

UNIVERSITA' CATTOLICA DEL SACRO CUORE

Facoltà di Psicologia - LM Psicologia dello Sviluppo e della Comunicazione

Corso di Neuropsicologia della Comunicazione a.a. 2013/2014



Can binaural auditory beat affect performance in precision sport?

A research report about eeg, alpha power and binaural beat that explore the influence of resting state induction on performance in precision sport

Gruppo: stati di coscienza

Maria Balossi Restelli, 4103290

Abstract: When two tones of slightly different frequency are presented separately to the left and right ears the listener perceives a single tone that varies in amplitude at a frequency equal to the frequency difference between the two tones, a perceptual phenomenon known as the binaural auditory beat. Anecdotal reports suggest that binaural auditory beats within the electroencephalograph frequency range can entrain EEG activity and may affect states of consciousness, although few scientific studies have been published. The aim of this research project is to examine the effects of binaural auditory beats in the EEG alpha frequency range in closed skill's sport performance to investigate their effects on concentration and precision. The study has a *within subjects* architecture that consider both laboratory and ecological context. The participant performed both a precision and a reaction task, after a 3' minutes stimulation containing simple tones (control) or binaural beats in the low alpha range in order to induce a resting state (315 Hz left ear-325 Hz right ear). Results demonstrate that presentation of alpha frequency binaural beats had no relevant effect on performance in precision task, but that can induce a resting state and modify alpha peak frequency in direction of the binaural beat frequency. The presentation of alpha frequency binaural beats can also generate entrainment phenomenon. The study suggest that binaural beats have different potentiality that the scientific research need to explore. This technology may have applications in different field in order to modify state of consciousness and to enhance human performance in different direction.

Keywords: Alpha Waves, Binaural Sounds, Consciousness, EEG, Resting State, States of Consciousness, Sport Performance, Concentration.

1. INTRODUZIONE E PREMESSE TEORICHE

1.1 INTRODUZIONE AL PROGETTO DI RICERCA

L'obiettivo generale del progetto è quello di indagare l'effetto che una modulazione dello stato di coscienza indotta attraverso tecniche specifiche ha sul piano neurofisiologico e su quello comportamentale.

L'interesse si è concentrato su uno specifico stato di coscienza, quello di resting (*rilassamento*) inteso come stato di coscienza modulato attraverso la tecnica della stimolazione binaurale a frequenza 315-325 Hz. La specifica stimolazione indotta con differenza di frequenza pari a 10 Hz, ha l'obiettivo di elicitare onde *low alpha* nel soggetto per favorirne il rilassamento. In particolare, dal punto di vista neurofisiologico, si vuole quantificare, attraverso rilevazioni elettroencefalografiche (EEG), la risposta oscillatoria elettrico-corticale del soggetto alla stimolazione binaurale. Il valore del *power di alpha* viene inteso, ai fini di questo studio, come indicatore della quota di rilassamento oggettivo del soggetto.

Per quanto riguarda le risposte comportamentali, l'obiettivo principale della ricerca è indagare l'effetto dell'induzione di uno stato di resting sulla performance del soggetto.

Il costrutto di *performance*, viene declinato in ambito sportivo e si riferisce alla risposta comportamentale ad un compito di precisione in un campione di atleti che praticano sport che richiedono closed skill. Appartengono a questa tipologia di sport tutte quelle discipline che si svolgono in contesti stabili e

prevedibili, nei quali l'atleta gestisce totalmente i tempi di esecuzione ed esegue da fermo il gesto tecnico, come ad esempio il tiro a segno, il tiro con l'arco e il golf.

Il dato comportamentale di *precisione* viene inteso, come indice oggettivo dello stato di *concentrazione* di un soggetto che pratica a livello professionale sport che richiedono mira.

I concetti di performance di precisione e quello di concentrazione sono da declinarsi sia applicati entro un contesto sperimentale di laboratorio, sia all'interno di un contesto ecologico.

L'idea sottesa al disegno sperimentale, sulla base delle evidenze emerse in letteratura, è che la sincronizzazione di onde alpha indotta da stimolazione binaurale possa favorire il raggiungimento di uno stato di rilassamento ottimale prima di una performance che richiede precisione; lo stato di rilassamento può aumentare lo stato di concentrazione del soggetto con conseguenze comportamentali positive nella prestazione.

Come verifica di questo, si intende valutare se raggiungere uno stato di *resting* e di concentrazione ottimale può avere ricadute negative sulla prontezza in termini di rallentamento dei tempi di elaborazione centrale e periferica. La *prontezza* viene quindi intesa come misura comportamentale opposta a quella di precisione.

Esiste una letteratura molto vasta che riguarda il costrutto di coscienza indagato nelle sue più diverse prospettive. Allo stesso modo esiste una notevole quantità di studi che indagano le modulazioni della coscienza. Diversamente dalle attese, la bibliografia esistente è carente e contrastante sia per quanto riguarda studi di paragone tra diverse tecniche di alterazione dello stato di coscienza che per quanto riguarda l'utilizzo di queste tecniche in relazione alla performance sportiva.

1.2 PREMESSE TEORICHE

Il progetto di ricerca nasce dal desiderio di esplorare un costrutto, quello di coscienza che in letteratura appare tanto poliedrico quanto difficile da circoscrivere in una definizione che possa essere accettata e condivisa in maniera univoca. Negli anni si sono infatti succeduti e sovrapposti diversi filoni di ricerca che hanno portato a definizioni molto contrastanti del costrutto stesso. Le definizioni di vocabolario del termine coscienza sottolineano la dicotomia intrinseca al significato del termine. La coscienza è da un lato legata ad una dimensione soggettiva, ossia la "consapevolezza che l'uomo ha di sé e del mondo esterno", (De Mauro, 2000) dall'altro ad una dimensione marcatamente oggettiva dove viene rappresentata, a seconda del modello teorico di riferimento, come un fenomeno percettivo piuttosto che cognitivo (Balconi, 2006). Nel corso del tempo si sono succedute concezioni altamente riduzioniste, che facevano coincidere lo studio della coscienza con l'indagine dei processi ad essa sottostanti (Baars, 2003) e prospettive più olistiche a sostegno dell'ipotesi che la coscienza non possa essere ridotta unicamente alla dimensione neuroanatomica (Libet, 1993). Vi sono filoni di ricerca che indagano la coscienza ponendo il fuoco sugli aspetti più qualitativi (Chalmers, 1996; Dennet, 1988); altri che la considerano come una condizione fisiologica specifica rappresentata attraverso paradigmi oggettivi e spesso identificata con lo stato di veglia (Kanwisher, 2001); studiosi che invece analizzano il costrutto di coscienza nella sua dimensione più filosofica (Balconi, 2006). Secondo la prospettiva assunta per gli obiettivi di questo progetto si definisce la coscienza come

“l’insieme delle abilità mentali di un individuo, espresse in termini di consapevolezza di ciò che egli sta facendo e di ciò che sta avvenendo intorno a lui” (Balconi, 2006). All’interno di un approccio neuropsicologico è fondamentale indagare le componenti corticali e sottocorticali che rendono possibile l’insorgere della coscienza. A tal proposito è opportuno sottolineare che “la coscienza non è rappresentabile in termini di nucleo unitario ma piuttosto che essa chiama in causa sistemi multipli e localmente distribuiti” (Balconi, 2006) ed è una proprietà che emerge da un insieme di componenti.

Analogamente controversa è la definizione di *stato di coscienza* e che cosa differenzi uno stato dall’altro. La coscienza è da intendersi come un “processo graduale” (Balconi, 2006), un continuum al cui interno esistono diversi stati i cui limiti sono sfumati. I diversi stati di coscienza non sono quindi da intendersi come sezioni parziali e nettamente separate tra loro dell’intero costruito. E’ opportuno distinguere tra uno stato “ordinario” di coscienza e gli stati “modificati” di coscienza, che contemplano variazioni qualitative delle funzioni cognitive e che alterano la dimensione esperienziale del soggetto (Balconi, 2006). All’interno degli stati modificati si distinguono gli stati modulati (o evocati), cioè quelli indotti artificialmente tramite tecniche come l’ipnosi o strumenti come i toni binaurali e gli stati alterati, ovvero quelli indotti in modo naturale come il sonno. Con appositi strumenti di rilevazione dell’attività oscillatoria corticale è possibile notare come le onde prodotte dal cervello cambino il loro andamento in concomitanza con le modulazioni dello stato di coscienza. Il cervello dell’uomo emette onde con frequenze che variano da 0.5 a 30 Hertz. La letteratura divide questo range in cinque bande; la coerenza e la sincronizzazione di ognuna implica un diverso stato di coscienza. I cinque ritmi sono: delta, theta, alpha, beta, gamma.

1.2.1 RITMO ALPHA E ONDE LOW ALPHA

Coerentemente con gli obiettivi della ricerca, l’indagine all’interno della letteratura esistente rispetto alle componenti corticali che rendono possibile l’insorgere della coscienza si è focalizzata sulle onde alpha. “A form of automatic functioning, a state of electrical readiness which exist when the subjects is awake and conscious but inattentive” è la definizione di onde alpha data da Hans Berger, che, nel 1929 individuò una prima sincronizzazione delle stesse in corrispondenza della chiusura degli occhi ed una seconda durante episodi di rilassamento. Successivamente Berger rilevò, a conferma di quanto scoperto, che l’apertura degli occhi sostituiva le onde alpha con una sincronizzazione di onde beta. Il ritmo alpha è caratterizzato da oscillazioni nella banda 8 - 12Hz, ha un'ampiezza media di 30µV e viene registrato ad occhi chiusi in un soggetto sveglio, soprattutto tra gli elettrodi occipitali e quelli parietali e viene tipicamente correlato a stati di rilassamento mentale. In tempi più recenti la ricerca ha distinto le onde alpha in due diverse sottocategorie: *high alpha* e *low alpha*. Le onde *high alpha* hanno una frequenza che oscilla tra i 10 ½ e i 12/13 Hz e sono prevalentemente associate ai processi mnestici. Le onde *low alpha* sono invece connesse con gli stati di resting e di rilassamento e hanno una frequenza che varia tra gli 8 e i 10 ½ Hz. Diverse ricerche dimostrano che il range di frequenza individuato e la differenza tra low alpha e high alpha è soggetto a variabilità individuale (Swibbe, Bruell & Becker, 191) e dello stesso soggetto nel corso degli anni (Inouye, Shinosaki, Yakasaki & Shimizu, 1986).

Focalizzare l'attenzione sugli stati di rilassamento mentale e sul ritmo alpha non può escludere una riflessione sul costrutto di *coerenza cerebrale*, concetto polisemico da intendersi in questa sede come indice sincronizzazione delle onde cerebrali e di comunicazione tra le aree del cervello. Le ricerche condotte su meditatori esperti, hanno mostrato che in stati di profondo rilassamento si assiste ad una maggiore coerenza interemisferica soprattutto frontale in particolare tra le onde alpha (Murata, 2004; Travis, 2006). Questi livelli di elevata coerenza riscontrate nei quadri EEG dei meditatori di lunga pratica si mantengono costanti nel tempo ed oltretutto, in maniera ancora più evidente, al di fuori della pratica in sé (Arenander, 2006). La coerenza cerebrale sembra quindi essere una manifestazione dell'integrità funzionale neuropsichica ed indice dello stato di funzionamento ottimale dell'individuo (Rusalova 2005; Dunn, 1999).

1.2.2 STATO DI RESTING E ONDE ALPHA

In una accurata rassegna sulla psicobiologia degli stati alterati di coscienza vengono indagati gli aspetti qualitativi fondamentali degli stati di rilassamento e le diverse tecniche che possono indurlo da quelle che coinvolgono il movimento come la danza, ad altre più silenziose come la meditazione (Weiss, Wackermann, Strehl, Strauch, Sammer, Putz, Ott, Miltner, Lehmann, Kotchoubey, Kubler, Gruzelier, Jamieson, Birbaumer & Vaitl, 2005). Il modello cognitivo-comportamentale del rilassamento elaborato da Smith, Amutio, Anderson & Aria (1996) suggerisce tre elementi fondamentali presenti in tutte le forme di rilassamento: capacità di focalizzare l'attenzione su uno stimolo semplice acustico o visivo per un esteso periodo di tempo; abilità nel respingere pensieri analitici adottando un comportamento passivo; saper essere ricettivi ed accettare una esperienze inusuali.

