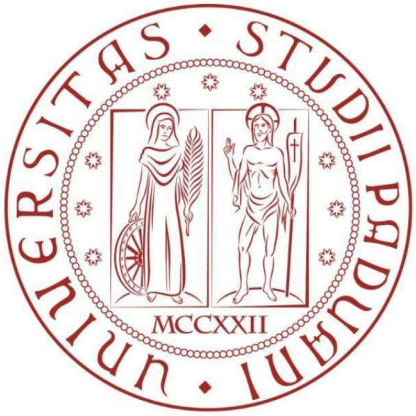

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione

Corso di Laurea triennale in Scienze e Tecniche Psicologiche

Tesi di Laurea Triennale

Musica e Memoria: effetti dell'allenamento musicale sulle capacità mnemoniche dei musicisti

Music and memory: effects of musical training on the mnemonic abilities of musicians

Relatrice:
Prof.ssa Sabrina Brigadoi

Laureanda
Michela Nausica Narducci
Matricola
2051716

Anno Accademico 2024/2025

Indice

Introduzione……..…….…….……1

Capitolo 1.

- **1.1** Il ruolo della memoria di lavoro nel funzionamento cognitivo……..…..3
- **1.2** Le diverse componenti della Memoria a breve termine e i tasks utilizzati per misurarle…….…….6
  - **1.2.1** La memoria verbale……7
  - **1.2.2** La memoria tonale…….……..7
  - **1.2.3** La memoria visiva……8
- **1.3** Modelli teorici della memoria di lavoro……...10
  - **1.3.1** Il Modello Multicomponente di Baddeley e Hitch (1974)……..10
  - **1.3.2** Lo Slot-Model di Luck e Vogel……..11
  - **1.3.3** Il Resource-Model di Bays & Husain……..12
  - **1.3.4** Confronto dei modelli…….13

Capitolo 2.

- **2.1** La formazione musicale……...15
  - **2.1.1** Che cosa implica…….15
  - **2.1.2** La plasticità cerebrale…….16
  - **2.2** Analisi delle variabili: età di inizio, ore di pratica, tipo di strumento……19

Capitolo 3.

- **3.1** Obiettivi e metodi dell'elaborato…….22
- **3.2** Studio di Ho, Cheung e Chan (2003): memoria verbale e visiva nei bambini….23
- **3.3** Studio di Hansen, Wallentin e Vuust (2013): Memoria di Lavoro Verbale e Visuo-spaziale……..….25
- **3.4** Studio di Ding et al. (2018): Memoria di Lavoro Tonale e Capacità di Aggiornamento…….…….26

Capitolo 4.

- **4.1** Discussione critica……...……28
- **4.2** Interpretazioni teoriche……29
- **4.3** Spunti per future ricerche…….30

Bibliografia……32

Introduzione

Musica e funzioni cognitive: perché studiare la memoria nei musicisti?

L'impatto della musica sulle abilità cognitive dell'essere umano è oggetto di crescente interesse scientifico. La musica, intesa come esperienza umana universale, rappresenta una delle forme di espressione più antiche della storia dell'uomo e riveste un ruolo centrale nelle dinamiche sociali, psicologiche e cognitive dell'individuo. Negli ultimi decenni, numerose ricerche neuroscientifiche evidenziano che la musica non solo influenza profondamente le emozioni ma permette anche un progressivo miglioramento delle funzioni cognitive come attenzione, memoria, problem-solving, presa di decisioni e creatività (Piccardi, L., Palmiero, M., & Nori, R., 2024). Più specificatamente, è la pratica musicale vera e propria che, oltre a far sviluppare abilità strettamente tecniche, sembra essere associata a enormi benefici derivanti dalla complessità delle attività coinvolte nella musica che richiedono un'integrazione di capacità sensoriali, motorie e cognitive in modo sinergico e continuo.

Ma cosa spinge la scienza a studiare la memoria nei musicisti e ad interrogarsi su di essa? È molto semplice: I musicisti rappresentano un modello naturale di allenamento cognitivo intensivo e prolungato nel tempo. La pratica musicale richiede l'attivazione di diverse componenti della memoria: dalla memorizzazione di note, accordi, melodie e ritmi alla lettura e interpretazione di spartiti complessi, alla rievocazione di informazioni verbali nel caso del canto o della musica con testi, fino al perfetto utilizzo di pedaliere, amplificatori, accordatori degli strumenti.

Queste caratteristiche fanno della musica un fenomeno di grande interesse per le neuroscienze, poiché unisce la sfera cognitiva, motoria e quella emotiva in un'unica esperienza integrata.

Nonostante gli antropologi non riescano a risalire a nessuna popolazione che non abbia lasciato tracce delle sue testimonianze musicali, prima del XX secolo non esistevano interrogativi a riguardo dei benefici che la musica può produrre. Studiare le capacità mnemoniche dei musicisti al giorno d'oggi significa, pertanto,

comprendere meglio i meccanismi di potenziamento e plasticità cerebrale che il nostro sistema nervoso mette in atto a partire da un'esperienza strutturata, inducendo a modificare la propria struttura e funzionalità in risposta all'esperienza. La ricerca scientifica ha ampiamente dimostrato che i musicisti professionisti possiedono cervelli strutturalmente e funzionalmente diversi da quelli dei non-musicisti. Aree cerebrali come il corpo calloso, il cervelletto e le cortecce uditive e motorie risultano spesso più sviluppate. Queste differenze neuroanatomiche si traducono in vantaggi misurabili in una vasta gamma di funzioni cognitive, che assumono rilevanza clinica (possono aiutare a sviluppare strategie cliniche per supportare persone con deficit cognitivi o di memoria musicale) ed educativa (possono guidare alla progettazione di programmi educativi per migliorare l'apprendimento), suggerendo possibili applicazioni dell'allenamento musicale in ambiti quali la riabilitazione cognitiva o l'educazione scolastica.

Alla luce di quanto esposto, questo elaborato, dunque, si propone di eseguire una rassegna della letteratura che riguarda i vantaggi cognitivi mnemonici dei musicisti e dei non musicisti riscontrati in studi scientifici fornendo un quadro chiaro e aggiornato delle attuali scoperte; e subito in seguito cercherà nella maniera più esaustiva di rispondere al seguente quesito: "i musicisti mostrano un potenziamento della memoria a breve termine rispetto ai non musicisti?".

A partire da questo, si esploreranno i differenti circuiti mnemonici (memoria di lavoro, visiva, verbale e tonale) e si analizzerà la natura di quelli coinvolti nella pratica musicale, insieme alle modalità e alle implicazioni di tali miglioramenti per la comprensione della neuroplasticità e di effetti specifici o generalizzati.

Per affrontare tali obiettivi sopra delineati, sono stati selezionati studi sperimentali longitudinali, osservazionali e comparativi tra musicisti e non musicisti.

Infine, si analizzeranno le variabili che possono moderare la relazione tra musica e memoria, come l'età d'inizio della formazione, l'intensità della pratica e il tipo di strumento suonato.

CAPITOLO 1

1.1 Il ruolo della memoria di lavoro nel funzionamento cognitivo.

L'obiettivo di questo capitolo è quello di gettare le basi teoriche necessarie per comprendere la relazione tra l'allenamento musicale e le capacità mnemoniche implicate.

La memoria, intesa come componente cognitiva che collabora nei meccanismi dell'apprendimento, nella formazione dell'identità individuale e che agisce da mediatrice nell'interazione con il mondo esterno, è una delle funzioni più complesse e fondamentali nel campo degli studi delle neuroscienze cognitive.
Le ricerche in questo ambito indicano che la memoria è tradizionalmente suddivisa in diverse componenti funzionali fondamentali, tra cui la memoria sensoriale, la memoria a breve termine e la memoria a lungo termine. (Baddeley, A. D., Eysenck, M. W., & Anderson, M. C., 2015. *La memoria: come funziona e come usarla*).
In questo elaborato, la trattazione si focalizzerà esclusivamente sulla memoria a breve termine e in particolare sulle sue diverse componenti funzionali: la memoria di lavoro (dal termine inglese *Working Memory – WM)* e le sue sottocomponenti specializzate: verbale, visiva e tonale.
La memoria a breve termine costituisce un sistema cruciale che permette di mantenere temporaneamente le informazioni necessarie per lo svolgimento di processi cognitivi complessi, come l'apprendimento, il ragionamento e la pianificazione. Tuttavia, presenta limiti importanti, in particolare riguardo alla capacità di immagazzinamento (7±2 unità di informazione) e alla durata, con decadimento entro pochi secondi in assenza di ripetizione o consolidamento. (Baddeley, A. D., Eysenck, M. W., & Anderson, M. C., 2015).

