



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**Dipartimento di Psicologia Generale**

**Corso di laurea in Scienze psicologiche cognitive e psicobiologiche**

**Elaborato finale**

*“Effetto della stimolazione elettrica transcranica a rumore casuale  
sull'apprendimento percettivo in un compito di discriminazione visiva: uno studio  
sperimentale.”*

*“The effect of random noise transcranial electrical stimulation on perceptual  
learning in a visual discrimination task: An experimental study.”*

**Relatore**

Prof. Gianluca Campana

**Laureando:** Davide Cantavenera

**Matricola:** 2011170

Anno Accademico 2022/2023



## INDICE

<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>1. L'apprendimento percettivo</b>	<b>2</b>
<b>2. La stimolazione elettrica transcranica</b>	<b>5</b>
<b>3. I metodi dell'esperimento</b>	<b>7</b>
<b>4. Analisi dei dati e discussione dei risultati</b>	<b>12</b>
<b>Conclusioni</b>	<b>16</b>
<b>Riferimenti bibliografici</b>	<b>17</b>

## INTRODUZIONE

Questa tesi si propone di esplorare gli effetti della stimolazione elettrica transcranica (transcranial electrical stimulation, tES) sull'apprendimento percettivo in un compito di discriminazione di barre (orientation discrimination task, ODT). La tES è una tecnica non invasiva che modula l'attività cerebrale mediante l'applicazione di correnti elettriche di bassa intensità. Ci sono già alcune evidenze che tale stimolazione ha un effetto positivo sulla plasticità neurale della corteccia visiva primaria (V1). In questo disegno sperimentale abbiamo deciso di replicare in parte l'esperimento del 2011 condotto da Fertnani e colleghi, focalizzandoci però su soltanto due condizioni di stimolazione, high-frequency tRNS (hf-tRNS) e stimolazione fittizia (Sham), e raccogliendo i dati lungo un ciclo di apprendimento percettivo (anziché da una singola sessione come nello studio originale), consistente in una prova preliminare, otto sessioni di training, e una prova finale. I risultati attesi potrebbero fornire informazioni rilevanti sul potenziale impatto della hf-tRNS sull'apprendimento percettivo anche su un ciclo prolungato di apprendimento. Questo potrebbe portare a nuovi sviluppi sul ruolo della hf-tRNS come terapia non farmacologica per individui con difficoltà visive e percettive, oppure come un metodo innovativo per potenziare le capacità percettive in contesti educativi o professionali.

## CAPITOLO 1

### L'apprendimento percettivo

Prima di entrare nel merito del disegno sperimentale e dei suoi risultati, è bene capire i meccanismi che regolano l'apprendimento percettivo e in che modo esso può essere influenzato da una tecnica non invasiva come la tES. L'apprendimento percettivo altro non è che un potenziamento in seguito all'esperienza della nostra capacità di elaborare gli stimoli che passano per i nostri organi sensoriali. Questi cambiamenti, a differenza di meccanismi temporanei come l'adattamento sensoriale o l'abituazione, tendono a essere permanenti, migliorando la sensibilità a stimoli deboli o ambigui. (Gold & Watanabe, 2010). Affinché si verifichi una modificazione a lungo termine del sistema percettivo è necessario che l'esperienza sensoriale sia attiva e ripetuta. (Karni & Sagi, 1991).

Il meccanismo che sostiene l'apprendimento percettivo è la plasticità neurale. (Kumano & Uka, 2013).

Il cervello umano, anche dopo aver superato le prime fasi dello sviluppo, e raggiunto la maturità, è capace di rimodellarsi in base all'esperienza. Tra i neuroni possono crearsi nuove connessioni sinaptiche o possono rafforzarsi quelle esistenti. La plasticità neurale è fondamentale per l'adattamento del cervello alle nuove informazioni, all'acquisizione di abilità e alla riparazione del tessuto cerebrale danneggiato. Per capire meglio come sia possibile questo processo dobbiamo parlare della legge di Hebb.

La legge di Hebb è un principio chiave nella neuroscienza che cerca di spiegare come avvenga il rafforzamento delle connessioni tra i neuroni nel cervello.

Questo principio afferma che quando un neurone A si attiva e stimola ripetutamente un neurone B, la connessione sinaptica tra questi neuroni si rafforza. In altre parole, se due neuroni si "aiutano" a vicenda nell'attivarsi, la loro connessione diventa più forte.