Uno studio molto accurato del 1977 sugli stati di rilassamento dimostra che l'induzione di uno stato di rilassamento, produce una diminuzione significativa del battito cardiaco, del consumo di O₂, dell'emissione di Co₂. Inoltre sottolinea che la meditazione elicit la produzione di onde low alpha e che l'attività alpha è ottimale quando gli occhi sono chiusi; la rotazione verso l'alto dei bulbi oculari stimola, secondo gli autori, la produzione di onde alpha (Morse, Martin, Furst & Dubi, 1977). I cambiamenti elettroencefalografici che avvengono durante il rilassamento e la meditazione, come l'aumento dell'attività di alpha e la maggior coerenza di alpha sono stati rilevati da diversi studi, ma sono ad oggi fonte di discussione (Fenwick, 1987). Alcune ricerche dimostrano che la attività delle onde low alpha permane, anche oltre il termine della meditazione (Bagchi & Wenger, 1958, Kasamasu & Hirai, 1969, Banquet, 1973). Anand, Chhina & Singh (1961) hanno dimostrato che chi pratica meditazione con regolarità ha un aumento della produzione di onde low alpha generate nelle aree occipitali e frontali. Studi recenti hanno comparato meditatori esperti ed inesperti: l'expertise aumenta il power di low alpha nelle regioni frontali (Aftanas & Golocheickine, 2001). Travis & Wallace (1999) in uno studio su rilassamento indotto attraverso la meditazione dimostrano che produce un aumento della coerenza di alpha e che è in grado di spostare l'attenzione da un livello di pensiero attivo ad un livello astratto.

1.2.3 TONI BINAURALI

I toni binaurali sono risposte uditive del tronco encefalico che hanno origine nel nucleo olivare (Foster, 1990), una piccola massa di sostanza grigia che si trova nella parte superiore del midollo allungato. Scoperti nel 1839 dallo studioso tedesco H. W. Dove, sono il risultato di due impulsi sonori differenti originati ognuno in un orecchio che differiscono tra loro secondo una frequenza che varia tra 1 e 20/30 Hz). La percezione di questi due suoni genera un terzo suono di frequenza pari alla differenza tra le due frequenze. Questo terzo suono, pur non essendo uno stimolo reale, viene udito dal soggetto in modo nitido. L'abilità dell'orecchio umano di sentire suoni binaurali sembra essere il risultato di una assimilazione avvenuta nel corso dell'evoluzione. La capacità di molte specie evolute di sentire i suoni binaurali sembra avere una relazione con la dimensione dello scalpo. Il nervo acustico garantisce lo scambio di informazione tra i due lati destro e sinistro prima che il suono arrivi a livello corticale per trasformarsi in percepito. Sul percorso della via acustica centrale che porta le informazioni relative agli stimoli sonori dalle cellule ciliate acustiche fino alla corteccia uditiva temporale primaria, si incontrano tre luoghi importanti per la percezione del tono binaurale: il nucleo olivare superiore, i nuclei pontini e i collicoli inferiori. Il nucleo olivare superiore, incaricato dello scambio dell'informazione e dell'integrazione controlaterale del segnale uditivo, trasferisce il segnale integrato ai collicoli inferiori. La sovrapposizione della scarica neuronale dell'integrazione dei due segnali che arrivano dalle due orecchie risultano in un terzo segnale, il tono binaurale. Se non vi sono stimoli di tipo interno o esterno che entrano in conflitto con questa informazione, il sistema reticolare, in virtù di un principio di bilanciamento omeostatico, provoca una modulazione nell'attività dell'onda cerebrale che si sintonizza con la stimolazione binaurale (Kasprzack, 2011).

I toni binaurali, insieme ad altri stimoli visivi hanno la particolarità di provocare il fenomeno di *frequency-following response* (FFR), una specifica risposta dell'encefalo alla frequenza di uno stimolo esterno (Owen & Atwater, 1997) e possono quindi essere usati per produrre ritmi oscillatori corticali specifici per indurre una modificazione dello stato di coscienza.

Nonostante gli studi sulla stimolazione binaurale siano spesso in contrasto tra loro, diverse ricerche hanno dato dimostrazione scientifica della loro efficacia.

1.2.4 TONI BINAURALI E PERFORMANCE

La maggior parte degli studi che utilizzano la stimolazione binaurale in relazione alla performance ha indagato gli effetti dell'induzione di ritmi delta e theta sui processi attentivi. Una rapida rassegna di queste ricerche permette di cogliere la capacità della stimolazione binaurale di produrre fenomeni di entrainment.

Owen and Atwater (1997) hanno analizzato pattern di registrazioni elettroencefalografiche ed esperienze soggettive associate con l'ascolto di serie di toni binaurali a bassa frequenza, dimostrando che la stimolazione binaurale con differenziale di frequenza pari ad onde delta e theta produce un aumento significativo delle stesse onde a fronte di un decremento di attività alpha e beta.

Lane, Kasian, Owens & Marsh (1997) hanno indagato attraverso la misurazione oggettiva dell'arousal dei soggetti ed una rilevazione eeg, gli effetti di una stimolazione binaurale di 30 minuti di onde alpha e theta, sul *mood* e sulla *performance* in un compito di vigilanza attentiva. I risultati hanno dimostrato che la stimolazione è in grado di migliorare sia il mood (incremento di atteggiamento positivo rispetto ai falsi allarmi) che la performance (diminuzione dei tempi di reazione).

Kennel (2010) ha cercato di indagare se una stimolazione binaurale di 20 minuti di onde beta avesse effetto nella riduzione della disattenzione nei giovani. Sebbene non siano stati riscontrati risultati significativi a livello statistico, sono state rilevate differenze positive nella percezione soggettiva dell'attenzione.

1.2.5 TONI BINAURALI E ONDE ALPHA

Al contrario, alcuni studi indagano l'utilizzo della stimolazione binaurale per stimolare un decremento dell'arousal e favorire il rilassamento.

Foster (1991) ha analizzato la stimolazione binaurale di onde alpha e ha verificato una modulazione della frequenza di picco di high alpha coerentemente, in termini di Hz, con la stimolazione.

Lavallee e Koren (2011) hanno indagato la relazione tra stimolazione binaurale e rilassamento, sottoponendo ad 8 soggetti, meditatori esperti e inesperti due tipi di stimolazioni differenti: una a 7 Hz con l'intento di generare *low alpha* che facilitino il processo meditativo, una a 15 Hz, con il proposito di impedirlo. I risultati dimostrano che la stimolazione binaurale di onde a 7 Hz facilita il processo di meditazione mentre quella a 15 Hz lo impedisce.

Lo studio già citato di Kasprzack (2011) ha indagato su un campione di 20 soggetti l'effetto in termini di risposta elettrico-corticale di 20 minuti di stimolazione binaurale a 10 Hz di differenza seguiti da 10 minuti di silenzio. E' stato registrato, un decremento dell'ampiezza media di alpha durante la stimolazione a fronte di un aumento significativo del power di alpha dopo la stimolazione. Per 4 soggetti su 20 è stato riscontrato un effetto di entrainment, rispondente alla stimolazione.

1.2.6 SPORT, ONDE ALPHA E PERFORMANCE

Nel mondo dello sport, il monitoraggio psicofisiologico, ossia la rilevazione dei gradi di attivazione e funzionamento dell'organismo può essere uno strumento utile per migliorare la comprensione dei processi sottostanti la performance sportiva e per poterla ottimizzare (Hatfield & Landers, 1987).

All'interno delle tecniche che vengono usate per questo tipo di monitoraggio l'elettroencefalografia risulta essere uno degli strumenti più utilizzati; una gran quantità della ricerca vede proprio un'associazione tra particolari pattern elettroencefalografici e le prestazioni in specifici compiti cognitivi (Thompson, Steffert, Ros, Leach & Gruzelier, 2008) perché utilizzabile anche al di fuori dello stretto ambito di laboratorio. Negli ultimi vent'anni l'analisi dei processi psicofisiologici sottostanti la prestazione sportiva è cresciuta in maniera esponenziale, anche sulla spinta dell'interesse per l'allenamento mentale da parte di atleti ed allenatori.

Wilson, Thompson, Thompson, Thompson & Fallahpour (2011) hanno individuato una certa stabilità tra alcune frequenze di oscillazione corticale ed aspetti specifici della performance sportiva. In particolare:

- 6-7 Hz (High Theta). Tipica dell'orientamento interno; la persona non è focalizzata su esecuzione di abilità specifiche nello sport (fissazione bersaglio nel tiro), bensì internamente.
- 8-10 Hz (Low Alpha). Tipica dell'orientamento interno; aumenta durante alcune tecniche di rilassamento prima della performance sportiva.
- 11-12 Hz (High Alpha). Collegata ad uno stato di grande allerta e coscienza; tipica degli atleti di alto livello quando sono nella loro "zona di prestazione ottimale".
- 19-22 Hz (ritmo in banda Beta). Collegata ad "intensità" emozionale (ad esempio, all'ansia).
- 23-36 Hz (High Beta). Collegata all'elaborazione cognitiva. In alcuni individui può corrispondere ad elaborazioni mentali che incidono negativamente su una prestazione (può essere un importante indice di distrazione negli atleti d'élite).

La maggior parte degli studi che indagano la relazione tra oscillazione corticale e performance sportiva si basano sul confronto tra atleti esperti e non esperti, individuando nell'expertise una variabile di rilievo.

Nello studio di Bunker, Williams & Zinser (1993) ad esempio, è stato dimostrato, che gli esperti presentano nei loro tiri migliori maggior potenza dell'onda theta fronto-mediale e valori più alti di power di alpha alto-parietale, rispetto all'attività corticale associata al colpo migliore degli atleti inesperti. I risultati suggeriscono che, i golfisti più esperti potrebbero aver sviluppato strategie di risoluzione del compito, tra cui attenzione focalizzata ed economia nell'elaborazione dell'informazione, che porterebbero ad una prestazione di maggiore successo.

La dimensione dell'economia cognitiva degli atleti esperti durante la performance era stata precedentemente rilevata nello studio di Hatfield, Landers & Ray (1984) che ha rilevato una asimmetria corticale in area temporale nella banda di frequenza alpha in tiratori di carabina evidenziata durante un intervallo di 7,5 secondi prima del tiro. L'area di attivazione interessata si trova in coincidenza di zone collegate al linguaggio; la localizzazione dell'asimmetria ha portato gli autori a pensare che l'incremento dell'attività alpha potesse indicare una riduzione dell'attività simbolica e verbale a favore di un incremento del focus attentivo interno e del dialogo interiore dell'atleta con se stesso.

L'aumento del power di alpha sembra essere un indice dell'abbassamento dell'attenzione visiva verso stimoli esterni (Vijn, 1991; Kononen & Partanen, 1993). Looze, Collins & Holmes (2001) hanno analizzato la reattività del power di alpha durante la performance di shooters professionisti. Il power di alpha sembra avere un ruolo chiave nel successo della performance; è stato individuato un suo incremento nella zona occipitale e temporale anteriore sinistra, nei pochi secondi che precedono i tiri migliori. I risultati suggeriscono che l'attenzione visiva verso la pistola e verso il bersaglio viene soppressa gradualmente nei tiri migliori, poco prima del tiro. Il successo di uno sparo vincente sembra quindi essere connesso con una soppressione della attenzione visiva negli ultimi secondi del periodo prima dello sparo. Ancora, la ricerca condotta da Vickers (1996) evidenzia che la soppressione dell'attenzione visiva degli atleti professionisti

prima del tiro porta ad un incremento di attività low alpha che permette la non interferenza con l'attivazione del sistema motorio. L' incremento del power di alpha prima dell'esecuzione sembra riflettere una riduzione dell' attenzione rispetto allo stimolo esterno a favore dell'intenzione, ossia della rappresentazione interna dello stimolo. La soppressione della visione favorirebbe secondo l'autore un aumento della concentrazione.

La rassegna degli studi presentata evidenzia in linea generale una relazione tra incremento di attività low alpha e decremento dell'attenzione visiva verso stimoli esterni a favore, sembrerebbe di una maggior concentrazione sullo stato interno del soggetto.

1.2.7 SPORT E RESTING

Anche per quanto riguarda gli studi che indagano la relazione tra rilassamento e performance l'expertise è rilevante. Harfield e Landers (1987) sostengono ad esempio che esperti arcieri e tiratori dimostrano uno stato di rilassamento maggiore, che incrementa nei 2-3 secondi prima dello sparo, individuato a livello di attività corticale in un incremento del power di alpha soprattutto nell'area temporale anteriore sinistra. Gli studi che indagano la relazione tra rilassamento e performance sono interessati a capire se esistano dei training efficaci per gestire l'attivazione eccessiva e lo stress che possono influenzare negativamente la performance. Soldberg, Berglund, Engen, Ekeberg & Loeb (1996) hanno analizzato l'effetto della meditazione nella performance di shooting in un campione di 25 tiratori d'elite in contesto ecologico di competizione. I risultati dimostrano che esiste una associazione tra bassa tensione percepita e miglioramento della performance.