La comprensione moderna della memoria a breve termine è stata rivoluzionata e notevolmente arricchita dal concetto di memoria di lavoro (MdL), un sistema dinamico che non si limita ad immagazzinare passivamente le informazioni, ma riveste un ruolo centrale nel fornire uno spazio mentale temporaneo in cui le

informazioni possono essere mantenute attive e manipolate, operando come un ponte tra la percezione immediata e l'elaborazione cognitiva complessa. Ad esempio, per pianificare una sequenza di azioni o per risolvere un problema logico, abbiamo bisogno di tenere a mente molte variabili (dati iniziali, risultati intermedi, possibili soluzioni) e manipolarle mentalmente: queste operazioni dipendono dalla MdL. Allo stesso modo, la comprensione del linguaggio – sia orale che scritto – richiede di mantenere in memoria le parole e le frasi appena lette o ascoltate mentre integriamo il loro significato nelle aree di competenza; una memoria di lavoro efficiente facilita la costruzione del significato globale di un discorso, di un testo o di simboli e formule (es. nelle scienze matematiche). (Baddeley, A. D., Eysenck, M. W., & Anderson, M. C., 2015).

Esiste un ventaglio di modelli e teorie che rispecchiano le differenti prospettive sulla natura, struttura e funzioni della MdL (es. Anderson, Reder, e Lebiere, 1996; Baddeley, 1986; Barnard, 1985; Cowan, 1988; Ericsson & Kintsch, 1995; Just & Carpenter, 1992; Schneider & Detweiler, 1987; Luck & Vogel 1997; Bays & Husain, 2008) ma ne verranno approfonditi solo alcuni.

In un'ottica di analisi delle differenze individuali, la capacità della memoria di lavoro mostra forti correlazioni con misure di intelligenza fluida e di sviluppate capacità di apprendimento. Ricerche psicometriche hanno mostrato che le misure di memoria di lavoro (mantenimento dei contenuti, manipolazione ed elaborazione, controllo dell'attenzione) effettuate su individui con capacità di memoria di lavoro più ampia (intesa come quantità massima di informazioni che una persona può ricordare immediatamente dopo la loro presentazione) tramite compiti di span complessi, non solo presentano alta coerenza interna ma predicono in modo significativo abilità complesse, tra cui intelligenza non verbale e ragionamento astratto. (Daneman & Carpenter, 1980; Engle et al., 1999; Conway et al., 2003). In particolare, sembra che la memoria di lavoro condivida con l'intelligenza funzioni di controllo esecutivo e gestione attentiva delle informazioni rilevanti. Una metanalisi ha indicato che la prestazione nei compiti classici di WM (es. span di lettura, n-back task) è fortemente

correlata con la capacità di controllo esecutivo e con misure di cognizione elevata. (Ackerman, P. L., Beier, M. E., & Boyle, M. O.,2005). In altri termini, soggetti con migliore memoria di lavoro tendono anche ad eccellere in compiti che richiedono di ignorare distrattori, alternare tra più operazioni mentali o risolvere conflitti cognitivi.

Questo ha portato alcuni autori (Engle et al., 1999; Cowan, 2005) a considerare la WM come un ingrediente necessario del "core" cognitivo che supporta l'esecuzione di compiti complessi. Sarà proprio Baddeley con il suo modello a suggerire che l'esecutivo centrale della MdL è strettamente legato alle funzioni esecutive frontali implicate nel controllo attentivo e nell'inibizione di risposte automatiche.

Un altro ambito di grande rilevanza è quello dell'apprendimento e dello sviluppo cognitivo. In psicologia dello sviluppo, capacità più elevate di memoria di lavoro nei bambini sono predittive di migliori risultati scolastici, specialmente in materie come la matematica e la comprensione del testo letterario. Lo studioso e professore all'università del Missouri Cowan (2014) ha descritto la memoria di lavoro come un fattore chiave che sottende lo sviluppo cognitivo e l'apprendimento, facilitando l'integrazione di nuove informazioni con le conoscenze esistenti e permettendo di gestire compiti complessi suddividendoli in parti mantenibili nella mente. A confermare ciò va ricordato che i deficit alla WM sono stati associati a difficoltà in disturbi dell'apprendimento (es. dislessia: spesso si può riscontrare un deficit nella memoria verbale a breve termine) e in condizioni neuropsichiatriche (ADHD), in cui le limitazioni nel mantenimento e manipolazione delle informazioni contribuiscono ai problemi di attenzione e autoregolazione.

Infine, la memoria di lavoro ha un ruolo pratico fondamentale in quasi tutte le attività quotidiane che richiedono multitasking (dal tenere a mente un indirizzo mentre si ascoltano indicazioni stradali al calcolare un resto durante un pagamento). In situazioni di doppio compito, la memoria di lavoro è sollecitata nel coordinare e ripartire le risorse attentive: è stato dimostrato che quando due compiti utilizzano la stessa componente della WM (es. due compiti verbali che richiedono entrambi il loop fonologico), le prestazioni calano drasticamente, mentre se si usano componenti

differenti (es. uno verbale e uno visivo) l'interferenza è minore. (Baddeley, A. D., & Hitch, G. J., 1974). Questo suggerisce perché la pratica musicale può potenziare la capacità di integrare e coordinare più sottosistemi mnemonici, rendendo i musicisti particolarmente efficienti in compiti che richiedono l'uso combinato di più risorse cognitive. Sarà proprio il modello multicomponenziale (che verrà spiegato più avanti) a spiegare come il cervello di un musicista riesca ad integrare in tempo reale informazioni di natura diversa: informazione fonologica/tonale (sequenza di note/melodia), informazione visuo-spaziale (lettura dello spartito, posizione dello strumento) e informazione motoria (coordinazione delle mani, respiro); tutto sotto il controllo dell'esecutivo centrale (attenzione e monitoraggio degli errori). In pratica, il musicista è un caso naturale di multi-tasking cognitivo.

1.2 Le diverse componenti della Memoria a breve termine e i tasks utilizzati per misurarle

Si andranno ora ad analizzare le sottocomponenti specializzate della MdL con l'obiettivo di distinguere i diversi sistemi coinvolti in questa ricerca sui musicisti e non musicisti.
Inoltre, per ognuna saranno specificati i compiti sperimentali che possono essere somministrati per riuscire a rilevarne valide misurazioni.

La ricerca neuropsicologica si avvale di una varietà di compiti sperimentali per misurare la memoria a breve termine, adattati al tipo di materiale (verbale, tonale o visivo) da investigare. Nella classifica operativa degli esperimenti, si suole distinguere i compiti in base al sistema di memoria che coinvolgono: in generale, la MdL viene valutata con prove che richiedono di mantenere e riprodurre immediatamente una serie di stimoli dopo una breve presentazione (tipicamente pochi secondi), senza svolgere ulteriori elaborazioni complesse su di essi, fornendo una misura della capacità di immagazzinamento istantaneo. Tali compiti, noti come *Span Forward Tasks*, rientrano nella categoria dei compiti di riconoscimento immediato, che

studiano la memoria a breve termine "pura", poiché richiedono solo immagazzinamento temporaneo senza manipolazione. I compiti più complessi che aggiungono richieste di elaborazione (come Span all'indietro, N-Back tasks) sono invece classificati come compiti della memoria di lavoro in senso stretto. (Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W., 2005).

1.2.1 La Memoria Verbale

La memoria verbale è la capacità di codificare, mantenere e recuperare le informazioni di natura linguistica, come parole, numeri, frasi o simboli degli spartiti ed è cruciale per la comprensione del linguaggio, la lettura e l'apprendimento scolastico in generale.

Per misurare la memoria verbale, i test più classici sono gli span di cifre o di parole in avanti. Ad esempio, nel *Digit Span task* viene presentata al partecipante (tramite lettura o ascolto) una sequenza di numeri (in genere a velocità di uno al secondo) e immediatamente dopo gli viene chiesto di ripeterli esattamente nell'ordine corretto. (Hansen et al., 2012). La lista cresce di un'unità alla volta fino a trovare la lunghezza massima della quale il soggetto riesce ancora a ricordare tutti gli item nell'ordine giusto. Analogamente, si possono usare liste di lettere o di parole (*Word Span Task*), span di non-parole (liste di sillabe senza senso, per valutare la componente fonologica pura) o lo span di frasi (*Listening Span Test/Reading Span Test*) di cui va giudicata la veridicità e di cui vanno ricordate le ultime parole lette, integrando in questo modo memoria ed elaborazione del testo.

1.2.2 La Memoria Tonale

La memoria tonale, d'altra parte, riguarda la capacità di ricordare informazioni musicali, in particolare le altezze dei suoni (pitch) e le loro relazioni in una melodia.

Studi di neuroimaging suggeriscono che, sebbene vi sia una significativa sovrapposizione nei circuiti neurali che elaborano la memoria verbale e tonale (in aree come l'area di Broca e la corteccia premotoria), i musicisti sviluppano reti neurali specializzate e più efficienti per l'elaborazione dei suoni *(Schulze, K., Zysset, S., Mueller, K., Friederici, A. D., & Koelsch, S., 2011).* L'allenamento musicale, quindi, non solo rafforza un sistema uditivo generale, ma lo specializza portandolo a prestazioni superiori nella memoria dei suoni e, per effetto di trasferimento, anche in quello verbale.