Per comprendere meglio questa idea, immaginiamo due neuroni che sono collegati da una sinapsi. Quando il neurone A invia un segnale al neurone B e questo si verifica in modo regolare, la sinapsi tra di loro diventa più efficace nel trasmettere il segnale. Questo significa che, in futuro, quando il neurone A si attiva, sarà più probabile che attivi anche il neurone B, poiché la connessione tra di loro è stata potenziata. Questo processo di rafforzamento delle connessioni è ciò che sottende gran parte dell'apprendimento e della formazione delle memorie nel cervello. (Hebb, 1949)

In sostanza, la legge di Hebb sottolinea che le esperienze in cui due neuroni si attivano contemporaneamente o in stretta successione portano a una connessione sinaptica più forte tra di loro. Questa legge è fondamentale per capire come il cervello apprende e come si formano e consolidano le memorie attraverso l'attività neurale coordinata.

È proprio questo meccanismo, dunque, che ci permette di apprendere e di formare delle reti neurali complesse, a partire anche da stimolazioni a livello più elementare.

L'apprendimento percettivo nell'ambito della percezione visiva viene studiato attraverso paradigmi sperimentali che spaziano da una presentazione di scenari complessi, a compiti di detezione e discriminazione di stimoli semplici. (Lu & Doshier, 2022)

Comprendere i meccanismi dietro questa capacità umana di potersi adattare in modo permanente o semi-permanente al contesto sensoriale e percettivo in cui si è immersi, oltre ad essere un ambito di ricerca molto stimolante, può portare dei benefici in ambito educativo, professionale, e clinico, soprattutto se a questo aggiungiamo anche un'altra variabile: la possibilità di potenziare l'apprendimento percettivo tramite la stimolazione elettrica transcranica.

## CAPITOLO 2

### La stimolazione elettrica transcranica

La stimolazione elettrica transcranica (tES) è una tecnica non invasiva in cui, attraverso una corrente elettrica a bassa intensità (tipicamente 1 o 1,5 mA) applicata mediante due elettrodi posizionati sullo scalpo, si induce una transitoria polarizzazione/depolarizzazione delle membrane dei neuroni corticali. Gli elettrodi sono posti sul capo in modo tale da permettere alla corrente di raggiungere la regione del cervello di interesse.

A differenza di altre tecniche di stimolazione, tramite la tES non si induce un potenziale d'azione nei neuroni o assoni a riposo, ma si ha una manipolazione del potenziale di membrana e una modulazione della frequenza di scarica a riposo.

Tra le tipologie di tES, quella che sembra indurre una facilitazione maggiore e degli effetti più duraturi è la tRNS, ossia un'applicazione di livelli random di corrente su una specifica banda di frequenza. (Terney et al., 2008).

La tRNS viene solitamente applicata seguendo tre differenze bande di frequenza: la banda alta (101-640Hz), la banda bassa (0.1-100Hz), o l'intero spettro (0.1-640Hz). Le diverse bande hanno effetti distinti (Campana et al., 2016) e tra questi ci sono evidenze di un'efficacia nell'incrementare l'eccitabilità corticale da parte della banda ad alta frequenza. (Inukai et al., 2016). Inoltre,



rimuovendo frequenze dallo spettro completo dell'hf-tRNS si hanno riduzioni sostanziali nell'effetto eccitatorio sulla membrana. (Moret et al., 2019).

L'hf-tRNS è inoltre stata studiata in ambiti clinici, trovando anche delle evidenze sulla sua efficacia, come per esempio nel recupero visivo in soggetti affetti da ambliopia (Campana et al., 2014; Moret et al., 2018).