John, Kumar & Lal, 2012 hanno indagato l'effetto di un training di musicoterapia nella performance sportiva in un campione di tiratori professionisti. I risultati evidenziano che lo stress ha un effetto negativo sulla performance: il livello di stress connesso con la performance ha influenza sulla restrizione del focus attentivo e sulla concentrazione. Una stimolazione musicale può aiutare ed influenzare i processi cognitivi e favorire una migliore organizzazione della trasmissione corticale che può migliorare la performance nello sport.

2. OBIETTIVI E IPOTESI

2.1 OBIETTIVI

L'obiettivo generale del progetto è quello di indagare l'effetto che una modulazione dello stato di coscienza indotta attraverso stimolazione binaurale a frequenza 315-325 Hz, ha sul piano neurofisiologico e su quello comportamentale. In particolare, dal punto di vista neurofisiologico, si vuole quantificare, attraverso rilevazioni elettroencefalografiche (EEG), la risposta oscillatoria elettrico-corticale del soggetto alla stimolazione binaurale. Per quanto riguarda le risposte comportamentali, l'obiettivo principale della ricerca è indagare l'effetto dell'induzione di uno stato di resting sulla performance di precisione, sia in contesto di laboratorio che ecologico, di atleti d'elite che praticano sport che richiedono elevate skills di mira.

2.2 IPOTESI

Sulla base degli obiettivi preposti e della letteratura presa in esame sono state formulate le seguenti ipotesi di tipo neurofisiologico (H₁; H₂; H₃) e comportamentale (H₄; H₅; H₆; H₇).

(H₁) La stimolazione binaurale a frequenza 315-325 Hz produce un incremento dell'indice di power per la banda alpha, rispetto ad una stimolazione di controllo attiva.

(H₂) La stimolazione binaurale a frequenza 315-325 Hz genera un aumento di onde *low alpha* a 10 Hz, rispetto ad una stimolazione di controllo attiva.

(H₃) La stimolazione di controllo attiva genera un aumento di onde *high alpha*, rispetto alle rilevazioni di baseline.

L'ipotesi sullo stimolo di controllo attivo (H₃) è legata alla distinzione che viene fatta in letteratura tra onde *low alpha* e onde *high alpha*. L'idea sottesa alla base di questa ipotesi è che uno stimolo di controllo attivo generi uno stato di attenzione maggiore ed un incremento di onde high alpha, rispetto ad una stimolazione in cui il soggetto non ascolta nessun tipo di stimolo uditivo.

(H₄) In contesto di laboratorio, la performance ad un compito di precisione preceduta da stimolazione binaurale a frequenza 315-325 Hz, è migliore rispetto alla performance allo stesso compito, preceduta da una stimolazione di controllo attivo.

(H₅) In contesto di laboratorio, la performance ad un compito di prontezza preceduto da stimolazione binaurale a frequenza 315-325 Hz, è peggiore, rispetto alla performance allo stesso compito, preceduta da una stimolazione di controllo attivo.

(H₆) In contesto ecologico, la stimolazione binaurale a frequenza 315-325 Hz precedente alla performance sportiva, produce un miglioramento ulteriore della concentrazione e della precisione rispetto alla risposta di performance ottenuta al compito di precisione in contesto di laboratorio.

(H₇) In contesto ecologico, la stimolazione binaurale a frequenza 315-325 Hz precedente ad un compito di prontezza, non produce un peggioramento ulteriore della performance di prontezza, rispetto alla risposta di performance ottenuta al compito di prontezza in contesto di laboratorio.

L'idea sottesa all'andamento ipotesi di paragone (H₇) tra contesto di laboratorio e contesto ecologico (H₅ e H₆) è che *l'expertise* del soggetto in ambito sportivo rappresenti una variabile influente nella differenza tra i risultati di laboratorio e quelli ecologici.

3. METODI, TECNICHE E STRUMENTI

3.1 CAMPIONE

Considerato lo spirito pionieristico della ricerca rispetto alla bibliografia esistente e ai fini di verificare la correttezza del complesso disegno sperimentale progettato si è preferito procedere con una registrazione di prova. Questa registrazione, rappresenta la premessa alla continuazione dello studio, eventualmente modificato nei suoi punti di debolezza, esteso su un campione più ampio di soggetti. Per ragioni di tecniche, la registrazione di prova è stata effettuata esclusivamente in contesto di laboratorio. Per questo motivo, il percorso di analisi riportato nella sessione successiva, non riporta l'analisi dei dati relativi al contesto ecologico. Il campione della registrazione compiuta si basa su 1 soggetto di genere maschile, 28 anni di età, italiano, di razza caucasica. Atleta agonista nella pratica del golf, con 3 anni di attività svolta a livello regionale ed un livello di handicap nella stagione 2013-2014 pari a 16.

Il soggetto reclutato rientra nei criteri di inclusione pianificati per il campione completo relativo all'intero progetto, che vengono qui riportati a titolo unicamente a titolo informativo. Si è optato, con l'intento di evitare che la sovrapposizione di variabili intervenienti come genere, cultura ed età potessero inficiare la pulizia del disegno di ricerca, per la definizione di un campione quanto più omogeneo possibile, composto da 50 soggetti di genere maschile di età compresa tra i 25 e i 35 anni, di razza caucasica e nazionalità italiana. Tutti i soggetti del campione praticano uno sport di precisione a livello agonistico, regionale e nazionale da almeno 3 anni.

3.2 TECNICHE, STRUMENTI E SCORING

La complessità del disegno di ricerca impone la scelta meticolosa di tecniche psicofisiologiche adeguate nonché di diversi strumenti per la costruzione degli stimoli e lo scoring del dato comportamentale. Verranno riportati in questa sezione tutti gli strumenti scelti e le indicazioni per la valutazione dello scoring al fine della replicabilità dello studio.

3.2.1 ELETTOENCEFALOGRAMMA (EEG)

In accordo con la letteratura presa in analisi e in virtù degli obiettivi preposti tra le svariate tecniche di misurazione psicofisiologica si è scelto di utilizzare l'Elettroencefalogramma (EEG).

La rilevazione elettroencefalografica permette di registrare nel tempo, le fluttuazioni dell'attività spontanea elettrico-corticale, in assenza di stimoli esterni, grazie al posizionamento di elettrodi sullo scalpo del soggetto. Più precisamente, viene misurata la differenza di potenziale presente tra un elettrodo attivo, posto al di sopra della sede dell'attività neuronale, ed un elettrodo di riferimento collocato ad una certa distanza dal primo. I tracciati EEG descrivono in modo dettagliato e preciso l'attività elettrica, permettendo di individuare variazioni di potenziale con un'elevata risoluzione temporale, nell'ordine dei millisecondi. E' stato preferito ad altre misurazioni psicofisiologiche perché permette di registrare la sincronizzazione cerebrale, di rilevare

la prevalenza della banda di frequenza in attività e di estrarre i dati relativi alla coerenza emisferica. Con l'applicazione di filtri adeguati e formule matematiche è inoltre possibile estrarre il dato di power delle onde emesse e il dato relativo alla frequenza di picco. Si tratta di una tecnica di rilevazione complessa composta da diversi strumenti. Gli strumenti base che compongono i sistemi di registrazione comprendono **elettrodi** con mezzi di conduzione, **amplificatori** e **filtri**, un **convertitore analogico-digitale** e un **dispositivo di registrazione**. Gli elettrodi sono collegati a un amplificatore differenziale con elevata impedenza di ingresso che amplifica la differenza di potenziale per poter visualizzare il segnale. La registrazione è ottenuta mediante l'applicazione di elettrodi sullo scalpo. Gli elettrodi sono stati montati su un **casco** sul quale, coerentemente con gli obiettivi della ricerca, sono stati posizionati **28 elettrodi**. La disposizione dei sensori sullo scalpo, per ovviare alla variabilità della dimensione del capo dei diversi soggetti, è predefinita dal casco utilizzato e risponde alle caratteristiche di rilevazione del “**Sistema Internazionale 10-10**”. L'adesione a questo sistema permette una denominazione coerente degli elettrodi tra i vari studi. Le cifre indicano il valore percentuale della distanza dai siti di repere anatomici dell'asse inion-nasion. Per favorire il passaggio del segnale elettrico sono stati utilizzati, come previsto da prassi di rilevazione **scrub**, **alcol isopropilico** e **gel ipoallergenico**. Gli elettrodi sono stati collegati ad un convertitore e connessi ad un dispositivo di registrazione.

3.2.2 SOFTWARE PER LA CREAZIONE DELLA STIMOLI SONORI, AURICOLARI E PC

Audacity 2.0.5 è un software gratuito, multiplatforma per registrare e modificare suoni e rumori ed è stato utilizzato per la costruzione di entrambi gli stimoli sonori.

Per la creazione dello stimolo binaurale è stata costruita una traccia della durata di 3 minuti composta da due frequenze pure di 10 Hz di differenza presentate in canali audio differenti. Precisamente nel canale auricolare sinistro è stato composto un suono tenuto di frequenza pari 315 Hz e nel canale auricolare destro un suono tenuto di frequenza pari a 325 Hz. La scelta di un range di frequenza di 315-325, più basso rispetto al riferimento dei 440 Hz dei diapason è legato alle evidenze emerse in letteratura (Finsterle, 2006) che ritengono che gli impulsi binaurali, la cui frequenza si attesta intorno ai 300-350 Hz, siano meno fastidiosi, rispetto a toni più alti. I due impulsi sonori sono stati costruiti per generare la percezione di un terzo tono, la cui frequenza precisa è 10 Hz, con l'obiettivo di elicitare nel soggetto la produzione di onde *low alpha* e indurre uno stato di resting.

Per la progettazione dello stimolo di controllo è stato costruito un suono stereo composto da due toni senza prevalenza di canale. Nonostante la scarsità della letteratura a riguardo si è optato per non utilizzare un rumore specifico (rumore rosa, bianco o marrone) né una composizione musicale esistente, bensì di costruire uno stimolo composto da frequenze quanto più simili allo stimolo binaurale, con l'accortezza di costruire lo stimolo in modalità stereo per evitare effetti binaurali non voluti. Questa scelta è dettata dalla necessità di circoscrivere l'effetto di variabili intervenienti rilevata in studi precedenti e di bilanciare la stimolazione in termini di frequenza (Kennel, 2010). Le frequenze utilizzate per la costruzione dello stimolo, della durata di

3 minuti come il precedente sono 293 Hz e 349 Hz, frequenze che corrispondono, nel sistema musicale a temperamento equabile, ad un bicipordo armonico di terza minore re naturale-fa naturale.

Per l'ascolto della stimolazione sonora sono stati utilizzati **auricolari** in-ear collegati ad **computer** utilizzato per riprodurre il segnale uditivo che prevedeva la possibilità di modificare il volume della stimolazione a discrezione del soggetto, purchè udibile.

3.2.3 SOFTWARE PER LA PROGETTAZIONE DEI COMPITI E PC

I compiti da somministrare in contesto di laboratorio sono stati elaborati con **E-prime 2**, un software che permette di costruire task ad hoc per la ricerca scientifica.

Coerentemente con gli obiettivi della ricerca sono stati pensati due compiti, uno di **precisione** ed uno di **prontezza**, che si pensa, a fronte delle caratteristiche specifiche alla base dei relativi costrutti, possano avere una risposta complementare in termini di performance, rispetto all'induzione di uno stato di resting. Questi due compiti sono stati pensati per misurare in maniera indiretta e complementare lo stato di concentrazione del soggetto conseguente al rilassamento indotto dalla stimolazione binaurale.

Alla base della progettazione del compito di **precisione** c'è l'ipotesi, confortata dalla letteratura, che l'induzione di uno stato di rilassamento, favorisca la concentrazione ed aumenti la performance in termini di precisione (Soldberg, Berglund, Engen, Ekeberg & Loeb, 1996). Questo compito è composto da 45 cerchi di uguale dimensione posizionati nella stessa porzione di spazio dello schermo del computer che vengono proposti in successione, uno alla volta. Ogni cerchio rimane sullo schermo per 3 secondi; il tempo di comparsa di ciascuno dei cerchi è random per evitare un effetto di abitudine da parte del soggetto. La durata totale del compito è di circa 2' e 30". Il compito del soggetto è di centrare quanto più precisamente possibile il bersaglio cliccando il puntatore all'interno del cerchio. La performance di precisione viene valutata in termini di errore e tempi di risposta. Per calcolare la quota di errore viene misurata in pixel di distanza sull'asse delle ascisse e delle ordinate del click del puntatore rispetto al centro del bersaglio e valutata la distanza euclidea, ossia la radice della somma degli scostamenti misurati in pixel. Viene inoltre misurato, in millisecondi, il tempo di risposta che il soggetto impiega per cliccare il puntatore all'interno del bersaglio.