Per misurare la memoria tonale, i compiti devono tenere conto della natura particolare degli stimoli uditivi non verbali. Un paradigma comune consiste in compiti di riconoscimento di melodie o sequenze di suoni: al partecipante vengono presentate due brevi sequenze di note (ad esempio 5-6 toni suonati al pianoforte, beep di diverse frequenze, melodie semplici di 6/8 note, sequenze di accordi) separate da un brevissimo intervallo, ed egli deve giudicare se la seconda è identica o differente dalla prima. Questi compiti evitano di richiedere una ripetizione attiva dei suoni (difficile per chi non ha abilità canore o tecniche musicali), concentrandosi sul riconoscimento immediato. Un altro compito invece è il *Tonal Span*, simile allo span di cifre, ma con le note da riprodurre (cantando o su una tastiera) nell'ordine corretto dopo averle ascoltate. Un ulteriore metodo è il *Tonal N-Back Task,* in cui ai partecipanti viene presentata una sequenza di toni e devono indicare se il tono corrente è identico a quello presentato "n" posizioni prima (es. 3-back) (George & Coch, 2011).

Tuttavia, sembra chiaro che alcune procedure sono applicabili solo con musicisti o soggetti intonati. I risultati solitamente indicano che, analogamente alla memoria verbale, anche la memoria tonale subisce gli effetti di interferenza – un rumore o altri suoni durante il mantenimento peggiorano la prestazione.

1.2.3 La Memoria Visiva

La memoria visiva a breve termine si riferisce alla capacità di trattenere per brevi periodi informazioni come immagini, forme, colori e posizioni nello spazio.

Analogamente alla memoria verbale, anche la memoria visiva è caratterizzata da una capacità limitata e da un rapido decadimento senza ripetizioni. Va notato che la capacità misurata può variare in funzione della complessità degli stimoli e di strategie di raggruppamento *(Luck, S. J., & Vogel, E. K., 1997)*. Sebbene la musica sia un'arte prevalentemente uditiva, la memoria visiva svolge un ruolo fondamentale per i musicisti che leggono spartiti, richiedendo in seguito la rapida codifica e l'anticipazione di complessi pattern di simboli. La meta-analisi di Talamini e al. (2017) ha rilevato un effetto piccolo o nullo dell'allenamento musicale sulla memoria visuo-spaziale, suggerendo che il transfer cognitivo sia più forte nei domini più vicini a quello di expertise.

Per misurare la memoria visuo-spaziale, un compito tradizionale è il *Test dei cubetti di Corsi*, in cui al partecipante viene mostrata una disposizione di 9 cubetti posti su una tavola; l'esaminatore tocca una sequenza di cubetti a ritmo di uno al secondo e subito dopo il partecipante deve ripetere la sequenza toccando i cubetti nell'ordine corretto. La sequenza aumenta gradualmente finché il soggetto non commette errori: la lunghezza massima riprodotta correttamente è lo Span spaziale.

Per la memoria visiva, sono usati compiti come il *Pattern Span* o *Visual Pattern Test*: si mostrano per pochi secondi delle griglie con celle oscurate (configurazioni di celle nere/bianche) e si chiede al soggetto di segnare le celle che erano nere. Anche qui la dimensione della griglia o il numero di celle da ricordare aumenta fino al limite della performance. Un ulteriore metodo sperimentale molto diffuso è il compito di cambio di immagine (*Change Detection Task*): si presentano due insiemi di stimoli visivi (es. colori o forme) a distanza di un breve intervallo e il soggetto partecipante deve dire se il secondo è identico al precedente o se qualche elemento è modificato. Variando il numero di elementi e registrando l'accuratezza, si ottiene una stima del numero massimo di oggetti che possono essere mantenuti fedelmente (Luck, S. J., & Vogel, E. K., 1997).

1.3 Modelli teorici della Memoria di Lavoro

Il funzionamento della MdL è stato descritto da diversi modelli teorici.

1.3.1 Il Modello Multicomponente di Baddeley e Hitch (1974)

Uno dei modelli di memoria di lavoro più influenti in letteratura è il modello multicomponente di Baddeley e Hitch (1974). A differenza della memoria a breve termine, il cui focus è prevalentemente lo stoccaggio passivo, i due studiosi introdussero la nozione di *memoria di lavoro* come sistema dedicato al mantenimento temporaneo e alla manipolazione attiva delle informazioni, in contrasto con l'idea precedente di un semplice magazzino poco duraturo. Il loro modello descrive la MdL come costituita da *quattro componenti principali:* un sistema di controllo attenzionale centrale (denominato *Esecutivo Centrale*), che svolge la funzione di supervisione e coordinamento, distribuendo l'attenzione, gestendo le risorse tra i compiti e controllando le operazioni di manovra delle informazioni; e a lui subordinati tre sottosistemi di immagazzinamento a breve termine specializzati nella diversa natura dell'informazione. In particolare distinsero il *Magazzino Fonologico* (detto anche ciclo fonologico o *Loop fonologico*) responsabile del mantenimento attivo delle informazioni verbali attraverso ripetizione articolatoria, un *magazzino visuo-spaziale* (detto *Taccuino visuo-spaziale*) dedicato al mantenimento di immagini visive e configurazioni spaziali, e il *buffer episodico* (introdotto nella teoria negli anni 2000), che integra informazioni multimodali dei sottosistemi creando rappresentazioni episodiche unificate e funge da interfaccia con la memoria a lungo termine (Long-Term Memory, LTM).

A livello neuroanatomico, la WM è supportata da regioni cerebrali specifiche: l'area prefrontale riveste un ruolo direttivo per il Central Executive, conferendo capacità di controllo attentivo e soppressione di distrazioni, mentre le aree di Broca e di Wernicke sono implicate nel funzionamento del Loop Fonologico. Il Taccuino visuo-spaziale si appoggia su regioni occipitali e parietali coinvolte nell'elaborazione visiva.

Studi di neuroimaging (D'Esposito, M., & Postle, B. R., 2015) hanno evidenziato l'attivazione intensa e dinamica di questi circuiti durante l'esecuzione di compiti di memoria di lavoro a conferma della complessità e multidimensionalità del sistema. (Baddeley & Hitch, 1974).

Questo modello tripartito ricevette ampio supporto empirico, ma nonostante ciò, permangono questioni aperte riguardo alla natura unitaria o meno della WM, ai suoi limiti quantitativi e qualitativi (Ramaty, A., & Luria, R., 2018) e alla sua interazione con la LTM. Nel contesto dell'allenamento musicale, questo sistema di memoria riveste un ruolo fondamentale poiché sappiamo che la pratica richiede il mantenimento e la manipolazione simultanea di informazioni complesse di diversa natura (uditiva, visiva, motoria, emotiva).

1.3.2 Lo Slot-Model di Luck e Vogel

All'inizio degli anni 2000, Steven J. Luck e collaboratori (in particolare Edward K. Vogel) portarono avanti una serie di studi che hanno avuto un forte impatto sulla comprensione della memoria di lavoro visiva. Attraverso esperimenti di *change detection,* in cui ai partecipanti veniva chiesto di rilevare cambiamenti in insiemi di stimoli visivi, gli autori osservarono che la capacità di memoria visiva era sorprendentemente limitata. Da questo nacque il cosiddetto Slot-Model.
Il modello a Slot concepisce la memoria di lavoro come dotata di un numero fisso e limitato di "posizioni" (slot) in cui è possibile mantenere le rappresentazioni degli elementi da ricordare. In base a questa teoria discreta, esiste un limite rigido al numero di unità che la memoria può trattenere simultaneamente. Ogni slot fornisce una rappresentazione a risoluzione elevata per l'elemento assegnato, e se il numero di elementi supera il totale di slot disponibili, gli elementi eccedenti non vengono affatto immagazzinati. Questo implica un meccanismo "tutto-o-nulla": un item o è completamente mantenuto in memoria oppure viene perso (Vogel, Woodman, & Luck, 2001). Le loro evidenze sperimentali supportano questa visione: ad esempio, la capacità di memoria visiva è stata stimata intorno a 4 oggetti indipendenti (si tratta

del "*numero magico*" proposto da Miller e raffinato in seguito da Cowan). La risoluzione dei ricordi mantenuti tende a rimanere su alti livelli e relativamente costanti, invece di degradare in modo graduale: questo risultato risulta coerente con l'idea di un numero limitato di rappresentazioni discrete a risoluzione fissa.

1.3.3 Il Resource-Model di Bays & Husain

Qualche anno più tardi, Wei Ji Ma, Masud Husain e Nick E. Bays misero in discussione la visione di Luck & Vogel e le loro evidenze sperimentali supportarono la loro idea: i loro risultati misero in luce come le prestazioni nei compiti di memoria visiva non si riducessero semplicemente ad una brusca interruzione oltre una determinata soglia di item, ma mostravano un declino progressivo della precisione man mano che aumentava il numero di oggetti da ricordare. Da queste osservazioni prese forma il Resouce Model, secondo cui la MdL visiva non è limitata da slot discreti, ma è un pool limitato di risorse cognitive continue e divisibili, che possono essere distribuite in modo graduale tra tutti gli elementi da mantenere attivi. Non esiste un numero prefissato di posizioni: qualunque numero di oggetti può essere rappresentato, ma all'aumentare del numero di elementi la quota di risorse assegnata a ciascun item diminuisce, con conseguente riduzione della qualità (precisione) della rappresentazione di ogni elemento. (Ma, Husain, & Bays, 2014). In altri termini, la capacità di memoria è concepita non come un insieme di slot tutto-o-nulla, bensì come un continuum divisibile: è possibile memorizzare più informazioni solo sacrificandone la fedeltà. Si può dire quindi che un importante corollario di questo modello è la possibilità di un trade-off tra quantità e qualità: la precisione con cui ogni oggetto è ricordato è inversamente proporzionale all'aumentare del numero di elementi; dato un budget di risorse limitato, si può scegliere se allocarle su pochi elementi (ottenendo rappresentazioni molto accurate) oppure su molti elementi a scapito, però, della precisione individuale di ciascun ricordo.