## CAPITOLO 3

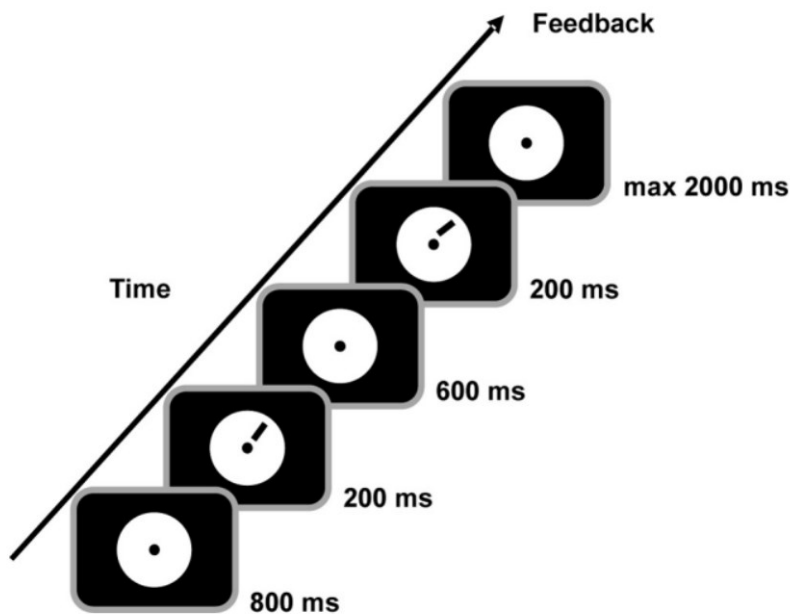
### I metodi dell'esperimento

Partendo da uno studio di Fertoni e colleghi (2011), nel quale vengono riportate evidenze riguardo agli effetti della tES sull'apprendimento percettivo in un compito di discriminazione di barre (ODT), ci siamo chiesti se tale beneficio fosse presente in egual misura dopo un ciclo di training percettivo lungo diversi giorni, piuttosto che dopo una singola sessione come proposto dallo studio del 2011. Per il resto non ci sono state variazioni importanti riguardo gli stimoli e la struttura delle prove.

I dati presi in analisi in questa tesi provengono da sei partecipanti, quattro dei quali, di sesso maschile. Tutti i partecipanti hanno aderito alla somministrazione dell'esperimento su base volontaria e informata e dietro il pagamento di €25.00 al termine delle 10 sessioni. La media della loro età è di 19,6 (Deviazione Standard  $\pm 1,8$ ). I soggetti sono stati poi suddivisi, in modo casuale, in due gruppi, ognuno dei quali contenente tre partecipanti. Entrambi i gruppi sono stati sottoposti al montaggio degli elettrodi e allo stesso compito comportamentale. Nei due gruppi l'unica differenza era l'effettiva presenza della stimolazione elettrica su V1. Il gruppo sperimentale riceveva la stimolazione per una durata di 25 minuti, mentre il gruppo sham riceveva un iniziale ramp-up di corrente di 20 secondi, seguita da un ramp-down di altri 20 secondi. La stimolazione avveniva tramite un dispositivo a batterie (Brainstim, EMS) con un'intensità di 1,5 mA e un range di frequenza di 100-640 Hz. Il montaggio degli

elettrodi è avvenuto nel rispetto delle indicazioni fornite dal comitato etico. Gli elettrodi utilizzati venivano inseriti in delle spugnette imbevute di soluzione salina. L'elettrodo più piccolo (16cm<sup>2</sup>) veniva posizionato sul punto corrispondente al 10% della distanza tra inion e nasion, in modo da ricadere in prossimità di V1. L'elettrodo più grande (60cm<sup>2</sup>) di riferimento era invece posizionato su Cz (secondo il sistema di riferimento EEG 10-20). Gli elettrodi venivano poi fissati grazie all'utilizzo di bande elastiche. Dopo ogni utilizzo le bande e le spugnette venivano lavate e igienizzate.

Il compito comportamentale veniva somministrato al PC, alla distanza di 57cm dallo schermo. In esso venivano presentate ai partecipanti due barre nere (lunghe 2° e larghe 5' di angolo visivo) in sequenza. In ogni trial, la prima, detta barra di riferimento, appariva dopo 800ms su uno sfondo bianco (un cerchio di 10cm di diametro) per 200ms. Dopo 600ms appariva la seconda barra, detta barra target, anch'essa per 200ms. Nei 2 secondi seguenti, al partecipante veniva richiesto di rispondere più accuratamente e più rapidamente possibile, tramite la pressione del tasto "A" e del tasto "L" della tastiera, se la barra target era rispettivamente, orientata più in senso antiorario od orario rispetto alla barra di riferimento. Dopo ogni trial veniva fornito al soggetto un feedback riguardo la risposta tramite la colorazione di verde o rosso del punto di fissazione, rispettivamente in caso di risposta corretta e risposta errata o non data. (Fig.1)