Il compito di **prontezza**, come accennato nell'introduzione, è stato pensato come compito di controllo opposto e complementare a quello di precisione. L'individuazione del costrutto di prontezza nasce dall'idea, supportata dalle evidenze scientifiche, che la velocità di elaborazione, sia essa centrale o periferica, venga rallentata dall'induzione di uno stato di rilassamento. Questo compito è formato da una batteria di 45 stimoli visivi statici identici che appaiono sullo schermo, uno dopo l'altro, a frequenza randomica, intervallati da una schermata nera. Per differenziare la prontezza mentale dalla reattività del sistema nervoso muscolare scheletrico si è ritenuto opportuno valutare separatamente i tempi di elaborazione centrale e quelli di elaborazione periferica. Il soggetto deve tenere premuta la barra spaziatrice con una mano a piacimento e,

con la stessa mano, deve pigiare il tasto “enter” alla comparsa dello stimolo. Questo accorgimento permette di rilevare entrambi i tempi centrale e periferico; la permanenza del simbolo sulla prima schermata e l’obbligo di tenere premuta la barra spaziatrice permettono di calcolare i tempi di elaborazione centrale. La seconda schermata nera, permette di calcolare i tempi di elaborazione periferica, da quando il soggetto lascia la barra spaziatrice a quando schiaccia il tasto “enter”. La durata complessiva del compito di prontezza è di circa 2’ e 30”.

Entrambi i compiti vengono proposti al soggetto su un computer portatile.

Viste le limitazioni imposte dalla registrazione di prova non vengono riportati in questa sezione gli strumenti progettati per la rilevazione della performance in contesto ecologico. Si specifica che la definizione degli strumenti è da progettarsi in modo strettamente dipendente dalla disciplina sportiva indagata. Lo strumento di misurazione del compito di precisione sarà pertanto lo strumento utilizzato per la pratica sportiva di riferimento. Discorso analogo viene fatto per lo strumento di misurazione del compito di prontezza. Ad esempio, nel caso del Tiro a Segno, viene ipotizzato un compito di precisione che consiste in n tiri al bersaglio da una distanza predefinita, tipica dell’allenamento ed un compito di prontezza che aggiunge un elemento insolito rispetto alla disciplina sportiva che richiede velocità come ad esempio, compiere n tiri ad un bersaglio in rapido movimento, da una distanza predefinita.

3.4 DISEGNO DI RICERCA

Si tratta di un disegno di ricerca 3x2 *within subjects*, dove lo stesso soggetto viene sottoposto a tutte le condizioni sperimentali disegnate.

Le variabili indipendenti individuate, presentate in ordine randomizzato al soggetto, sono:

1. STIMOLAZIONE. Fattore di tipo within, 2 livelli:

- Stimolazione binaurale (frequenza 315-325 Hz; durata 3 minuti)
- Stimolazione di controllo attivo (frequenza stereo 293-349 Hz; durata 3 minuti)

2. COMPITO. Fattore di tipo within, 2 livelli:

- Compito di precisione
- Compito di prontezza

3. CONTESTO. Fattore di tipo within, 2 livelli:

- Contesto laboratorio
- Contesto ecologico

Le variabili dipendenti misurate sono:

1. Risposte elettrofisiologiche in termini di:

- Power di alpha

- Frequenza di alpha (aumento, diminuzione)
2. Prestazione in contesto di laboratorio
 - Performance al compito di precisione (errore medio, tempo di risposta medio)
 - Performance al compito di prontezza (velocità media elaborazione centrale, velocità media elaborazione periferica)
 3. Prestazione in contesto ecologico
 - Prestazione sportiva (errore medio, tempo di risposta medio da calibrare sul tipo di sport del soggetto)
 - Prestazione al compito di prontezza (velocità media elaborazione centrale, velocità media elaborazione periferica da calibrare sul tipo di sport del soggetto)

3.5 PROCEDURE DI RACCOLTA DATI

Per quanto concerne la procedura di raccolta dati in laboratorio è stato disposto un setting all'interno di uno studio presso la sede dell'alta scuola di psicologia "Agostino Gemelli" dell'Università Cattolica del Sacro Cuore di Milano (circa 12 metri quadri) adibito a laboratorio e dotato, oltre all'arredamento tipico (tavoli e sedie) di un elettroencefalogramma e tre pc: uno per la presentazione e lo svolgimento dei compiti, un secondo portatile collegato agli auricolari per l'ascolto della stimolazione e una terza postazione fissa per la visualizzazione in tempo reale del dato grezzo della risposta oscillatoria corticale. È stato designato un ricercatore per accogliere il soggetto e accompagnarlo durante la sperimentazione. Le otto sedie per gli altri ricercatori osservatori sono state disposte dietro il soggetto per non disturbare la registrazione dei dati e lo svolgimento dei compiti. Dopo aver dato accolto il soggetto nella stanza gli viene chiesto di sedersi nella postazione a lui dedicata e, come da prassi, lo si sottopone alla lettura e alla firma del consenso informato, modificato ad hoc per la sperimentazione. Nella redazione specifica del consenso viene esplicitata la necessità di applicare prodotti ipo-allergenici e sensori sullo scalpo per la rilevazione dell'attività corticale. È stato scelto di esplicitare al suo interno l'obiettivo della ricerca in termini generali per non influenzare le risposte del soggetto. Dopo la firma del consenso informato viene ribadito a voce dal ricercatore a grandi linee l'obiettivo generale del progetto. Si esplicita il fatto che si sta conducendo un esperimento con l'obiettivo di indagare gli effetti elettrofisiologici di stimoli acustici e visivi in un campione di sportivi e che verranno rilevate l'attività elettrica cerebrale e le risposte comportamentali ad alcuni semplici e brevi compiti. Dopo aver risposto ai dubbi del soggetto si è proceduto con l'applicazione degli elettrodi per la registrazione dell'attività corticale sullo scalpo, come descritto nella sezione 4.2.1.

Il disegno è organizzato in due sessioni sperimentali consecutive strutturalmente identiche che prevedono la rilevazione di due *baseline* della risposta oscillatoria corticale del soggetto, per tenere sotto controllo il possibile effetto nel tempo delle diverse stimolazioni effettuate. Terminata la fase di preparazione per la rilevazione elettroencefalografica viene abbassata la luce del laboratorio e si procede ad avviare

l'esperimento. Per semplificare la descrizione della procedura di raccolta dei dati vengono riportati i tipi di stimolazione (binaurale e controllo attivo) e i compiti (precisione e prontezza) nell'ordine di somministrazione avvenuta in fase di registrazione di prova. E' importante sottolineare che sia l'ordine della stimolazione che quello dei compiti è stato randomizzato. Lo schema delle sessioni sperimentali esemplificato nel grafico (Fig.1) è l'esito della randomizzazione avvenuta nella registrazione di prova.

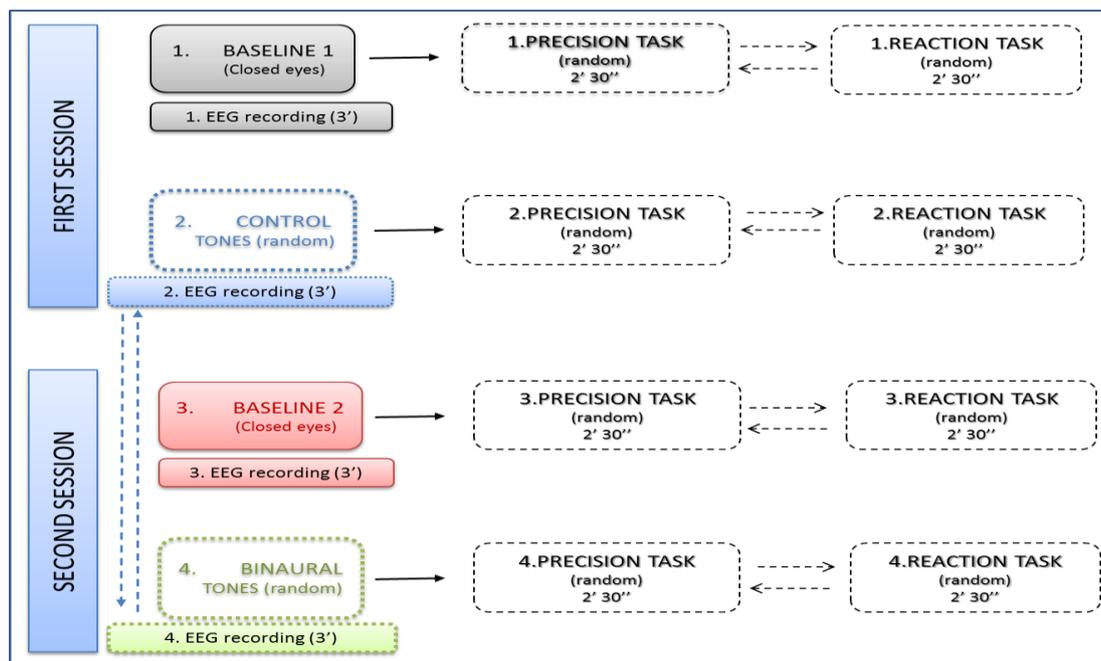


Fig.1. Schema esemplificativo del disegno sperimentale

Prima sessione, registrazione baseline 1. Viene chiesto al soggetto di mettersi comodo, chiudere gli occhi e rilassarsi. Il soggetto viene informato del fatto che lo sperimentatore gli toccherà la spalla destra, alla fine del tempo previsto per rilassamento. Il soggetto è invitato a tenere gli occhi chiusi per 3 minuti, arco di tempo in cui viene effettuata la prima registrazione elettroencefalografica di baseline. Al termine dei 3 minuti, dopo aver toccato la spalla de soggetto, gli viene chiesto di rispondere ai compiti presentati a computer.

La consegna che viene data al soggetto al compito di precisione è la seguente:

«Ora le appariranno diversi cerchi sullo schermo. L'obiettivo è quello di avvicinarsi con il puntatore quanto più possibile al centro del cerchio. Il cerchio non rimarrà sullo schermo per molto tempo.»

Per quanto riguarda il compito di prontezza viene spiegato al soggetto che dovrà tenere premuta la barra spaziatrice e, non appena comparirà il simbolo sullo schermo, dovrà premere, con la stessa mano in tasto "invio".

Prima sessione, registrazione stimolazione di controllo attivo.

Il procedimento verrà ripetuto come nella sessione precedente in modalità e durata. Viene però chiesto al soggetto, prima di chiudere gli occhi e di procedere con il rilassamento, di indossare le cuffie auricolari e di ascoltare la musica proposta con la possibilità di modificare a proprio gradimento il volume dell'audio,

mantenendolo udibile. Vengono quindi rilevati altri 3 minuti di tracciato elettroencefalografico e raccolte le risposte ai compiti di precisione e di prontezza.

Terminata la prima sessione sperimentale, dopo una breve pausa, si procede alla seconda sessione che si ripete identica nella struttura.

Seconda sessione, registrazione baseline 2.

In questa seconda sessione è prevista la registrazione eeg di una seconda baseline, di controllo rispetto alla prima. Al soggetto viene chiesto di chiudere gli occhi e di rilassarsi senza nessun tipo di stimolazione e di rispondere successivamente ai compiti di precisione e di prontezza.

Seconda sessione, registrazione stimolazione binaurale.

Il procedimento viene ripetuto come nella registrazione di controllo della prima sessione. La durata totale delle due sessioni sperimentali è di circa 35'.

La procedura di raccolta dati segue lo stesso schema nel contesto ecologico.

4. PERCORSO DI ANALISI E RISULTATI

A sessione sperimentale compiuta è stato avviato il percorso di analisi dei dati elettroencefalografici e di quelli comportamentali rilevati. Vengono riportate in questa sezione alcune precisazioni sulle scelte delle tecniche e degli strumenti individuati per avviare il percorso di analisi, effettuate a posteriori rispetto alla rilevazione dei dati.