1.3.4 Confronto dei modelli

Numerosi studi sono stati progettati per testare predizioni contrastanti. Alcuni risultati hanno evidenziato assenza di trade-off nel dominio visivo puro – ad esempio, nei compiti di *change detection* i partecipanti non sembrano sacrificare la precisione per memorizzare un maggior numero di colori se il tempo di esposizione è breve – a sostegno dello Slot-Model *(Luck & Vogel, 1997; Zhang & Luck, 2008).* Altre evidenze, invece, mostrano variazioni graduali di precisione compatibili con la divisione di risorse – ad esempio in compiti di stima continua *(Continuous Estimation Tasks)*, la deviazione nell'errore aumenta man mano che si incrementa il n° di oggetti da ricordare – a supporto del Resource Model. *(Bays & Husain, 2008; van den Berg et al., 2012)*. Questa discrepanza nei risultati sperimentali suggerisce che nessuno dei due modelli fornisce da solo una spiegazione completa: in effetti, alcuni autori hanno proposto modelli ibridi che cercano di spiegare sia il comportamento di "tutto-o-nulla" sia le variazioni continue di qualità.

È importante tenere in considerazione che sia lo Slot Model sia il Resource Model sono stati sviluppati principalmente per descrivere i meccanismi della memoria visiva a breve termine (VSTM). La maggior parte degli studi citati precedentemente, infatti, utilizza stimoli visivi per testare le due teorie. Tuttavia, il dibattito si sta estendendo anche ad altre modalità. Nella memoria di lavoro uditiva-tonale, la ricerca sta iniziando ad esplorare questioni simili: studi come quello di Ding et al. (2018) hanno dimostrato che la capacità della memoria tonale sembra essere definita dal numero di note piuttosto che dalla loro durata, un risultato che si allinea meglio con una logica a slot discreti piuttosto che con un modello basato sul tempo di elaborazione, come avviene invece per la memoria verbale con il "*word length effect*" (Jalbert, A., Neath, I., Bireta, T. J., & Surprenant, A. M., 2011).

In questo senso, va sottolineato che il modello di Baddeley e Hitch si colloca maggiormente su un piano teorico differente rispetto alla dicotomia slot/risorse. Esso infatti offre un quadro architettonico generale della WM, integrando componenti

verbali, visuo-spaziali e multimodali, piuttosto che la distribuzione quantitativa delle capacità.

CAPITOLO 2

2.1 La formazione musicale

2.1.1 Che cosa implica?

Questo capitolo faciliterà la comprensione del motivo per cui un'esperienza specifica come la formazione musicale possa modellare lo sviluppo cognitivo e neurale, fornendo evidenza di indurre plasticità cerebrale.

Storicamente, la musica ha rivestito un ruolo centrale nell'educazione e nella cultura di molte società, tanto è vero che fu inserita nel *quadrivium (*le 4 arti ritenute liberali fondamentali durante il periodo del Medioevo). Ancora oggi la formazione musicale è considerata un elemento chiave per la crescita personale, che va ben oltre la semplice esecuzione di movimenti meccanici ma ha implicazioni che toccano aspetti etici, sociali e funzioni cognitive di ordine superiore.

Dal punto di vista educativo, l'apprendimento di uno strumento musicale richiede anni di pratica, concentrazione sostenuta e disciplinata costanza, per questo motivo è stato spesso associato a benefici durante lo sviluppo cognitivo nei bambini e negli adolescenti. Numerosi sistemi scolastici includono tuttora l'educazione musicale, sostenuti dall'idea che la musica possa potenziare abilità cognitive generali. Schellenberg (2004) ha riscontrato che un anno di lezioni di musica in bambini di 6 anni era associato ad un incremento significativo del quoziente intellettivo rispetto a gruppi di controllo senza formazione musicale. Allo stesso modo, Forgeard et al. (2008) hanno osservato che i bambini con training musicale strumentale ottengono punteggi superiori in compiti di discriminazione uditiva, abilità motorie fini, vocabolario verbale e ragionamento logico non verbale rispetto ai coetanei senza tale training. Tali risultati suggeriscono un trasferimento delle abilità apprese tramite la musica verso altre funzioni cognitive, sebbene non manchino dibattiti sulla portata e la generalizzabilità di questi effetti (Hallam, 2010). È rilevante notare che alcuni studi non riscontrano miglioramenti significativi in ambito accademico o cognitivo a

seguito della formazione musicale, sottolineando l'importanza di controllare variabili quali la motivazione personale o il contesto familiare (Mehr et al., 2013).

Sotto il profilo neurocognitivo, la pratica musicale rappresenta un campo di studio privilegiato per le neuroscienze. Imparare a suonare uno strumento musicale è un'attività multisensoriale e motoria che coinvolge alcune delle abilità mentali più complesse dell'essere umano, richiedendo un consumo di risorse cognitive elevato e prolungato nel tempo. Il musicista deve simultaneamente prestare attenzione selettiva ai suoni rilevanti, mantenere e manipolare attivamente informazioni in memoria di lavoro (come note, accordi o sequenze ritmiche), leggere uno spartito (processamento visuo-spaziale), tradurre i simboli in movimenti motori precisi (feedback audio-motorio), ascoltare il risultato sonoro (processamento uditivo) e applicare regole ben apprese di teoria musicale in tempo reale [Peretz & Zatorre, 2005; Zatorre & McGill, 2005]. Questa combinazione di requisiti fa sì che l'attività musicale impegni una vasta gamma di aree cerebrali: corteccia uditiva, aree motorie e premotorie, circuiti frontoparietali, strutture limbiche. (Altenmüller & Schlaug, 2015).
Yurgil et al. (2020) sottolineano come la music performance richieda notevole attenzione flessibile, capacità di inibire risposte automatiche a stimoli non pertinenti, oltre ad una continua auto-regolazione dell'espressione emotiva durante l'interpretazione di un brano.

2.1.2 La plasticità cerebrale

Proprio per il suo coinvolgimento multifattoriale, la pratica musicale è emersa negli ultimi decenni come modello ideale per studiare la plasticità cerebrale. (Herholz & Zatorre, 2012; Yurgil et al., 2020).

Il termine *plasticità neurale* si riferisce alla capacità del sistema nervoso di modificare la propria struttura e funzionalità in risposta all'esperienza e all'apprendimento. Lungi dall'essere un organo statico, il cervello si riorganizza continuamente e in modo dinamico. Studi neuroscientifici negli ultimi decenni hanno sfruttato la musica come

paradigma per investigare la plasticità dipendente dall'addestramento *(training-dependent plasticity*) fornendo evidenze che confermano il marcato impatto sul cervello (Münte, Altenmüller & Jäncke, 2002).

Dal punto di vista strutturale, la pratica musicale intensiva è associata a significative modificazioni neuroplastiche nelle aree cerebrali coinvolte nella memoria a breve termine. Gaser e Schlaug (2003) hanno rilevato, tramite risonanza magnetica con analisi voxel-based (VBM) un volume maggiore di sostanza grigia nei musicisti professionisti rispetto ai non musicisti in aree critiche per la memoria e l'elaborazione uditiva, tra cui la corteccia prefrontale (nell'Area di Broca) e l'ippocampo, oltre che alla corteccia uditiva nel lobo temporale superiore. Altre indagini scientifiche (Hutchinson, S., Lee, L. H., Gaab, N., & Schlaug, G., 2003) dimostrarono un'espansione delle aree della corteccia motoria dedicate al controllo motorio fine, nonché di regioni del cervelletto e del lobo parietale coinvolte nell'integrazione visuo-motoria. Un'altra evidenza classica riguarda il corpo calloso, il grande fascio di sostanza bianca che connette i due emisferi cerebrali: nei musicisti professionisti esso tende ad avere una dimensione maggiore, in particolare nelle regioni che collegano le aree motorie dei due emisferi, probabilmente riflettendo una più intensa comunicazione interemisferica dovuta alla coordinazione bimanuale richiesta da molti strumenti (Schlaug et al., 1995).

Oltre ai cambiamenti morfologici, la formazione musicale induce anche adattamenti funzionali nelle modalità con cui l'encefalo elabora le informazioni. Studi di risonanza magnetica funzionale (fMRI) ed elettroencefalografia (EEG) hanno mostrato che i musicisti attivano i loro circuiti neurali in modo diverso dai non musicisti durante vari compiti, musicali e non. In particolare, la fMRI documenta un reclutamento più esteso ed efficiente dei network frontoparietali durante compiti di memoria a breve termine e osserva attivazioni potenziate nella corteccia prefrontale dorsolaterale e nel lobo parietale inferiore durante l'ascolto, il mantenimento e la manipolazione di sequenze musicali, rispetto a quanto avviene nei non musicisti (Koelsch et al., 2009; Schulze et al., 2011; Albouy et al., 2019). Contestualmente,

l'intensa pratica uditiva/mnemonica sembra coinvolgere maggiormente anche le strutture temporali e limbiche: l'ippocampo e le aree temporali superiori mostrano nei musicisti sia un'attivazione funzionale aggiuntiva durante compiti di memoria musicale, sia una maggiore densità di sostanza grigia a riposo (Groussard et al., 2010; Herdener et al., 2010).