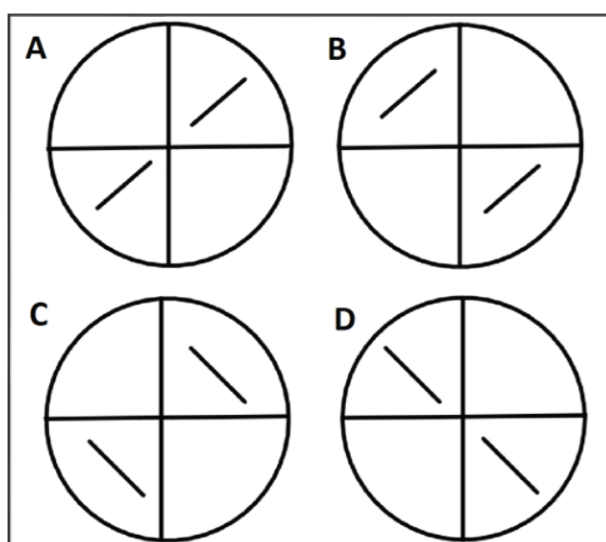
**Figura 1.** Esempio della timeline di un trial. Fonte: Fertoni et al. (2011)

Dopo una breve familiarizzazione di 8 trial in cui le differenze angolari tra le barre erano di 15°, iniziava il compito vero e proprio, costituito da una sessione di 8 blocchi da 64 trial ciascuno. In ciascun blocco le differenze angolari erano di 0.1, 0.4, 0.7, 1, 1.3, 1.6, 1.9 e 2.2 gradi.

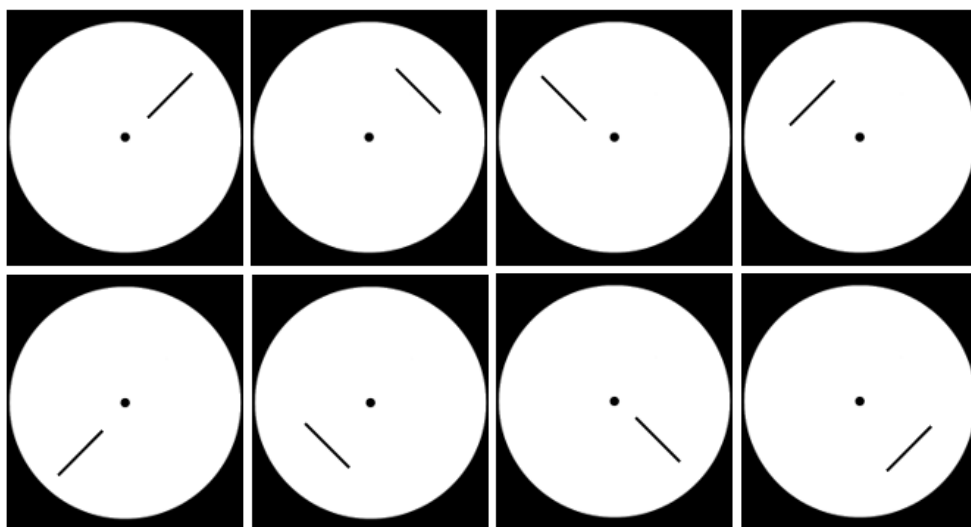
Il disegno sperimentale prevedeva una sessione test iniziale, 8 sessioni di training ed una sessione test finale distribuiti lungo più giorni, con massimo 2 giorni di pausa tra una sessione e la seguente. Le sessioni test erano caratterizzate dall'assenza di montaggio e stimolazione. Erano presenti, inoltre, quattro possibili condizioni di presentazione degli stimoli (A, B, C e D; Figura 2). Le sessioni test, sia iniziale che finale, prevedevano 2 blocchi per ogni condizione. Tutti i partecipanti venivano invece sottoposti durante le sessioni di

training alla condizione A per tutti gli 8 blocchi. Questo è stato fatto per indagare un possibile effetto di generalizzazione sugli altri orientamenti e posizioni. La condizione A prevedeva la presentazione degli stimoli nel secondo e nel terzo quadrante con un orientamento intorno ai  $45^\circ$ . Essendo questa la condizione di allenamento per i partecipanti, se fosse presente un effetto di generalizzazione, nella sessione di test finale, dovremmo vedere un miglioramento maggiore proprio nella condizione A, seguita da un miglioramento minore in B, che condivide con A l'orientamento di  $45^\circ$  degli stimoli ma non la posizione di comparsa, e in C, che condivide con A la posizione di comparsa ma non l'orientamento degli stimoli, che è invece attorno ai  $135^\circ$ . Per finire ci aspettiamo un miglioramento ancora minore in D che non condivide né orientamento né posizione di comparsa degli stimoli con A. (Figura 2).