Per quanto riguarda le misure psicofisiologiche è stata condotta sia una analisi di tipo qualitativo che di tipo quantitativo delle rilevazioni effettuate. Una volta acquisiti per via digitale i segnali eeg sono stati manipolati attraverso l'applicazione di filtri ed elaborazioni numeriche che hanno consentito la descrizione qualitativa e quantitativa delle caratteristiche dei tracciati. Per l'estrazione dei dati è stato utilizzato il software **Analyzer**. E' stato scelto di acquisire il dato grezzo applicando **filtri** di display per visualizzare l'andamento realistico dell'attività corticale durante la rilevazione. In ingresso sono stati utilizzati un filtro **notch** 50/60 per eliminare le oscillazioni delle frequenze alternate della presa di corrente e un filtro **passa-banda (0,1-100: cut off)**. Considerate le frequenze da indagare è stato applicato per effettuare l'analisi spettrale un filtro **passa-banda ad impulsi infiniti (0,1-50: cut off)**. E' stata scelta in virtù dell'ampiezza della banda da indagare di applicare una pendenza cattiva della chiusura del filtro passa-banda (**48 decibel per ottava**). Per ridurre gli artefatti, come ad esempio i blink registrati, il segnale è stato successivamente filtrato con un filtro analogico. Coerentemente con il disegno della ricerca e gli obiettivi preposti, sono stati individuati e ritagliati i quattro periodi significativi del tracciato (**epoche**), precedentemente puliti dagli artefatti.

Per l'analisi quantitativa è stata effettuata una analisi spettrale, è stato cioè trasformato il tracciato dal dominio del tempo a quello delle frequenze per ottenere informazioni sul contenuto "armonico" del segnale. Per ottenere la distribuzione delle frequenze del segnale campionato e visualizzare i *grafici di power*, è stata

applicata, la **trasformata veloce di Fourier**. L'applicazione di questa formula permette di visualizzare uno **spettrogramma** che rappresenta l'andamento delle ampiezze delle componenti spettrali in funzione delle frequenze. Si è optato, in sede di analisi, per rilevare due misure relative all'andamento specifico delle onde alpha: il dato di **power** di alpha e la **frequenza di picco** di alpha.

Il dato di **power** è la misura della potenza della banda, ossia quanto la banda di frequenza indagata è rappresentativa nel tracciato. L'unità di misura del power è il microvolts² ed è un indice per misurare la coerenza e sincronizzazione dell'attività cerebrale.

La **frequenza di picco** (*peak frequency*) è lo specifico valore di frequenza che assume il power maggiore all'interno di una banda di frequenza e viene misurata in Hz. La rilevazione del **power** di alpha è stata scelta al posto della rilevazione dell'*alpha medio*. Quella della **frequenza di picco**, è stata scelta al posto dell'indice di *alpha frequency individuale*. La scelta di queste misurazioni, in coerenza con il disegno *within subjects*, è sembrata più appropriata, in accordo con la letteratura, che ha dimostrato una significativa variabilità individuale nel range di frequenza di ogni banda e nei valori di potenza assoluta dello spettro. Il grafico di power, relativo ad ogni elettrodo, permette di visualizzare il dato di **power** e il **picco di frequenza** del comportamento medio di alpha relativo ad un unico sensore e, di conseguenza ad un'area limitata dello scalpo.

4.1 ANALISI DATI PSICOFISIOLOGICI

Per quanto riguarda l'analisi qualitativa, è stata effettuato un paragone dell'attività bioelettrica spontanea in funzione del tempo delle epoche selezionate rispondenti alle quattro condizioni sperimentali (1:baseline 1; 2: stimolazione controllo attivo; 3 baseline 2; 4: stimolazione binaurale). Da questa analisi è emersa la differenza temporale con cui il soggetto, nell'arco di tempo di ognuna delle quattro condizioni è entrato in alpha. Nella prima rilevazione (baseline 1) il soggetto ha impiegato molto più tempo, rispetto alle altre tre condizioni sperimentali.

Per l'analisi quantitativa, sono stati analizzati i 28 *grafici di power* nei quali vengono comparati gli andamenti del dato di power delle quattro condizioni sperimentali. Il comportamento di alpha risulta essere omogeneo nelle diverse aree cerebrali. Tuttavia alcuni dati, come lo spostamento della frequenza di picco verso lower alpha, risultano più evidenti nelle **regioni parietali**. Per questa ragione si è scelto in sede di analisi e di stesura del report di focalizzarsi sui dati relativi a due elettrodi significativi posizionati sulla parte sinistra dello scalpo in area centro-parietale (Cp5) e parietale (P3), i cui risultati, in termini di power di alpha e frequenza di picco vengono riportati nella tabella sottostante (fig.2).

Per verificare la prima ipotesi

(H₁) La stimolazione binaurale a frequenza 315-325 Hz produce un incremento dell'indice di power per la banda alpha, rispetto ad una stimolazione di controllo attiva.

sono state comparate le medie del power di alpha relative ai quattro periodi di rilevazione. Il valore del power di alpha relativo alla stimolazione binaurale (**power di alpha Cp5** = 4.2 μV^2 ; **power di alpha P3**= 6.3 μV^2) come si evince dalla tabella riportata non presenta variazioni di rilievo rispetto al valore del power di alpha relativo alla stimolazione di controllo attiva (**power di alpha Cp5** = 2.7 μV^2 ; **power di alpha P3**= 4.0 μV^2).

Condizioni sperimentali	Power di α (μV^2) Cp5	Power di α (μV^2) P3	Frequenza di picco (Hz)
(1)BASELINE 1	1.6	2.2	10 ½
(2)CONTROL TONES	2.7	4.0	10 ½ -11
(3)BASELINE 2	4.5	8.4	10 ½
(4)BINAURAL TONES	4.2	6.3	9 ½ - 10

Fig.2. Valori di Power e Frequenza di Picco degli elettrodi Cp5 e P3

Per maggiore chiarezza si riporta, nei grafici sottostanti (fig. 3) , il paragone tra dati attesi e dati rilevati.

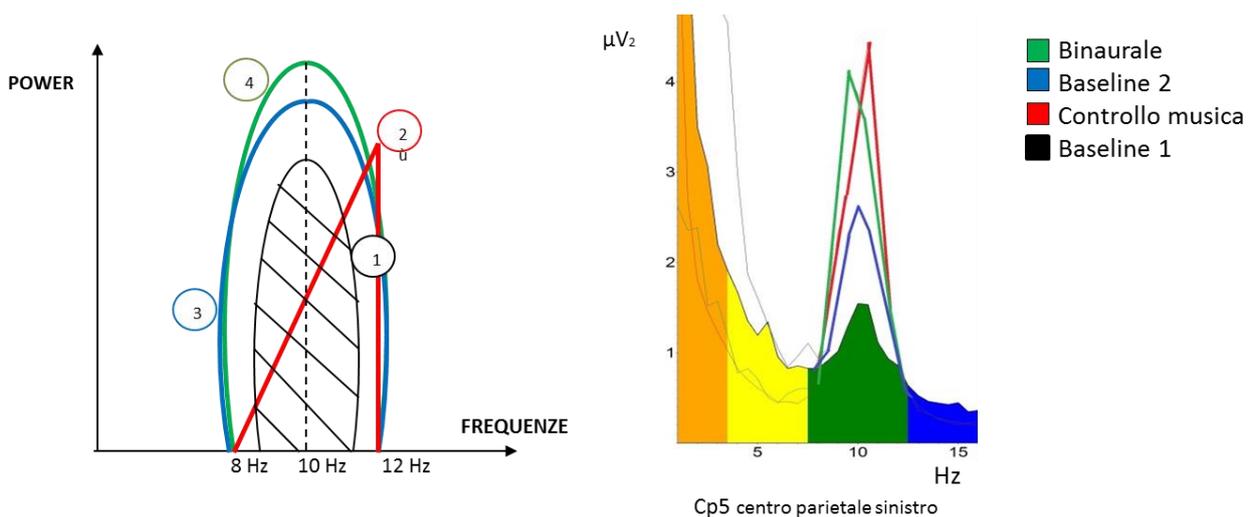


Fig. 3. Paragone tra attese e risultati ottenuti (power e frequenze)

La stimolazione binaurale non produce un aumento del power di alpha rispetto ad una stimolazione di controllo attiva, pertanto l'ipotesi risulta essere disconfermata.

Per validare la seconda ipotesi

(H₂) La stimolazione binaurale a frequenza 315-325 Hz genera un aumento di onde low alpha a 10 Hz, rispetto ad una stimolazione di controllo attiva.

sono stati paragonati i valori medi della frequenza di picco di alpha relativi agli elettrodi di riferimento (Cp5 e P3) dei quattro periodi di rilevazione. Dall'analisi di questo dato, visibile nei grafici sottostanti (fig.5) e in tabella (fig.2), emerge che la frequenza di picco di alpha durante la stimolazione binaurale si assesta tra i 9 ½ -10 Hz, mentre quella della stimolazione di controllo attiva oscilla attorno ai 10 ½ -11 Hz. La frequenza di picco di alpha relativo alle due registrazioni baseline si verifica intorno ai 10 ½ Hz. Dal confronto tra i grafici di power dell'area parietale/centro-parietale sinistra (Cp5; P3) e frontale (Fz) emerge quanto sottolineato precedentemente: nonostante l'andamento di alpha sia omogeneo nelle diverse aree cerebrali, lo spostamento delle frequenze del picco di alpha durante la stimolazione binaurale risulta essere più marcato nelle aree parietali.

GRAFICI DI POWER

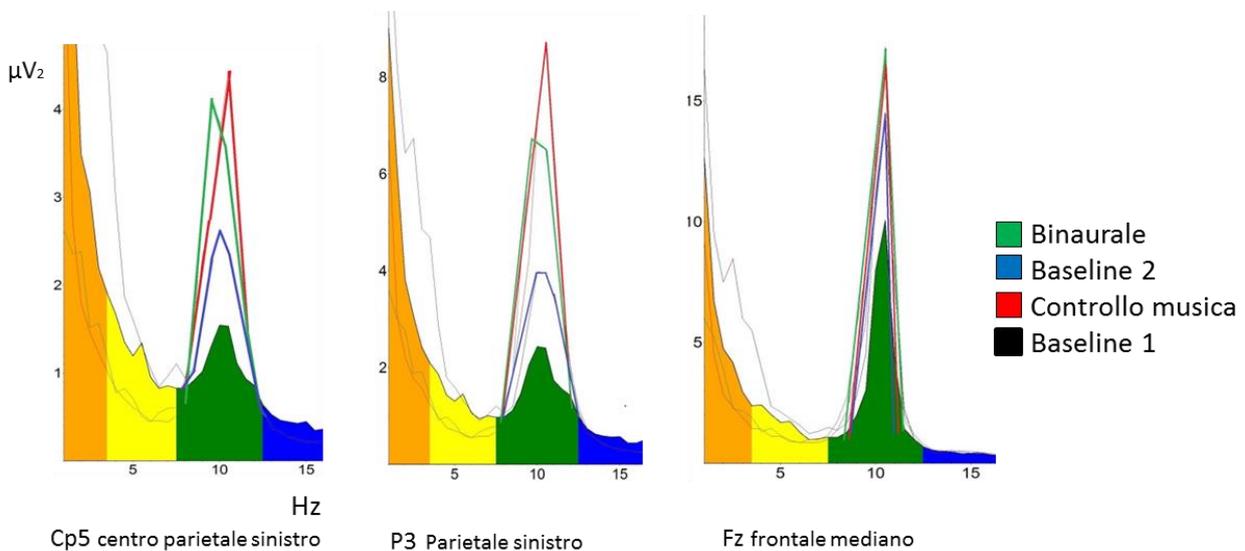


Fig. 5. Confronto power e frequenze di picco rilevati e paragone tra area parietale e frontale.

L'ipotesi risulta (parzialmente) falsificata. La stimolazione binaurale non genera, un aumento di onde low alpha ma è in grado di modularne la frequenza di picco, da 10 ½ Hz a 9 ½ -10.

(H₃) La stimolazione di controllo attiva genera un aumento di onde high alpha, rispetto alle rilevazioni di baseline.

Per verificare questa ipotesi sono stati confrontati i valori del power di alpha e della frequenza di picco di alpha relativa ai grafici di power precedentemente selezionati, rispetto alle diverse condizioni sperimentali (fig.2). Il power di alpha, come rilevato precedentemente non presenta modulazioni di rilievo nelle diverse condizioni sperimentali. L'ipotesi risulta quindi essere disconfermata. Il valore della frequenza di picco, risulta allineato con i valori delle frequenze di picco delle due rilevazioni di baseline che oscillano nella banda *high alpha* attorno ai 10 ½ -11 Hz.

4.2 ANALISI DATI COMPORTAMENTALI

Per verificare le ipotesi formulate circa i dati comportamentali registrati in laboratorio sono stati confrontati i valori medi che il soggetto ha ottenuto ai compiti, sulla base dei parametri prestabiliti, in relazione alle quattro condizioni sperimentali.

(H₄) In contesto di laboratorio, la performance ad un compito di precisione preceduta da stimolazione binaurale a frequenza 315-325 Hz, è migliore rispetto alla performance allo stesso compito, preceduta da una stimolazione di controllo attivo.