Inoltre, durante l'ascolto di brani, i musicisti tendono a reclutare maggiormente le aree frontali e motorie (area di Broca, corteccia premotoria e il giro frontale inferiore) rispetto ai non musicisti, anche se non stanno materialmente suonando. Ciò riflette una forte integrazione audio-motoria: attraverso l'addestramento, il cervello del musicista sviluppa connessioni tra l'analisi dei suoni e le rappresentazioni necessarie per produrli (Lahav, Saltzman & Schlaug, 2007) (Fig. 1).

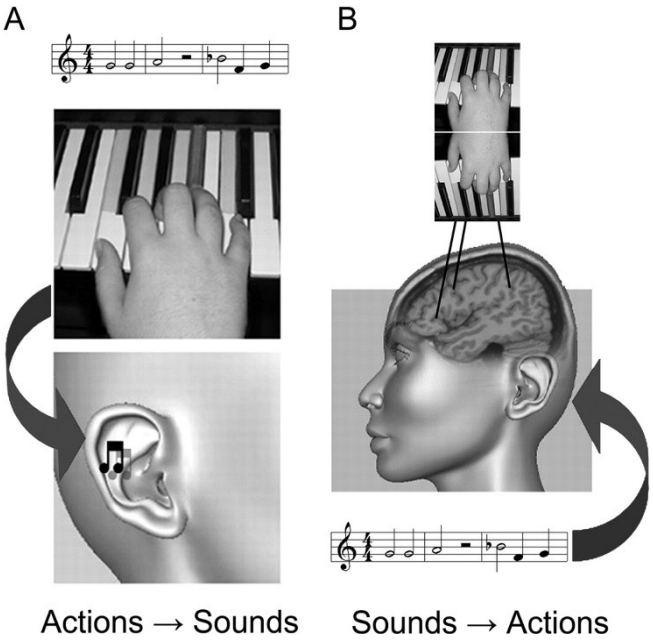

Figura 1. Illustrazione rapporto Azione – ascolto.

Presa da: Gaser, C., & Schlaug, G. (2003).

Queste evidenze di neuroimaging supportano l'idea che l'esperienza musicale induca una plasticità cerebrale generalizzata nei circuiti della memoria a breve termine, migliorando le capacità di mantenere e processare attivamente le informazioni uditive

– come riflettono i punteggi superiori dei musicisti in compiti di memoria verbale (Franklin et al., 2008).

2.2 Analisi delle variabili: età di inizio, ore di pratica, tipo di strumento

L'entità della riorganizzazione plastica cerebrale e dei benefici cognitivi associati all'allenamento musicale sono modulate da una serie di variabili chiave, tra cui l'età di inizio della formazione, la quantità di ore di pratica accumulata e il tipo di strumento suonato.

Esiste un ampio consenso scientifico sul fatto che l'età in cui si inizia la formazione musicale sia un fattore critico. Il cervello infantile e adolescenziale è caratterizzato da "periodi sensibili" di elevata plasticità, durante i quali tutti i tipi di esperienza possono avere un impatto più profondo e duraturo sulla struttura e sulla funzione neurale. La ricerca ha messo a confronto musicisti che hanno iniziato la pratica prima o dopo i 7 anni, un'età considerata "spartiacque". Coloro che hanno iniziato precocemente mostrano differenze dell'architettura cerebrale più marcate e permanenti (es. maggior volume del corpo calloso) (Steele et al., 2013); Vaquero et al., 2015). Questa "riserva" cognitiva costruita durante l'infanzia, non solo offre vantaggi immediati nell'apprendimento, ma sembra avere effetti protettivi a lungo termine, contribuendo a contrastare il declino cognitivo in età avanzata. Va comunque evidenziato che la plasticità cerebrale indotta dalla musica non è limitata all'età evolutiva: sebbene i cambiamenti più significativi si osservano in individui che hanno iniziato in età infantile, anche in età adulta e avanzata il cervello mantiene una certa malleabilità. A dimostrazione di questo, James et al. (2020) hanno progettato un *trial* controllato randomizzato (RCT) e condotto su 155 anziani sani, di età compresa tra 64 e 78 anni, con l'obiettivo di valutare gli effetti dell'apprendimento musicale strumentale sulla plasticità cerebrale. I partecipanti, privi di precedenti esperienze musicali, sono stati assegnati a due gruppi: un gruppo sperimentale sottoposto a 1 ora di lezione di pianoforte alla settimana per 12 mesi (con 30 minuti di esercizio quotidiano a casa) e

un gruppo di controllo attivo impegnato in attività di ascolto e cultura musicale. La metodologia ha incluso valutazioni cognitive e motorie attraverso una batteria psicometrica (memoria di lavoro, memoria verbale, funzioni esecutive, velocità di elaborazione, coordinazione bimanuale), nonché indagini di neuroimaging strutturale e funzionale (VBM, DTI, fMRI) e campionamenti ematici. I test sono stati somministrati in quattro momenti (baseline, 6 mesi, 12 mesi e follow-up a 18 mesi).
Gli autori ipotizzano – e risultati preliminari supportano – che la pratica musicale possa contrastare il declino cognitivo tipico dell'invecchiamento, migliorando funzioni come la memoria di lavoro, le funzioni esecutive e la velocità di elaborazione, e che tali miglioramenti siano accompagnati da cambiamenti strutturali e funzionali cerebrali misurabili (ad es. aumento di volume in aree frontali e temporali). Questi risultati sottolineano il potenziale della musica come stimolo di plasticità *lifelong* e come strumento preventivo/riabilitativo in ambito neurocognitivo.

Se l'età di inizio rappresenta la "finestra delle opportunità", l'intensità e la durata della pratica determinano la profondità degli effetti. Come per qualsiasi abilità complessa, esiste una relazione diretta tra il numero di ore di pratica deliberata e il livello di expertise raggiunto, sia a livello comportamentale che neurale. Studi come quelli di Talamini et al. (2017) e Amer et al. (2013) hanno evidenziato che migliaia di ore di pratica costante rafforzano le connessioni sinaptiche e consolidano le reti neurali rendendo i vantaggi mnemonici più pronunciati. George e Coch (2011) riportano una correlazione positiva tra gli anni di formazione e l'ampiezza della memoria sia verbale sia visuo-spaziale in giovani adulti musicisti. In età evolutiva, è stato rilevato che il numero di ore settimanali di pratica strumentale contribuisce in modo significativo a migliorare la prestazione in compiti musicali avanzati che richiedono memoria operativa, come la discriminazione di melodie trasposte (Ireland et al., 2019).

Sebbene la maggior parte dei benefici cognitivi centrali (MdL e attenzione) sia comune a tutti i tipi di musicisti, le evidenze suggeriscono che il tipo di strumento possa parzialmente influenzare quali aree cerebrali sono più sollecitate e, quindi, specializzate. I pianisti, ad esempio, gestiscono la lettura simultanea di due

pentagrammi e coordinano in modo complesso entrambe le mani: un allenamento che potenzia in modo consistente e duraturo le abilità visuo-spaziali e la comunicazione inter-emisferica (Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., Staiger, J. F., & Steinmetz, H., 1995). I violinisti e gli altri strumentisti ad arco, che devono costantemente controllare l'intonazione fine, sviluppano una memoria tonale e una discriminazione uditiva eccezionalmente precise (Herholz, S. C., & Zatorre, R. J., 2012). I percussionisti, invece, sono maestri del dominio temporale, sviluppando una memoria ritmica e una capacità di sincronizzazione motoria di altissimo livello (Hove, M. J., Fairhurst, M. T., Kotz, S. A., & Keller, P. E., 2013).

Sebbene questo sia un campo di ricerca ancora in espansione, è plausibile che le specifiche richieste motorie e percettive di ogni strumento lascino un'*impronta* neurale distintiva, che si aggiunge ai benefici cognitivi più generali condivisi da tutti i musicisti.

CAPITOLO 3

3.1 Obiettivi e metodi dell'elaborato

Dopo aver stabilito le basi teoriche della memoria e descritto come la formazione musicale influisca sul rimodellamento cerebrale, questo capitolo cercherà di rappresentare il cuore empirico dell'elaborato. L'obiettivo principale di questa sezione è analizzare e riepilogare le prove scientifiche dirette che confrontano le capacità mnemoniche dei musicisti con quelle dei non musicisti. L'indagine non si limiterà a confermare l'esistenza di un "vantaggio dei musicisti", ma cercherà di delinearne con precisione la natura e i confini: questo vantaggio è un potenziamento globale delle capacità cognitive o un affinamento specifico legato al dominio di expertise uditivo? E quali componenti della memoria ne sono maggiormente influenzate?