Tutti i parametri sopra citati, dalle differenze angolari alle condizioni di posizione, sono stati bilanciati e randomizzati.



**Figura 2.** Condizioni di orientamento e posizione per la presentazione degli stimoli.

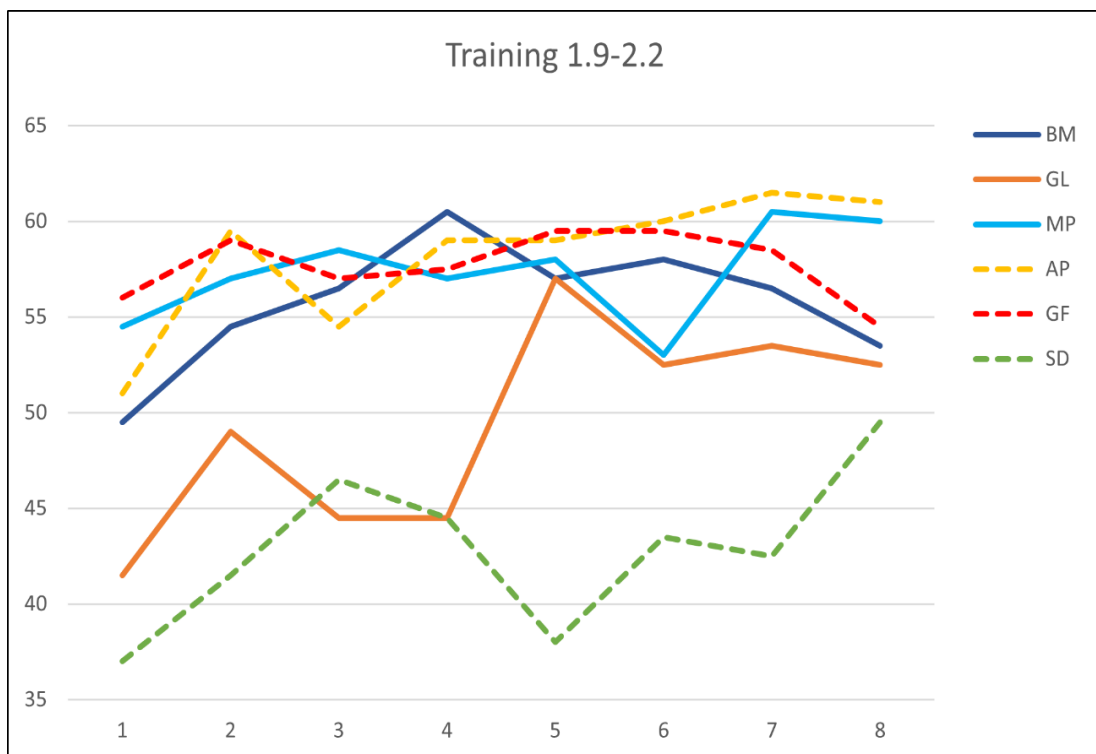


**Figura 3.** Esempio di come appariva lo stimolo in tutte le sue possibili posizioni e inclinazioni di riferimento. La barra target compariva sempre nello stesso quadrante del riferimento e con una lieve differenza di angolo.

## CAPITOLO 4

### Analisi dei dati e discussione dei risultati

A causa del numero ridotto di partecipanti, e per l'alta variabilità dei dati raccolti, per individuare il cambiamento della prestazione dei partecipanti durante le sessioni di training, e per valutare una qualche influenza della stimolazione, sono state considerate soltanto le differenze angolari di 1.9 e 2.2 gradi. Nella Figura 2 viene presentata, per ogni partecipante, la media tra le risposte corrette (su 64 possibili) nelle due condizioni di differenza angolare.