In questo caso (fig. 6) sono stati messi a confronto i valori ottenuti al compito di precisione nelle quattro diverse condizioni sperimentali in termini di:

- valore medio di errore dell'intera prova
- valore medio del tempo di reazione impiegato per segnalare il centro

Per il calcolo tecnico della misurazione dell'errore e del tempo di reazione si rinvia alla sezione 4.2.3. La misura di errore viene usato come indice di misurazione della performance. Più l'errore è basso, migliore è la performance.

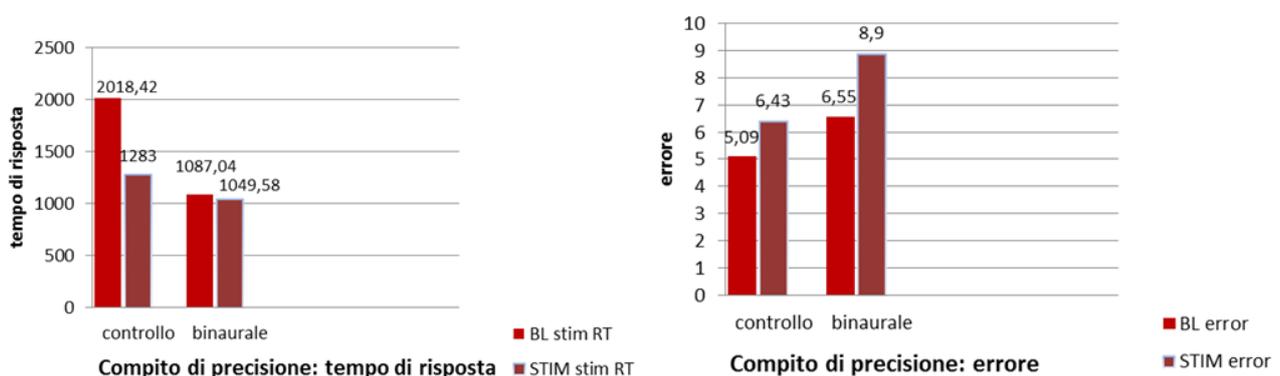


Fig.6. Compito di precisione: errore e tempi di reazione

Il tempo di risposta viene usato come indice di controllo rispetto alla misura d'errore e come misura indiretta dello stato di rilassamento del soggetto. Dagli istogrammi riportati emerge che il valore medio di errore della prova di precisione dopo la stimolazione binaurale (**8,90 pixel**) è maggiore rispetto al valore medio di errore della prova di precisione dopo la stimolazione di controllo (**6,43 pixel**). E' opportuno, ai fini delle

riflessioni critiche conclusive che verranno discusse nelle pagine successive, sottolineare che il valore medio di errore della prova di precisione aumenta progressivamente rispetto all'ordine temporale in cui viene effettuato il compito. Il valore medio di errore della prova di precisione dopo la rilevazione della baseline 1 (prima volta in cui il soggetto effettua il compito = **5,09 pixel**) rileva la misura di errore più basso che aumenta in maniera progressiva. Il valore medio del tempo di reazione impiegato per segnalare il centro dopo la stimolazione binaurale (**1049,58 millisecondi**) è inferiore rispetto al valore medio del tempo di reazione dopo la stimolazione di controllo (**1283,00 millisecondi**). Anche su questi valori, come sulla relazione inversa tra valori medi di errore e valori medi dei tempi di reazione, sarà opportuno fare una riflessione analoga alla precedente.

L'ipotesi formulata risulta pertanto falsificata: la performance ad un compito di precisione preceduta da stimolazione binaurale non migliora rispetto alla stessa performance preceduta da una stimolazione di controllo.

(H₅) In contesto di laboratorio, la performance ad un compito di prontezza preceduto da stimolazione binaurale a frequenza 315-325 Hz, è peggiore, rispetto alla performance allo stesso compito, preceduta da una stimolazione di controllo attivo.

Per validare questa ipotesi sono stati messi a confronto (fig.7) i valori ottenuti al compito di prontezza nelle quattro diverse condizioni sperimentali in termini di:

- tempo medio di elaborazione centrale (target)
- tempo medio di elaborazione periferica (response)

Per il calcolo tecnico della misurazione dell'errore e del tempo di reazione si rinvia alla sezione 4.2.3.

I tempi di elaborazione centrale e periferica vengono usati come indici di misurazione della performance. Più il tempo di elaborazione centrale e periferica è basso, migliore è la performance del soggetto.

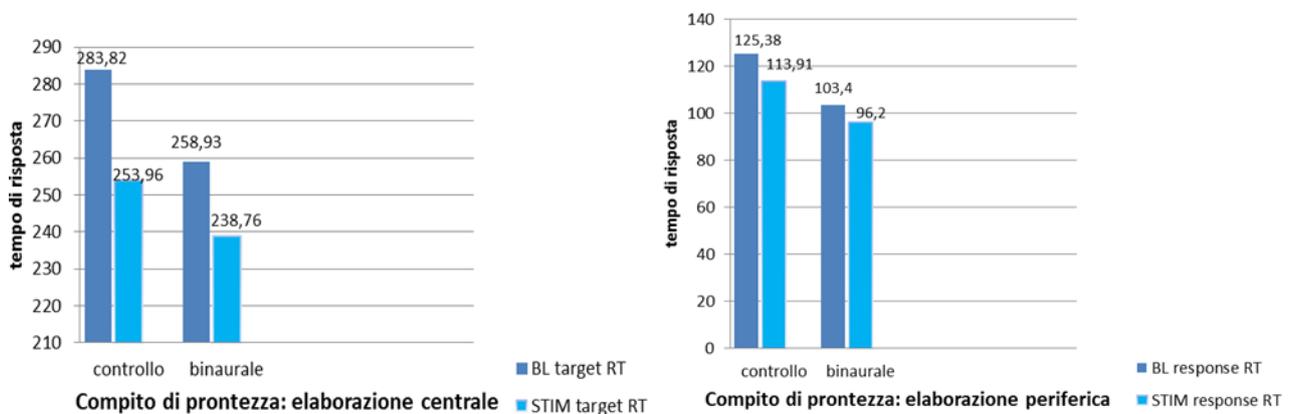


Fig. 7. Compito di mira. Tempi di elaborazione centrale e periferica.

La risposta di elaborazione centrale dopo la stimolazione binaurale (**238,76 millisecondi**) risulta essere più veloce rispetto alla risposta di elaborazione centrale dopo la stimolazione di controllo (**253,36 millisecondi**).

Allo stesso modo, la risposta di elaborazione periferica dopo la stimolazione binaurale (**96,20 millisecondi**) risulta essere più veloce rispetto alla risposta di elaborazione periferica dopo la stimolazione di controllo (**113,91 millisecondi**). Ai fini delle riflessioni critiche successive è opportuno sottolineare che i tempi di elaborazione di risposta centrale e periferica diminuiscono progressivamente in relazione alla presentazione temporale dell'ordine del compito di prontezza (fatta eccezione per tempo di elaborazione centrale del compito dopo la stimolazione di controllo e tempo di elaborazione centrale del compito dopo la rilevazione baseline 2). Secondo l'ipotesi considerata, ossia che la performance al compito di prontezza preceduto da stimolazione binaurale sia peggiore rispetto a quella preceduta da stimolazione di controllo, le attese che i tempi di elaborazione centrale e periferica della performance preceduta da binaurale siano maggiori rispetto ai tempi della performance preceduta da stimolazione di controllo vengono quindi confutate.

5. DISCUSSIONE RAGIONATA E SVILUPPI FUTURI

Alla luce della ricerca effettuata è opportuno riflettere in maniera critica sui risultati ottenuti al fine di rilevare i principali punti di forza e di debolezza del progetto condotto. Per chiarezza e rigore scientifico si intende ripercorrere in quest'ultima sezione del report il processo ideativo del progetto dalle sue fasi iniziali sottolineando alcune criticità rilevate.

Per quanto riguarda la **dimensione teorica** del progetto è opportuno sottolineare che, sebbene esista una letteratura molto abbondante sul costrutto di coscienza, sulle differenze tra i diversi stati e sulle misurazioni psicofisiologiche in ambito sportivo, la bibliografia sulla stimolazione binaurale e sulla relazione tra induzione di stati di coscienza modulati, concentrazione e performance sportiva di precisione risulta essere piuttosto esigua e controversa. Non esistono studi precedenti che indagano l'effetto della stimolazione binaurale sulla performance sportiva. Il carattere pionieristico del progetto risulta essere, nonostante le difficoltà riscontrate nella progettazione, un valore aggiunto della ricerca.

La ricerca **bibliografica** iniziale e la selezione degli articoli di riferimento, avvenuta in maniera frettolosa a causa delle tempistiche ristrette, ha trovato un riscontro negativo nella definizione di relazioni tra costrutti il cui confine teorico non era ancora chiaramente assimilato. Questo aspetto ha influenzato a catena tutto il processo di ricerca e di analisi dei dati. Questa carenza dal punto di vista teorico dell'argomento ha condotto, sia per quanto riguarda la dimensione neuropsicologica che per quella comportamentale, alla formulazione di ipotesi imprecise rispetto ai costrutti. Si è ipotizzato, ad esempio un aumento di onde *low alpha* successive alla stimolazione binaurale senza specificare che tipo di parametro sarebbe stato utilizzato per misurare l'aumento prospettato.

La ristrettezza del **campione** non ha permesso di compiere alcuna analisi statistica dei risultati, a tale proposito, si ritiene opportuno, nella definizione degli sviluppi futuri della ricerca, condurre una analisi statistica fattoriale rispondente al disegno di ricerca (manova).

Per quanto riguarda l'accuratezza della scelta del campione si suggerisce, in ottica di continuazione dello studio, una analisi più approfondita circa la variabilità degli sport che richiedono close skills di precisione. La differenza di postura di un golfista rispetto a quella di un arciere, può essere una variabile interveniente nella risposta al compito sia in ambito sperimentale che in ambito ecologico. A questo proposito è opportuno riflettere se la variabile **tipo di disciplina** possa essere contemplata in una implementazione del progetto.

Per quanto riguarda l'aggiunta di **variabili** sperimentali alla ricerca se ne suggeriscono alcune. Sarebbe curioso indagare se esistono differenze di **genere** e di **expertise** (Harfield & Landers, 1987) rispetto alle ipotesi formulate e se vi sono **differenze culturali** (Murata, 2004) che influenzano la stimolazione binaurale e l'induzione di uno stato di resting. Interessante sarebbe valutare la differenza sulla performance sportiva tra stimolazione binaurale e altre modalità di induzione di stati di coscienza modificati, come ad esempio la meditazione trascendentale e valutare la spendibilità effettiva della stimolazione binaurale nel mondo dello sport con l'ideazione di training specifici.

L'impossibilità di verificare la dimensione **ecologica** della ricerca e di verificare l'ipotesi di paragone relativa si pone come obiettivo di punta in ottica di continuazione futura del progetto di ricerca come previsto. Anche rispetto a questa critica è opportuno riflette sulla implementazione della variabile *tipo di disciplina*, laddove nei diversi sport di precisione, come ad esempio golf e tiro a segno esiste una diversa relazione tra postura e mira.

Rispetto al **setting** è opportuno sottolineare che la presenza di troppi osservatori durante la rilevazione è un elemento disturbante sia per il soggetto che per la registrazione. Inoltre, la durata della sessione sperimentale è risultata eccessiva e stancante per il soggetto. In ottica di miglioramento, sarebbe opportuno compiere le due sessioni sperimentali in due giornate differenti anche per attenuare l'effetto di abitudine e di noiosità che è stato riscontrato.

Per quanto riguarda la scelta degli **strumenti** è emersa la possibilità, in ottica di sviluppo futuro, di identificare uno strumento di **valutazione soggettiva** dell'esperienza di stimolazione binaurale. Sarebbe auspicabile affiancare allo strumento elettrofisiologico un questionario di valutazione dell'esperienza, strutturato su scala likert, a domande aperte oppure sulla scelta di aggettivi che possano descrivere la situazione provata. Confrontare il dato elettroencefalografico con la valutazione soggettiva, anche rispetto ai risultati contrastanti ottenuti in letteratura sull'efficacia della stimolazione binaurale porterebbe un valore aggiunto ai risultati ottenuti.

Un'altra idea è quella di rilevare oltre al dato elettroencefalografico altre misurazioni come indici dello stato di resting. Si è pensato a diverse implementazioni possibili dello studio. Con l'uso dell'**eye-tracker** si potrebbero monitorare i movimenti oculari e la concordanza occhio-mano durante lo svolgimento dei compiti come indice per valutare la reattività del soggetto nelle diverse condizioni sperimentali.