Il presente elaborato si fonda sulla revisione di alcuni articoli che riportano studi effettuati tra il 1974 e il 2025. Tutti gli studi sperimentali presi in esame sono *peer-reviewed* e sono stati filtrati secondo criteri rigorosi di qualità e affidabilità del campo psicometrico. In particolare si è privilegiata la letteratura che impiega strumenti standardizzati con validità nota (Span di cifre/parole, Test di Corsi, N-back task) e un campione di partecipanti definito e di dimensioni adeguate, con gruppi bilanciati per età e background. Per assicurare replicabilità, sono stati esclusi studi con dati mancanti o compiti non comparabili. Le parole chiave utilizzate sono termini combinati in inglese come "*short-term memory*", "*musician and non-musician*", "*working memory and music*", "*auditory memory and music"*, *"verbal memory and music", "visual memory and music"*, oltre ad equivalenti italiani.

Gli articoli sono stati estrapolati dai database internazionali multidisciplinari di letteratura scientifica, tra cui APA PsycInfo, Scopus e PubMed. In seguito la bibliografia è stata importata e organizzata su Zotero, software gratuito e open-source per la gestione e raccolta di riferimenti.

La selezione finale include un esperimento focalizzato su ciascun dominio

mnemonico, in modo da ottenere un'analisi bilanciata e aderente alla domanda di ricerca. Di seguito verranno presentati tre studi sperimentali.

3.2 Studio di Ho, Cheung e Chan (2003): memoria verbale e visiva nei bambini

3.2.1 Obiettivi

Lo studio di Ho, Cheung e Chan si proponeva di verificare l'ipotesi che la formazione musicale potesse migliorare selettivamente la memoria verbale, ma non quella visiva, in un campione di bambini. La ricerca era strutturata in due fasi: una prima parte cross-sezionale, per confrontare le abilità di bambini con e senza training musicale, e una seconda parte longitudinale, per stabilire una relazione causale tra la pratica musicale e il miglioramento mnemonico seguendo i partecipanti per un anno.

3.2.2 Metodi

Nella fase cross-sezionale (E1), sono stati reclutati 90 bambini di sesso maschile di età compresa tra i 6 e i 15 anni, reclutati dalla scuola media *Raimondi College.* Sono stati divisi in due gruppi: un gruppo con training musicale (MT) (45 bambini avevano dagli 1 ai 5 anni di formazione musicale, con un'ora di lezione alla settimana di violino o flauto presso la scuola e con insegnanti professionisti) e gli altri 45 senza alcuna esperienza musicale (NMT). I gruppi erano bilanciati per età, livello educativo e quoziente intellettivo. La memoria verbale è stata misurata con il Hong Kong List Learning Test (HKLLT), mentre quella visiva è stata valutata con il *Brief Visuo-spatial Memory Test—Revised* (BVMT–R) e la Figura Complessa di *Rey-Osterrieth* (ROCF). Nel secondo esperimento longitudinale, gli autori hanno seguito per un ulteriore anno un sottogruppo dei bambini già valutati nello studio trasversale. Dei 45 partecipanti con formazione musicale, 33 hanno continuato regolarmente lo studio strumentale, che sono stati in seguito suddivisi in due sottogruppi: i continuatori (n=24) hanno continuato la formazione musicale per almeno un altro anno (fino

all'inizio dell'esperimento longitudinale), mentre gli "interrotti" (n=9) hanno interrotto l'allenamento 3 mesi dopo la fine dell'E1. Invece, dei 45 bambini partecipanti al gruppo NMT, 17 hanno iniziato il corso di pratica musicale dopo la fine del primo esperimento e sono stati selezionati come sottogruppo "principianti" per lo studio longitudinale. I bambini, pertanto, sono stati nuovamente sottoposti agli stessi test cognitivi di memoria verbale (HKLLT) e visiva (BVMT-R e ROCF) dopo dodici mesi dal primo esperimento cross-sezionale.

3.2.3 Risultati

I risultati hanno supportato pienamente le ipotesi.

Analisi Cross-Sezionale: Il gruppo MT ha dimostrato una prestazione significativamente superiore nel test di memoria verbale (HKLLT) sia nell'apprendimento immediato che nei richiami differiti a 10 e 30 minuti, rispetto al gruppo NMT, imparando circa il 20% di parole in più. Al contrario, non è emersa alcuna differenza significativa tra i due gruppi nei test di memoria visiva (BVMT-R e ROCF). Inoltre, è stata trovata una correlazione positiva tra la durata del training musicale e i punteggi di memoria verbale.

Analisi Longitudinale: Dopo un anno, i bambini che avevano iniziato o continuato la formazione musicale hanno mostrato un miglioramento significativo nella memoria verbale. Al contrario, il gruppo che aveva interrotto il training non ha mostrato alcun miglioramento. Anche in questo caso, le variazioni nella memoria visiva non erano significativamente diverse tra i gruppi. Questi dati forniscono una forte evidenza a favore di un legame causale tra la pratica musicale e il potenziamento specifico della memoria verbale.

3.3 Studio di Hansen, Wallentin e Vuust (2013): Memoria di Lavoro Verbale e Visuo-Spaziale

3.3.1 Obiettivi

L'obiettivo dello studio di Hansen, Wallentin e Vuust (2012) era indagare se l'associazione già documentata tra abilità musicale e memoria di lavoro verbale si estendesse anche al dominio visuo-spaziale, verificando quindi se i musicisti presentassero un vantaggio cognitivo generale o specifico. L'ipotesi di partenza era che tale generalizzazione non si sarebbe verificata, suggerendo che il vantaggio mnemonico non fosse guidato da un miglioramento dell'intelligenza generale, ma da un effetto di trasferimento di abilità più specifico.

3.3.2 Metodi

Sono stati reclutati 60 giovani adulti di età media 21 divisi in tre gruppi: non musicisti, musicisti amatoriali (circa 10 ore settimanali di allenamento) e musicisti esperti (riportavano in media oltre 20 ore settimanali di pratica), bilanciati per età ed educazione formale. A tutti i partecipanti sono stati somministrati test standardizzati per misurare le diverse componenti della memoria di lavoro: il Musical Ear Test (MET) per misurare oggettivamente la competenza musicale, il Digit Span (della scala WAIS-III) per la memoria verbale, suddiviso in *Forward* (semplice immagazzinamento) e *Backward* (manipolazione); lo Spatial Span (della scala WMS-III) anch'esso suddiviso in *Forward e Backward*.

3.3.3 Risultati

I risultati hanno mostrato che i musicisti esperti superavano significativamente i non musicisti nello span verbale in avanti, mentre non si osservavano differenze nello span verbale all'indietro né nello span visuo-spaziale. Inoltre, i punteggi al Digit Span Forward erano positivamente correlati con i punteggi complessivi al MET e in

particolare con la sottoscala ritmica. Nessuna correlazione significativa è emersa tra memoria visuo-spaziale e competenza musicale. In sintesi, lo studio dimostra che l'allenamento musicale si associa a un miglioramento selettivo della memoria verbale a breve termine, più precisamente per la sua componente di immagazzinamento, senza estendersi al dominio visuo-spaziale.

3.4 Studio di Ding et al. (2018): Memoria di Lavoro Tonale e Capacità di Aggiornamento

3.4.1 Obiettivi

Lo studio di Ding e colleghi si è concentrato sulla memoria di lavoro tonale con due scopi principali. Primo, determinare se la sua capacità sia limitata dal numero di note o dalla durata della sequenza (un effetto analogo al "word length effect" della memoria verbale). Secondo, esaminare come il training musicale influenzi la memoria tonale, distinguendo tra compiti di semplice mantenimento e compiti che richiedono una manipolazione attiva e l'aggiornamento (updating) delle informazioni.

3.4.2 Metodi

La ricerca ha confrontato musicisti e non musicisti in due esperimenti.

Esperimento 1 (Mantenimento): A 32 partecipanti (16 con 11 anni in media di formazione musicale, 16 non musicisti) è stato presentato un compito di discriminazione tonale *forward*. Dovevano ascoltare due melodie e dire se fossero uguali o diverse. Gli stimoli variavano per numero di note, durata e struttura (sequenze musicalmente strutturate vs. sequenze random).

Esperimento 2 (Manipolazione/Aggiornamento): È stato usato un compito N-back tonale, che richiede a 39 partecipanti (21 musicisti e 18 non musicisti) di indicare se la nota appena sentita sia uguale a quella presentata N posizioni prima (con N variabile

da 2 a 6). Questo paradigma misura la capacità di monitorare, aggiornare e manipolare attivamente le informazioni in memoria.

3.4.3 Risultati

I risultati del primo esperimento hanno mostrato che sia il numero di note sia la durata influenzavano il rendimento, ma in modo differente: entrambi i gruppi subivano un calo di accuratezza con sequenze più lunghe, ma i musicisti mantenevano prestazioni significativamente superiori ai non musicisti solo per sequenze musicalmente strutturate, non per quelle casuali. Nel secondo esperimento, i musicisti hanno sovraperformato i non musicisti in tutte le condizioni, mostrando una maggiore capacità di aggiornamento e manipolazione delle sequenze tonali.

