect of Neurofeedback on Motor Recovery of a Patient with Brain Injury: A Case Study and Its Implications for Stroke Rehabilitation. *Topics in Stroke Rehabilitation* 8, p.45-53.
- Witte, M., Kober, S.E., Ninaus, M., Neuper, C., Wood, G., 2013, Control beliefs can predict the ability to up-regulate sensorimotor rhythm during neurofeedback training. *Frontiers in human neuroscience* 7, p.1-8.
- Wright, C.J., Smith, D., 2009, The effect of PETTLEP imagery on strength performance. *International Journal of Sport and Exercise Psychology* 7, p.18-31.
- Zhang, L., Pi, Y., Zhu, H., Shen, C., Zhang, J., Wu, Y., 2018, Motor experience with a sport-specific implement affects motor imagery. *PeerJ* 6, p.1-14.

SITOGRAFIA

- www.Humanitas.it
- www.Wikipedia.it