Sarebbe interessante utilizzare i seguenti strumenti di misurazione fisiologica come indici per valutare l'effetto della stimolazione binaurale sul soggetto: **l'elettromiografia (EMG)** per misurare le variazioni fisiologiche delle fibre muscolari; **l'elettrocardiografia (ECG)** per valutare le modificazioni cardiache in termini di frequenza e variabilità; **l'attività elettrodermica (EDA)** per valutare le variazioni di conduttanza elettrica e, infine, la misurazione della **secrezione di cortisolo** come indice di arousal del soggetto.

Date le specificità del progetto (esiguità del campione, novità dello studio) e i punti di criticità sottolineati è opportuno fare una riflessione sui risultati ottenuti che estenda i dati numerici ottenuti e li commenti a livello qualitativo. La falsificazione della maggior parte delle ipotesi formulate nel progetto non sembra essere indice di per sé della scorrettezza del disegno sperimentale e dei costrutti indagati *tout-court*, bensì l'esito dell'influenza possibile di alcune variabili che hanno portato alla confutazione delle ipotesi iniziali.

Rispetto all'analisi qualitativa del dato elettrofisiologico è opportuno sottolineare che le diverse tempistiche rilevate in cui il soggetto entra in alpha, che si riducono ogni volta in funzione dell'ordine in cui il soggetto è stato sottoposto alla condizione sperimentale, sembrerebbe essere spiegato dal fenomeno dell'**abituazione**, più che dalla condizione sperimentale. Anche per questa ragione è opportuno, come sottolineato precedentemente, effettuare le due sessioni di registrazione in giorni diversi o in momenti diversi della giornata.

Per quanto riguarda l'analisi quantitativa, nonostante le ipotesi siano state disconfermate anche per scorrettezza di formulazione, emergono alcuni dati di rilievo.

Il risultato più significativo della ricerca è la dimostrazione dell'efficacia della stimolazione binaurale nella modulazione dell'attività corticale di onde alpha generate in modo automatico dal soggetto in direzione coerente rispetto alla frequenza binaurale utilizzata.

Sebbene quindi (H_2) *La stimolazione binaurale a frequenza 315-325 Hz genera un aumento di onde low alpha a 10 Hz, rispetto ad una stimolazione di controllo attiva*, risulta disconfermata, evidenziando cioè che la stimolazione binaurale non è in grado di generare un maggior numero di onde alpha in termini di aumento del power; è però in grado di modulare il picco di frequenza di alpha, spostandolo da frequenze *high alpha* a frequenze *low alpha*. Questo spostamento nella frequenza del picco risulta essere coerente con il tipo di stimolazione binaurale indotta; la differenza di frequenza tra i due toni generati, con l'obiettivo di elicitare la produzione di onde *low alpha* è infatti di 10 Hz (315-325 Hz).

Coerentemente con quanto dimostrato dalla letteratura precedente (Lavalley & Koren, 2011; Kasprzack 2011) si può quindi affermare che la stimolazione binaurale può influenzare, grazie alla modulazione della frequenza di picco, lo stato di coscienza del soggetto in direzione di una migliore qualità di resting.

Lo spostamento della frequenza di picco coerente con la stimolazione indotta porta ad osservare un fenomeno di entrainment risultando in linea con gli studi effettuati da Kasprzack (2011).

Nonostante la confutazione delle ipotesi comportamentali rispetto al compito di precisione, i cui punti di debolezza vengono discussi successivamente, è opportuno fare una riflessione ulteriore circa il dato neurofisiologico. Il fatto che la modulazione della frequenza del picco di risultati più marcata nella **zona parietale**, risulta conforme ad alcuni studi presentati (Bunker, Williams & Zinser, 1993).

E' lecito pensare che la stimolazione binaurale a 10 Hz possa modificare la qualità di resting del soggetto portando ad una maggiore concentrazione sulla dimensione interna piuttosto che sullo stimolo esterno.

Le aree postero-laterali dei lobi parietali sono legate all'indagine delle relazioni visuo-spaziali e all'integrazione della propiocezione con altre sensibilità e sono quelle aree che rendono possibile, ad esempio, la percezione delle traiettorie degli oggetti (Albert, Braunstein, Cohen, Eugene, Frenkel, Hendrix, Hirschfeld, Jacewicz, Levison, & Wasserman, 2007). E' possibile pensare che indurre uno stato di resting prima di una performance di precisione possa favorire la soppressione della attenzione visiva negli ultimi secondi del periodo prima dell'esecuzione della prestazione, comportamento che in letteratura risulta essere vincente negli atleti d'élite di sport di precisione (Looze, Collins & Holmes, 2001).

(H₁) La stimolazione binaurale a frequenza 315-325 Hz produce un incremento dell'indice di power per la banda alpha, rispetto ad una stimolazione di controllo attiva.

La spiegazione del fatto che il power di alpha non aumenti in modo significativo durante la stimolazione binaurale può essere legato al fatto che il sistema biologico del soggetto ha raggiunto nelle condizioni precedenti il suo picco massimo di produzione di alpha. L'ordine di stimolazione inoltre, può aver influenzato il fatto che non siano state riscontrate modificazioni nel power di alpha.

(H₃) La stimolazione di controllo attiva genera un aumento di onde high alpha, rispetto alle rilevazioni di baseline.

Le spiegazioni circa il fallimento di questa ipotesi possono essere diverse. E' possibile che questo risultato sia influenzato dalla **posizione della stimolazione** rispetto all'intero disegno sperimentale. Per valutare se lo stimolo di controllo attivo influenza il power di alpha nella direzione prevista dalle ipotesi sarebbe opportuno, in ottica di campione completo, analizzare separatamente i partecipanti che hanno ricevuto la stimolazione binaurale nella prima sessione, rispetto a quelli che l'hanno ricevuta nella seconda.

(H₄) In contesto di laboratorio, la performance ad un compito di precisione preceduta da stimolazione binaurale a frequenza 315-325 Hz, è migliore rispetto alla performance allo stesso compito, preceduta da una stimolazione di controllo attivo.

Il fatto che questa ipotesi venga disconfermata nella registrazione di prova non vuol dire necessariamente che la stimolazione binaurale non abbia effetto o abbia effetto negativo sulla performance. Il fatto che il valore medio di errore della prova di precisione aumenti progressivamente rispetto all'ordine temporale in cui viene effettuato il compito, che i tempi medi di reazione subiscano un decremento progressivo in funzione dell'ordine di presentazione del compito e la relazione inversa tra valori medi di errore e valori medi dei tempi di reazione fanno emergere alcune riflessioni possibili.

La prima è relativa al **compito** costruito. Il fatto che il valore medio dell'errore della prova di precisione aumenti progressivamente rispetto all'ordine temporale e che il valore dell'errore aumenti, con un abbattimento dei tempi di risposta lascia supporre che subentri un fattore di **inadeguatezza** del compito. Il

compito potrebbe essere non molto sfidante e poco attivo. Per eliminare il fattore “noia” sarebbe opportuno rendere il compito più variabile. Presentare bersagli di diverse dimensioni, randomizzare il tempo in cui rimangono sullo schermo, visualizzare i bersagli in diversi punti dello schermo, sono spunti possibili per migliorare il compito. Aggiungere variabilità al compito potrebbe però portare a snaturalizzare il rapporto tra contesto di laboratorio e contesto ecologico. L’andamento dei tempi di reazione potrebbe essere spiegato da un effetto **apprendimento**.

Per quanto riguarda la relazione tra **stimolazione binaurale** e **performance** al compito di precisione è opportuno compiere una riflessione ulteriore. Essendo stata verificata la capacità della stimolazione binaurale di modulare la frequenza picco di alpha e quindi di indurre uno stato di resting, si può ipotizzare che il tempo di stimolazione utilizzato non sia sufficiente per mantenere il soggetto in uno stato di resting anche nei minuti successivi e che questo possa aver portato alla falsificazione dell’ipotesi. Un interrogativo aperto rimane circa la durata della stimolazione binaurale. In ottica di sviluppi futuri della ricerca si propone di aumentare la durata della stimolazione ad almeno 20’, in linea con la letteratura pubblicata. Altro punto di criticità rispetto al compito di precisione è la relazione tra compito, il costrutto ad esso sottostante e stimolazione. E’ possibile che la formulazione teorica sottostante al compito non sia completamente corretta. E’ opportuno approfondire maggiormente la relazione tra induzione di uno stato di resting, concentrazione e performance di precisione anche al fine di arrivare alla definizione di un livello ottimale di resting che possa favorire la concentrazione e la performance.

(H₅) In contesto di laboratorio, la performance ad un compito di prontezza preceduto da stimolazione binaurale a frequenza 315-325 Hz, è peggiore, rispetto alla performance allo stesso compito, preceduta da una stimolazione di controllo attivo.

Anche per quanto riguarda questa ipotesi, non è detto che la stimolazione binaurale non peggiori la prestazione al compito di prontezza ma possono essere intervenute alcune variabili che hanno indebolito le attese. Il fatto che i tempi di elaborazione di risposta centrale e periferica diminuiscano progressivamente in relazione alla presentazione dell’ordine del compito di prontezza (fatta eccezione per tempo di elaborazione centrale del compito dopo la stimolazione di controllo e tempo di elaborazione centrale del compito dopo la rilevazione baseline 2) fa pensare, come evidenziato anche per il compito precedente alla **noiosità** del compito. Una riflessione va fatta sulla **validità di facciata** del compito, ovvero sul fatto che il costrutto non permette di rilevare ciò che si voleva rilevare. Una ulteriore spiegazione del risultato ottenuto potrebbe essere che l’effetto **apprendimento** del compito sia maggiore del rilassamento indotto dalla stimolazione binaurale. Anche per quanto riguarda il compito di prontezza si apre una riflessione sulla durata della stimolazione binaurale. A tal proposito si sottolinea il fatto che la registrazione di prova, seppur randomizzata rispetto all’ordine dei compiti, ha portato il soggetto a fare sempre prima il compito di precisione e poi quello di prontezza. Si è posto quindi un **vincolo di metodo** nel metodo stesso che rende plausibile l’ipotesi che la stimolazione binaurale non abbia più effetto, sia per i tempi ridotti della stimolazione, sia perché il compito di prontezza è capitato come secondo compito. Come sottolineato nel compito di precisione è opportuno approfondire la relazione tra costrutto e compito. Si apre in questo senso

una richiesta di approfondimento teorico circa la relazione tra reattività di un soggetto e l'induzione di uno stato di resting.

Le evidenze emerse sulla possibilità della stimolazione binaurale di modulare la frequenza di picco della risposta corticale spontanea del soggetto suggeriscono la necessità di approfondire maggiormente questa tecnica dal punto di vista scientifico. Rispetto ad altre tecniche come la meditazione che richiedono un altro investimento di tempo e di competenze, lo scarso investimento economico necessario; la praticità dello strumento usato per riprodurla; la possibilità di utilizzarla in autonomia fanno della stimolazione binaurale un ottimo strumento per modulare lo stato di coscienza. La versatilità della stimolazione binaurale apre alla possibilità di indagare l'effetto di quest'ultima su svariati costrutti ed in altre direzioni come, ad esempio la performance attentiva. Il progetto suggerisce interessanti applicazioni di utilizzo dei suoni binaurali sia in ambito sportivo, che in tutte quelle discipline che richiedono una elevata capacità di concentrazione.