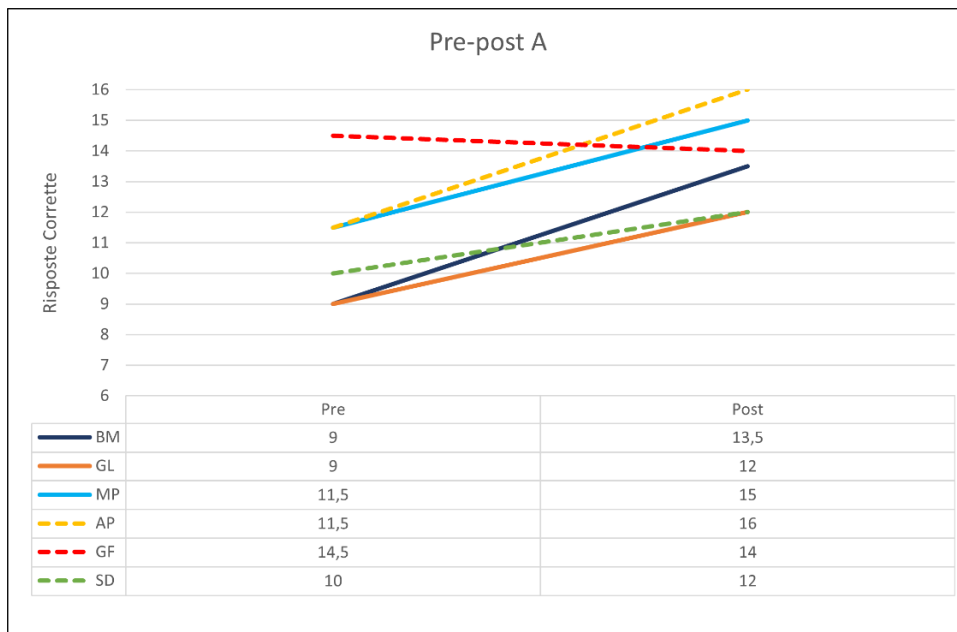
**Figura 4.** I partecipanti del gruppo hf-tRNS sono indicati con le linee tratteggiate.

Ciò che salta subito all'occhio osservando il grafico (Figura 4) è la variabilità di prestazione tra i partecipanti dovuta a differenze individuali. Soffermandoci

quindi sul cambiamento di prestazione per ogni soggetto, possiamo notare una tendenza positiva in quasi tutti i soggetti, soprattutto in chi partiva da una prestazione peggiore nella prima sessione di training.

Infine, non risulta visibile nessuna differenza tra i gruppi, e quindi non possiamo confermare la nostra ipotesi di partenza circa i benefici della hf-tRNS sull'apprendimento percettivo.

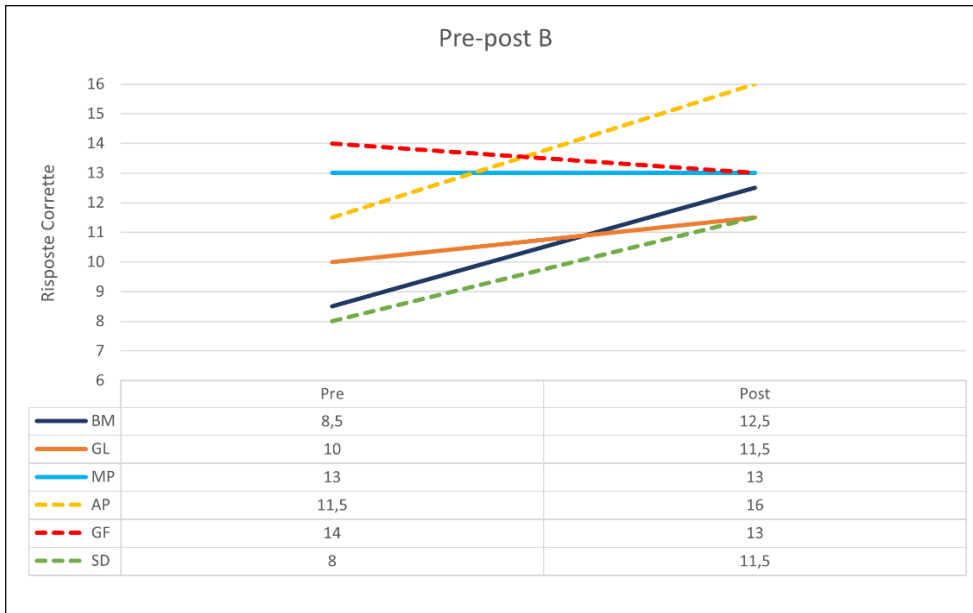
Andando invece ad indagare un possibile effetto di generalizzazione tra le condizioni degli stimoli, nei grafici seguenti (Figure 5, 6, 7 e 8), uno per ogni condizione di presentazione degli stimoli, vengono presentate, per ogni partecipante, la media tra le risposte corrette (su 16 possibili) tra le differenze angolari di 1.9 e 2.2 gradi nella sessione test iniziale (pre) e nella sessione test finale (post).