In entrambi gli esperimenti, la durata delle note non ha influito significativamente sulla memoria, mentre il numero di note era la variabile determinante. In sintesi, i risultati indicano che la memoria tonale segue meccanismi diversi dalla memoria verbale (dove conta la durata) ed è potenziata in modo selettivo dall'allenamento musicale, soprattutto nei compiti che richiedono manipolazione attiva delle informazioni.

CAPITOLO 4

4.1 Discussione critica

L'analisi della letteratura scientifica condotta in questa tesi ha permesso di tracciare un quadro coerente e robusto degli effetti che la formazione musicale esercita sulle capacità mnemoniche. Il risultato più evidente e consolidato è l'esistenza di un vantaggio mnemonico significativo nei musicisti rispetto ai non musicisti. Tuttavia, questo vantaggio non è uniforme, ma segue un preciso gradiente di specificità legato al dominio di expertise.

Come prevedibile, la superiorità dei musicisti è massima nel campo della memoria tonale. Studi come quello di Ding et al. (2018) hanno non solo confermato questa abilità, ma hanno anche svelato meccanismi sottostanti, dimostrando che la capacità mnemonica per i suoni è legata al numero di note e non alla loro durata, e che i musicisti eccellono in compiti che richiedono la manipolazione e l'aggiornamento attivo delle informazioni (N-back), anche con sequenze atone.

Il vantaggio si estende in modo solido e significativo alla memoria verbale. L'analisi dello studio longitudinale di Ho, Cheung e Chan (2003) ha fornito una forte evidenza causale, mostrando come i bambini che iniziano o proseguono la pratica musicale migliorino la loro memoria verbale a lungo termine, a differenza di coloro che la interrompono. Lo studio di Hansen et al. (2013), a sua volta, ha confermato un vantaggio nella componente di immagazzinamento della memoria di lavoro verbale *(Digit Span Forward).*

Il trasferimento di abilità al dominio visuo-spaziale è risultato essere il più debole, se non del tutto assente. Sia lo studio di Ho et al. (2003) che quello di Hansen et al. (2013) hanno concluso che non vi sono differenze significative tra musicisti e non musicisti nelle prove di memoria visiva, suggerendo che i benefici cognitivi della musica siano altamente specifici.

È importante tenere in considerazione che questi risultati possano avere un riscontro nell'applicazione pratica: si suggerisce di integrare attività musicali mirate nei protocolli di cura e nei contesti educativi. In clinica, training musicali strutturati (ad es. esercizi ritmici o strumentali adattati) possono essere inseriti nei programmi di riabilitazione cognitiva per rafforzare la memoria a breve termine nei pazienti con traumi cerebrali, post-ictus o declino cognitivo (Ito, E., Nouchi, R., Dinet, J., Cheng, C.-H., Husebø, B. S., & Tohoku University Healthy Aging Research Center., 2022). Nell'istruzione formale, esperienze didattiche che associano concetti da memorizzare a canzoni, ritmi o esercizi musicali (come giochi ritmici curricolari o ore di musica attiva) possono favorire la codifica e il richiamo delle informazioni. Miendlarzewska, E. A., Trost, W. J., & Altenmüller, E. (2014) dimostrano che l'allenamento musicale in ambito scolastico sviluppa la memoria verbale grazie al meccanismo di *ritmic entrainment,* che potenzia l'attenzione temporale e il processamento mnemonico.
Tali approcci sfruttano i meccanismi di sincronizzazione neurale della memoria indotti dalla musica, e sono coerenti con linee guida internazionali che promuovono l'inclusione della musica come strumento trasversale di apprendimento. In sintesi, i risultati recenti indicano che sia in ambito clinico sia educativo la musica può essere utilizzata in modo mirato per potenziare la memoria a breve termine, migliorando gli esiti cognitivi e funzionali dei soggetti coinvolti.

4.2 Interpretazioni teoriche

La spiegazione di questo gradiente di risultati ha alimentato un dibattito scientifico incentrato su due interpretazioni principali, non necessariamente esclusive:

- L'ipotesi della specificità uditiva (Schulze, K., Zysset, S., Mueller, K., Friederici, A. D., & Koelsch, S., 2011): Questa teoria postula che il cuore del vantaggio risieda in un affinamento eccezionale delle aree cerebrali dedicate all'elaborazione uditiva, in particolare della corteccia temporale sinistra. Poiché quest'area è cruciale anche per il linguaggio, l'allenamento a discriminare e memorizzare complesse strutture sonore

musicali si trasferirebbe naturalmente a compiti verbali. La mancanza di un transfer al dominio visivo è la prova più forte a sostegno di questa visione: il beneficio rimane confinato alle modalità sensoriali allenate.

- L'ipotesi del vantaggio cognitivo generale (Bergman Nutley & Klingberg, 2014; Bialystok & DePape, 2009; Ding et al. 2018): Una seconda interpretazione sostiene che la pratica musicale, data la sua intrinseca complessità, agisca come un potente allenamento per le funzioni esecutive di dominio generale: attenzione sostenuta, controllo inibitorio, flessibilità cognitiva e, soprattutto, aggiornamento della memoria di lavoro. Secondo questa visione, i musicisti non sarebbero migliori solo a "sentire", ma a "gestire" le informazioni. Evidenze come la superiore performance dei musicisti nel compito N-back anche con sequenze random (Ding et al., 2018) e l'uso di strategie di raggruppamento (*chunking*) supportano l'idea di un potenziamento dei processi cognitivi centrali, che può essere poi applicato a diversi tipi di materiale.

La visione più probabile è quella integrata: la formazione musicale produce entrambi gli effetti. Da un lato, induce una profonda specializzazione delle reti neurali uditive. Dall'altro, potenzia le funzioni esecutive che orchestrano il comportamento cognitivo. Il vantaggio osservato in un compito specifico dipende quindi da quanto esso pesi su queste due componenti (Herholz & Zatorre, 2012; Talamini et al. 2017).

4.3 Spunti per future ricerche

Nonostante le solide evidenze raccolte, la ricerca in questo campo presenta ancora dei limiti che aprono la strada a promettenti direzioni future.

Vista la complessità dei fenomeni emersi, sono necessari studi ulteriori per chiarire i nessi causali tra allenamento musicale e memoria, nonché estendere la conoscenza ai domini ancora poco esplorati. In primo luogo, occorrono studi longitudinali randomizzati (ad es. assegnazione casuale a training musicale vs controllo attivo) che

seguano gruppi di soggetti nel tempo. I disegni trasversali esistenti non possono escludere del tutto fattori di predisposizione (attitudine innata, supporto familiare, effetto selezione). Studi come quello di Bergman-Nutley et al. (2014) hanno dimostrato che gli sviluppi della memoria sono proporzionali alle ore di pratica, ma è opportuno confermare questi risultati con protocolli che manipolino direttamente la variabile "dose di allenamento". Le ricerche future potrebbero, inoltre, seguire coorti di bambini prima, durante e dopo l'inizio della formazione musicale, confrontandoli con gruppi di controllo attivi (impegnati, ad esempio, in attività sportive o artistiche non musicali).

Le future ricerche dovrebbero avvalersi di tecniche di neuroimaging avanzate multimodali per mappare con maggiore precisione i cambiamenti cerebrali. L'uso combinato di fMRI (per la localizzazione spaziale delle attivazioni) ed EEG/MEG (per l'altissima risoluzione temporale) può aiutare a svelare come e quando le reti neurali dei musicisti funzionano in modo diverso. Lo studio della connettività funzionale, inoltre, potrebbe rivelare come l'allenamento musicale modifichi la comunicazione a lungo raggio tra diverse aree del cervello.

È cruciale, inoltre, fondamentale approfondire l'impatto della musica analizzandone gli effetti nei cosiddetti periodi sensibili dello sviluppo, al fine di ottenere indicazioni preziose sui meccanismi della plasticità cerebrale e orientare in maniera più mirata le politiche educative. Allo stesso modo, risulta cruciale studiarne il ruolo nella senilità, per chiarire in che misura la pratica musicale possa contribuire a rallentare il declino cognitivo legato all'età o essere impiegata come strumento riabilitativo.

Infine, per quanto riguarda le implicazioni pratiche ed educative, la ricerca futura dovrebbe esplorare come diversi metodi di insegnamento musicale possano produrre effetti cognitivi differenti. Un approccio basato sull'improvvisazione, ad esempio, potrebbe potenziare la flessibilità cognitiva in modo diverso rispetto a uno basato sulla meticolosa esecuzione di un repertorio classico. Comprendere queste sfumature permetterebbe di ottimizzare i programmi di educazione musicale non solo per formare musicisti, ma per promuovere lo sviluppo cognitivo in senso più ampio.