6. BIBLIOGRAFIA

- Albert, R., K., Braunstein, G., Cohen, S., Eugene, P., Frenkel, E., Hendrix, S., Hirschfeld, R., Jacewicz, M., Levison, M., E. & Wasserman, M., R., (2007). *Il manuale di Merck di diagnosi e terapia*, Springer Verlag.
- Aftanas, L. I., & Golocheikine, S. A. (2001). *Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalised attention: High-resolution EEG investigation of meditation*. *Neuroscience Letters*, 310, 57–60.
- Ako, M., Kawara, T., Uchida, S., Miyazaki, S., Nishihara, K., Mukai, J., Hirao, K., Ako, J & Okubo, Y. (2003), *Correlation between electroencephalography and heart rate variability during sleep*, *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, Vol. 57, pp. 59–65.
- Atwater, F. H. (1997), *Accessing Anomalous States of Consciousness with a Binaural Beat Technology*, *Journal of Scientific Exploration*, Vol. 11. No. 3, pp. 263-274
- Baars, B. J.; Ramsøy, T. Z. & Laureys, S. (2003), *Brain, conscious experience and the observing self*, *TRENDS in Neurosciences*, Vol.26 No.12, Elsevier.
- Bagchi, B.K., & Wenger, M.A. (1958). *Simultaneous EEG and other recordings during some yogic practices*, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 193.
- Balconi, M. (2006), *Psicologia degli Stati di Coscienza*, Led edizioni.
- Banquet, J.P. (1973). *Spectral analysis of the EEG in meditation*, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol. 35, 143-151.
- Barry, R. J., Clarke, A. R., McCarty, R., Sclikowitz, M., & Rushby, J. A. (2005). *Arousal and activation in a continuous performance task: an exploration of state effects in normal children*. *Journal of Psychophysiology*, 19, 91-99.
- Baumeister, J., Reinecke, K., Liesen, H., & Weiss, M. (2008). *Cortical activity of skilled performance in a complex sports related motor task*. *European Journal of Applied Physiology*, 104, 625-631.
- Benson, H. (1975). *The relaxation response*. New York: Morrow.
- Berger, H. (1929), *Über das Elektrenkephalogramm des Menschen*, *European Archives of Psychiatric + Clinical Neuroscience*, Vol. 87, Issue 1, pp. 527-570

- Bertollo, M., Robazza, C., Falasca, W. N., Stocchi, M., Babiloni, C., Del Percio, C., Marzano, N., Iacoboni, M., Infarinato, F., Vecchio, F., Limatola, C., & Comani, S. (2012). *Temporal pattern of pre-shooting psychophysiological states in elite athletes: A probabilistic approach*. *Psychology of Sport and Exercise*, 13, 91-98.
- Bielli, D., Goldwurm, G. & Masaraki, S. (2005), *Meditazione e Benessere*, Abstracts XIII Congresso Nazionale AIAMC, Vivere in una Società a Rischio, Milano, pp. 122 – 123.
- Brugnoli, M. P. (2008), *Mental Training nello Sport, le Tecniche di Allenamento Mentale per Vincere la Tensione della Gara*, Edizioni Red!.
- Bunker, L., Williams, J.M., & Zinnser, N. (1993). *Cognitive techniques for improving performance and building confidence*. In J. M. Williams (Ed.), *Applied sport psychology: Personal growth to peak performance* (pp. 226- 242). Mountain View, CA: Mayfield Publishing Co.
- Doppelmayr, M., Finkenzeller, T., & Sauseng, P. (2008). *Frontal midline theta in the pre-shot phase of rifle shooting: differences between experts and novices*. *Neuropsychologia*, 46, 1463-1467.
- Cahn, B. R., Polich, J., (2006), *Meditation States and Traits: EEG, ERP, and Neuroimaging Studies*, *Psychological Bulletin*, Vol. 132, No. 2, pp. 180 – 211, APA.
- Chalmers, D. J. (1996), *The conscious mind: In search of a fundamental theory*, Oxford University Press.
- Cohen, L., Brasil, N. & Pascual-Leone, L., *Plasticity of cortical motor output organization following deafferentation, cerebral lesions, and skill acquisition*. *Adv Neurol* 1993;63:187-200.
- Coslett, H.B., (1997), *Consciousness and Attention*, *Seminars in Neurology*, 17 (2), pp. 137 – 144. Department of Neurology, Temple University School of Medicine, Philadelphia, PA, USA.
- Crespo, A., Recuero, M., Galvez, G. & Begona, A. (2012) *Effects of binaural stimulation in attention and eeg*, Congresso Internacional de Acústica, Évora, Portugal
- Deeny, S.D., Haufler, A.J, & Hatfield, B.D. (2001). *EEG coherence and regional autonomy in the cortex of expert and novice shooters*. Paper presented at the meeting of the North American Society for Psychology of Sport and Physical Activity, St. Louis.
- Dennet, D. C. (1988) *Quining Qualia*, in A. Marcel and E. Bisiach, eds, *Consciousness in Modern Science*, Oxford University Press.
- Fenwick, P. (1987). *Meditation and the EEG*. In M. A. West (Ed.), *The psychology of meditation* (pp. 104–117). Oxford, England: Oxford University Press.
- Finsterle, G. (2006), *Modulating the State of Consciousness through induced Microsynchronization of Sound Waves. Phenomenology of the experience and application potentials*, University of Minho, Faculty of Psychology, 3-6 July, 3rd European Conference on Positive Psychology, Braga, Portugal
- Finsterle, G. (2007), *L'incanto di Orfeo e I Sincronismi Neurali Corticali. Introduzione alla Psico – Acustica Transizionale*, In Delle Fave, A. (a cura di); *LA Condivisione del Benessere, Il Contributo della Psicologia Positiva*, Franco angeli.
- Foster, D. S. (1990), *EEG and Subjective Correlates of Alpha-Frequency Binaural-Beat Stimulation Combined with Alpha Biofeedback*, Memphis State University

- Goldwurm, G. F., Sacchi, D. & Scarlato, A. (2003). *Le tecniche di rilassamento nella terapia comportamentale. Manuale teorico pratico*, Franco Angeli
- Gould, D., & Krane, V. (1992). *The arousal-athletic performance relationship: Current status and future directions*. In T. S. Horn (Ed.), *Advances in sport psychology* (pp. 119-142). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hatfield, B.D., & Hillman, C.H. (2001). *The psychophysiology of sport: A mechanistic understanding of the psychology of superior performance*. In R. Singer, H. Hausenblas, & C.
- Hatfield, B. D., & Kerick, S. E. (2007). *The psychology of superior sport performance: a cognitive and affective neuroscience perspective*. In G. Tenenbaum & R. Eklund (Eds), *Handbook of sport psychology* (3rd ed; pp.84-112). Chichester, UK: Wiley.
- Hatfield, B. D., & Landers, D. M. (1987). *Psychophysiology in exercise and sport research. An overview*. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 15, 351-388.
- 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 Psychology*, 6, 42-59.
- Haufler, A.J., Spalding, T.W., Santa Maria, D.L., & Hatfield, B.D. (2000). *Neurocognitive activity during a self-paced visuospatial task: Comparative EEG profiles in marksmen and novice shooters*. *Biological Psychology*, 53, 131-160.
- Hillman, C.H., Apparies, R.J., Janelle, C.M., & Hatfield, B.D. (2000). *An electrocortical comparison of executed and rejected shots in skilled marksmen*. *Biological Psychology*, 52, 71-83.
- Janelle, C.M., Hillman, C.H., Apparies, R.J., Murray, N.P., Melli, L., Fallon, E.A. & Hatfield, B.D. (2000). *Expertise differences in cortical activation and gaze behaviour during rifle shooting*. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 22, 167-182.
- Jasper, H.H. (1958). *Report of the committee on methods of clinical examination in electroencephalography*. *Journal of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 370-375.
- Jasper, H. (1958). *The ten-twenty electrode system of the international federation*. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
- Isotani, T., Tanaka, H., Lehmann, D., Pascual Marqui, R. D., Kochi, K. & Saito, N. (2001). *Source localization of EEG activity during hypnotically induced anxiety and relaxation*. *International Journal of Psychophysiology*, 41, 143–153.
- Inouye, T., Shinosaki, K., Yagasaki, A., Shimizu, A. (1986). *Spatial distribution of generators of alpha activity*. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol. 63, 353-360.
- Kanwisher, N. (2001), *Neural Events and Perceptuale Awareness*, *Cognition*, Vol. 79, pp. 89 – 113.
- Kasamatsu, A., & Hirai, T. (1969). *An electroencephalographic study on the Zen meditation (Zazen)*. In C.T. Tart (Ed.), *Altered states of consciousness* (pp. 501-514). Garden City, N.Y.: Anchor Books.
- Kasprzak, C. (2011). *Influence of Binaural Beats on EEG Signal*, *Acta Physica Polonica*, vol. 119, pp. 986–990, 2011.

- Kennel, S., Taylor, A. G., Lyon, D. & Bourguignon, C. (2010) *Pilot Feasibility Study of Binaural Auditory Beats for Reducing Symptoms of Inattention in Children and Adolescents with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder*, Journal of pediatric nursing, vol. 25, no. 1, pp. 3–11.
- Lane, J. D. Kasian, S.J., Owens, J. E. & Marsh E. (1998). *Binaural Auditory Beats Affect Vigilance Performance and Mood*, Physiology & Behavior, vol. 63, no. 2, pp. 249–252.
- Lavallee, C. F., Koren, S. A & Persinger, M. A. (2011). *A Quantitative Electroencephalographic Study of Meditation and Binaural Beat Entrainment*, The Journal of Alternative and Complementary Medicine, vol. 17, no. 4, pp. 351–355.
- Leatherdale, F. and Leatherdale, P. (1995). *Successful Pistol Shooting*. Toward an instance theory of automatization. Psychological Review, 4, 492-527.
- Libet, B. (1993), *Neurophysiology of consciousness: Selected papers and new essays*, Birkhauser.
- Loze, G.M., Collins, D., & Holmes, P.S. (2001). *Pre-shot EEG alpha-power during expert air-pistol shooting; A comparison of best and worst shots*. Journal of Sport Sciences, 19, 727-733.
- Morse, D. R., Martin, J. S., Furst, M. L. & Dubin, L. L. (1977), *Physiological and Subjective Evaluation of Meditation, Hypnosis, and Relaxation*, Psychosomatic Medicine, Journal of Biobehavioral Medicine, Vol. 39, No. 5, pp. 304-324.
- Oster, G. (1973). *Auditory beats in the brain*, Scientific American, Vol. 229, pp. 94-102.
- Raković, D., Tomašević, M., Jovanov, E., Radivojević, V., Šuković, P., Martinović, Ž., Car, M., Radenović, D., Jovanović-Ignjatić, Z. & Škarić, L., (1999), *Electroencephalographic (EEG) Correlates of Some Activities Which May Alter Consciousness: The Transcendental Meditation Technique, Musicogenic States, Microwave Resonance Relaxation, Healer/Healee Interaction, and Alertness/Drowsiness*, Informatica, Vol. 23, No. 3, pp. 359-412.
- Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M., Crews, D. J., & Kubitz, K. A. (1990). *Hemispheric asymmetry, cardiac response and performance in elite archers*. Research Quarterly for Exercise and Sport, 61, 351-359.
- Shaw, J.C. (1996). *Intention as a component of the alphas rhythm response to mental activity*. International Journal of Psychophysiology, 24, 7-23.
- Schwarz, D. W. F. & Taylor, P. (2005). *Human auditory steady state responses to binaural and monaural beats*, Clinical Neurophysiology, vol. 116, no. 3, pp. 658–668.
- Schwibbe, M., Bruell, A. & Becker, D. (1981). *Peak centered power spectra: A successful attempt to calculate efficient parameters in the alpha range of EEG*. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Vol. 52, 497-500.
- Soldberg, E.E., Berglund, K. A., Engen, O., Ekeberg, O. & Loeb, M. (1996). *The effect of meditation on shooting performance*, BrJ Sports Med 1996;30:342-346.
- Thompson, T., Steffert, T., Ros, T., Leach, J., & Gruzelier, J. (2008). *EEG application for sport and performance*. Methods, 45, 279-288.
- Travis, F. T., & Wallace, R. K. (1997). *Autonomic patterns during respiratory suspensions: Possible markers of transcendental consciousness*. Psychophysiology, 34, 39–46.
- Tremayne, P., & Barry, R. J. (2001). *Elite pistol shooters. Physiological patterning of best versus worst shots*. International Journal of Psychophysiology, 41, 19-29.

Vickers, J.N. (1996). *Visual control while aiming at a far target*. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 22, 342-354.

Vijn, P.C.M., Van Dijk, B.W. & Spekreijse, H. (1991). *Visual stimulation reduces EEG activity in man*. Brain Research, 550, 49-53.

Weiss, T., Wackermann, J., Strehl, U., Strauch, I., Sammer, G., Putz, P., Ott, U., Miltner, W. H. R., Lehmann, D., Kotchoubey, B., Kubler, A., Gruzelier, J., Jamieson, G. A., Birbaumer, N. & Vaitl, D. (2005), *Psychobiology of Altered States of Consciousness*, Psychological Bulletin, Vol. 131, No. 1, pp. 98–127, APA.

Williams, J. M., & Krane, V. (1993). *Psychological characteristics of peak performance*. In J. M. Williams (Ed.), Applied sport psychology: Personal growth to peak performance (pp. 137-147). Mountain View, CA: Mayfield Publishing Co.

Yamamoto, S.; Kitamura, Y., Yamadaz, N., Nakashima, Y., Kuroda, S. (2006), *Medial prefrontal cortex and anterior cingulate cortex in the generation of alpha activity induced by transcendental meditation: a magnetoencephalographic study*, Acta Medica Okayama, Vol. 60, Issue 1, Article 6.