**Figura 5.** Media di risposte corrette nelle sessioni di test pre e post per la condizione A.

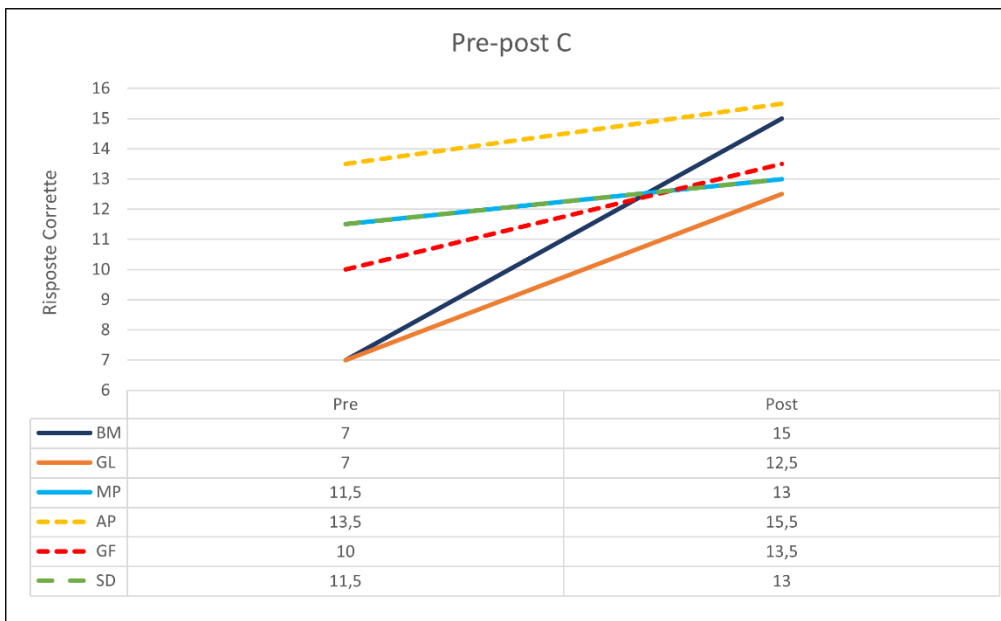
*I partecipanti del gruppo hf-tRNS sono indicati con le linee tratteggiate.*





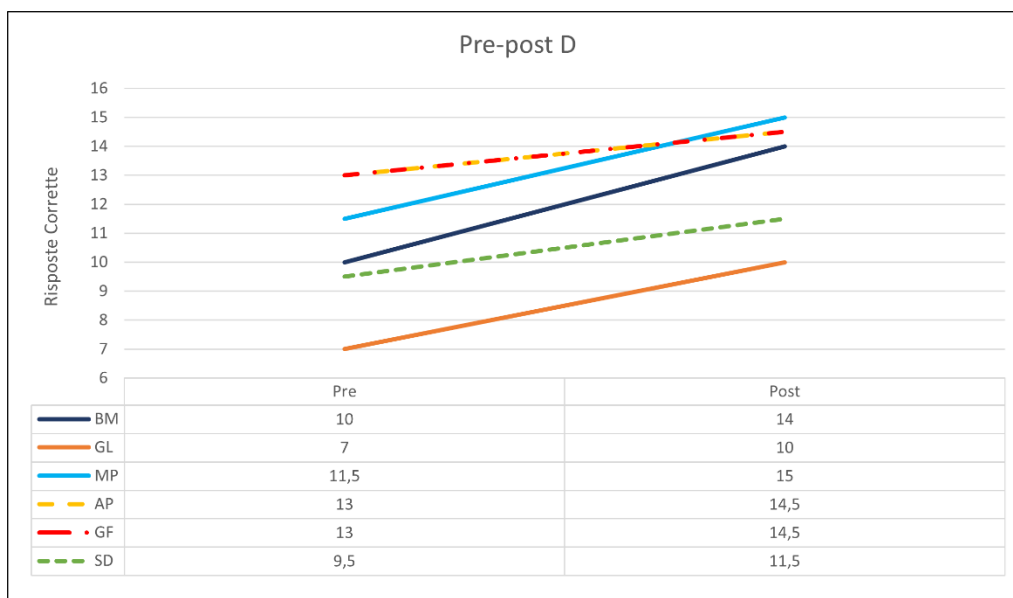
**Figura 6.** Media di risposte corrette nelle sessioni di test pre e post per la condizione B.

*I partecipanti del gruppo hf-tRNS sono indicati con le linee tratteggiate.*



**Figura 7.** Media di risposte corrette nelle sessioni di test pre e post per la condizione C.

*I partecipanti del gruppo hf-tRNS sono indicati con le linee tratteggiate.*



**Figura 8.** Media di risposte corrette nelle sessioni di test pre e post per la condizione D.

*I partecipanti del gruppo hf-tRNS sono indicati con le linee tratteggiate,*

Nonostante non si notino, a causa del campione ridotto e della variabilità dei dati, differenze sostanziali tra i miglioramenti nelle condizioni di presentazione, possiamo inferire un leggero effetto di generalizzazione dalla presenza di miglioramento di prestazione anche nelle condizioni non allenate (B, C e D).

## CONCLUSIONI

A causa del campione ridotto di partecipanti, i dati esaminati in questa tesi non sono sufficienti per confermare o smentire l'efficacia della tES come metodo di potenziamento sull'apprendimento percettivo.

Sarà necessario riprodurre il disegno sperimentale, somministrando l'esperimento ad un campione più numeroso di partecipanti.

L'apprendimento percettivo e la tES sono comunque due ambiti di ricerca con un notevole potenziale applicativo. Una maggior consapevolezza sui meccanismi che li regolano e su come interagiscono, può portare a dei risvolti positivi, sia in ambito clinico che in ambiti educativi e professionali.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Campana, G., Camilleri, R., Moret, B., Ghin, F., & Pavan, A. (2016). Opposite effects of high- and low-frequency transcranial random noise stimulation probed with visual motion adaptation. *Scientific Reports*, *6*(1), Articolo 1.  
<https://doi.org/10.1038/srep38919>
- Campana, G., Camilleri, R., Pavan, A., Veronese, A., & Lo Giudice, G. (2014). Improving visual functions in adult amblyopia with combined perceptual training and transcranial random noise stimulation (tRNS): A pilot study. *Frontiers in Psychology*, *5*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2014.01402>
- Fertonani, A., Pirulli, C., & Miniussi, C. (2011). Random Noise Stimulation Improves Neuroplasticity in Perceptual Learning. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, *31*, 15416–15423.  
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2002-11.2011>
- Gold, J. I., & Watanabe, T. (2010). Perceptual learning. *Current biology : CB*, *20*(2), 10.1016/j.cub.2009.10.066. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.10.066>
- Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior; a neuropsychological theory* (pp. xix, 335). Wiley.
- Inukai, Y., Saito, K., Sasaki, R., Tsuiki, S., Miyaguchi, S., Kojima, S., Masaki, M., Otsuru, N., & Onishi, H. (2016). Comparison of Three Non-Invasive Transcranial Electrical Stimulation Methods for Increasing Cortical Excitability. *Frontiers in Human Neuroscience*, *10*, 668. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00668>
- Karni, A., & Sagi, D. (1991). Where practice makes perfect in texture discrimination: Evidence for primary visual cortex plasticity. *Proceedings of the National*

*Academy of Sciences of the United States of America*, 88(11), 4966–4970.

<https://doi.org/10.1073/pnas.88.11.4966>

Kumano, H., & Uka, T. (2013). Neuronal mechanisms of visual perceptual learning.

*Behavioural Brain Research*, 249, 75–80.

<https://doi.org/10.1016/j.bbr.2013.04.034>

Lu, Z.-L., & Doshier, B. A. (2022). Current directions in visual perceptual learning. *Nature*

*reviews psychology*, 1(11), 654–668. [https://doi.org/10.1038/s44159-022-](https://doi.org/10.1038/s44159-022-00107-2)

00107-2

Moret, B., Camilleri, R., Pavan, A., Lo Giudice, G., Veronese, A., Rizzo, R., & Campana,

G. (2018). Differential effects of high-frequency transcranial random noise

stimulation (hf-tRNS) on contrast sensitivity and visual acuity when combined

with a short perceptual training in adults with amblyopia. *Neuropsychologia*,

114, 125–133. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.04.017>

Moret, B., Donato, R., Nucci, M., Cona, G., & Campana, G. (2019). Transcranial random

noise stimulation (tRNS): A wide range of frequencies is needed for increasing

cortical excitability. *Scientific Reports*, 9(1), Articolo 1.

<https://doi.org/10.1038/s41598-019-51553-7>

Terney, D., Chaieb, L., Moliadze, V., Antal, A., & Paulus, W. (2008). Increasing Human

Brain Excitability by Transcranial High-Frequency Random Noise Stimulation.

*The Journal of Neuroscience*, 28(52), 14147–14155.

<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4248-08.2008>