Bibliografia

- Piccardi, L., Palmiero, M., & Nori, R. (2024, February 21). The role of sounds and music in emotion and cognition. Brain Sciences, 14(3), 192.
- Chung, Y. H., Shlipak, K. K., & Störmer, V. S. (2025, agosto 1). Fluid intelligence correlates with working memory capacity for both real-world objects and simple-feature stimuli. Journal of Memory and Language, 143, Articolo 104648.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 19, 450–466.
- Baddeley, A. D., Eysenck, M. W., & Anderson, M. C. (2011). La memoria: come funziona e come usarla. Bologna, Italia: Il Mulino.
- Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2003). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. Psychonomic Bulletin & Review, 12, 769–786.
- Cowan, N. (2014). Working memory underpins cognitive development, learning, and education. Educational Psychology Review, 26(2), 197–223.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), The psychology of learning and motivation (Vol. 8, pp. 47–89). Academic Press.
- Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. Psychonomic Bulletin & Review, 12(5), 769–786. https://doi.org/10.3758/BF03196772
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), Recent Advances in Learning and Motivation (Vol. 8, pp. 47–90). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1

- Ramaty, A., & Luria, R. (2018, May 24). Visual working memory cannot trade quantity for quality. Frontiers in Psychology, 9, Article 719. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00719
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. Nature, 390(6657), 279–281. https://doi.org/10.1038/36846
- Zhang, W., & , S. J. (2008, April 2). Discrete fixed-resolution representations in visual working memory. Nature, 453(7192), 233–235. https://doi.org/10.1038/nature06860
- Van den Berg, R., Shin, H., Chou, W. C., George, R., & Ma, W. J. (2012). Variability in encoding precision accounts for visual short-term memory limitations. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(22), 8780–8785. https://doi.org/10.1073/pnas.1117465109
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2001). Storage of features, conjunctions, and objects in visual working memory. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 27(1), 92–114. https://doi.org/10.1037/0096-1523.27.1.92
- Bays, P. M., & Husain, M. (2008). Dynamic shifts of limited working memory resources in human vision. Science, 321(5890), 851–854. https://doi.org/10.1126/science.1158023
- Ma, W. J., Husain, M., & Bays, P. M. (2014). Changing concepts of working memory. Nature Neuroscience, 17(3), 347–356. https://doi.org/10.1038/nn.3655
- Berti, S., Münzer, S., Schröger, E., & Pechmann, T. (2006). Different interference effects in musicians and a control group. Experimental Psychology, 53(2), 111–116. https://doi.org/10.1027/1618-3169.53.2.111
- Talamini, F., Altoè, G., Carretti, B., & Grassi, M. (2017). Musicians have better memory than nonmusicians: A meta-analysis. PLoS ONE, 12(10), e0186773. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186773

- Hojjati, F., Motahharynia, A., Adibi, A., Adibi, I., & Sanayei, M. (2024). Correlative comparison of visual working memory paradigms and associated models. Scientific Reports, 14, Article 20852. https://doi.org/10.1038/s41598-024-72035-5

- Hansen, M., Wallentin, M., & Vuust, P. (2013). Working memory and musical competence of musicians and non-musicians. Psychology of Music, 41(6), 779–793. https://doi.org/10.1177/0305735612452186

- Yurgil, K. A., et al. (2020). Music training, working memory, and neural oscillations: A review. Frontiers in Psychology. Advance online publication. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00266

- Fauvel, B., Groussard, M., Mutlu, J., Arenaza-Urquijo, E. M., Eustache, F., Desgranges, B., & Platel, H. (2015). Musical practice and cognitive aging: Two cross-sectional studies point to phonemic fluency as a potential candidate for a use-dependent adaptation. Frontiers in Aging Neuroscience, 6, 227. Retrieved from arXiv: https://arxiv.org/abs/1502.02804

- Abraham, V. D., Shifres, F., & Justel, N. (2021). Music improvisation enhances neutral verbal and visual memory in musicians and non musicians alike. The Arts in Psychotherapy, 75, 101807. https://doi.org/10.1016/j.aip.2021.101807

- Altenmüller, E., & Schlaug, G. (2015). Apollo's gift: New aspects of neurologic music therapy. Progress in Brain Research, 217, 237–252. https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2014.11.029

- Yurgil, K. A., Velasquez, M. A., Winston, J. L., Reichman, N. B., & Colombo, P. J. (2020). Music training, working memory, and neural oscillations: A

review. Frontiers in Psychology, 11, Article 266. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00266

- Peretz, I., & Zatorre, R. J. (2005). Brain organization for music processing. Annual Review of Psychology, 56, 89–114. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.56.091103.070225

- Münte, T. F., Altenmüller, E., & Jäncke, L. (2002). The musician's brain as a model of neuroplasticity. Nature Reviews Neuroscience, 3(6), 473–478. https://doi.org/10.1038/nrn843

- Elbert, T., Pantev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B., & Taub, E. (1995, October 13). Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. Science, 270(5234), 305–307. https://doi.org/10.1126/science.270.5234.305

- Penhune, V. B. (2011). Sensitive periods in human development: Evidence from musical training. Cortex, 47(9), 1126–1137. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.05.010

- Lahav, A., Saltzman, E., & Schlaug, G. (2007, January 10). Action representation of sound: Audiomotor recognition network while listening to newly acquired actions. Journal of Neuroscience, 27(2), 308–314. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4822-06.2007

- Schellenberg, E. G. (2004). Music Lessons Enhance IQ. Psychological Science, 15(8), 511-514. https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00711.x

- Forgeard, M., Winner, E., Norton, A., & Schlaug, G. (2008, October 29). Practicing a musical instrument in childhood is associated with enhanced verbal ability and nonverbal reasoning. PLoS ONE, 3(10), e3566. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003566

- Groussard, M., La Joie, R., Rauchs, G., Landeau, B., Chételat, G., Viader, F., Desgranges, B., Eustache, F., & Platel, H. (2010). When music and long-term memory interact: Effects of musical expertise on functional and structural plasticity in the hippocampus. PLoS ONE, 5(10), e13225. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013225

- Sluming, V., Barrick, T., Howard, M., Cezayirli, E., Mayes, A., & Roberts, N. (2002). Voxel-based morphometry reveals increased gray matter density in Broca's area in male symphony orchestra musicians. NeuroImage, 17(3), 1613–1622. https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1288

- D'Esposito, M., & Postle, B. R. (2015). The cognitive neuroscience of working memory.

- Annual Review of Psychology, 66, 115–142. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015031

- Ginzburg, J., Cheylus, A., Collard, E., Ferreri, L., Tillmann, B., Moulin, A., & Caclin, A. (2024). Role of the prefrontal cortex in musical and verbal short-term memory: A functional near-infrared spectroscopy study. Imaging Neuroscience (Cambridge), 2, article imag-2-00168. https://doi.org/10.1162/imag_a_00168

- James, C. E., Altenmüller, E., Kliegel, M., Krüger, T. H. C., Van De Ville, D., Worschech, F., Abdili, L., Scholz, D. S., Jünemann, K., Hering, A., Grouiller, F., Sinke, C., & Marie, D. (2020). Train the brain with music (TBM): Brain plasticity and cognitive benefits induced by musical training in elderly people in Germany and Switzerland—a study protocol for an RCT comparing musical instrumental practice to sensitization to music. BMC Geriatrics, 20, Article 418. https://doi.org/10.1186/s12877-020-01761-y

- Koelsch, S., Schulze, K., Sammler, D., Fritz, T., Müller, K., & Gruber, O. (2009). Functional architecture of verbal and tonal working memory: An fMRI study. Human Brain Mapping, 30(3), 859–873. https://doi.org/10.1002/hbm.20550

- Albouy, P., Peretz, I., Bermudez, P., Zatorre, R. J., Tillmann, B., & Caclin, A. (2019). Specialized neural dynamics for verbal and tonal memory: fMRI evidence in congenital amusia. Human Brain Mapping, 40(3), 855–867. https://doi.org/10.1002/hbm.24416

- Jalbert, A., Neath, I., Bireta, T. J., & Surprenant, A. M. (2011). When does length cause the word length effect? Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 37(2), 338–353. https://doi.org/10.1037/a0021804

- Schulze, K., Zysset, S., Müller, K., Friederici, A. D., & Koelsch, S. (2011). Neuroarchitecture of verbal and tonal working memory in nonmusicians and musicians. Human Brain Mapping, 32(5), 771–783. https://doi.org/10.1002/hbm.21060

- Engle, R uck, S. J., & Vogel, E. K. (1997).. W., Kane, M. J., & Tuholski, S. W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence, and functions of the prefrontal cortex. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control (pp. 102–134). Cambridge University Press.

- Montinaro, A. (2017, maggio 8). Musica e cervello. Mito e scienza. Neuroscienze.net. Estratto da https://www.neuroscienze.net/musica-e-cervello-mito-e-scienza/

- Club della Musica. (2018, 1 maggio). Il valore della musica nel processo di crescita dell'individuo. Estratto da Club della Musica: https://www.clubdellamusica.it/il-valore-della-musica-nel-processo-di-crescita-dellindividuo/

- AIRC – Fondazione AIRC per la Ricerca sul Cancro. (2023, luglio 1). Nel cervello di un musicista. Estratto da https://www.airc.it/cancro/informazioni-tumori/non-solo-cancro/salute-mentale/nel-cervello-di-un-musicist

- Saarikivi, K. A., Huotilainen, M., Tervaniemi, M., & Putkinen, V. (2019). Selectively enhanced development of working memory in musically trained children and adolescents. Frontiers in Integrative Neuroscience, 13, Article 62. https://doi.org/10.3389/fnint.2019.00062

- Ireland, K., Iyer, T. A., & Penhune, V. B. (2019, April 25). Contributions of age of start, cognitive abilities and practice to musical task performance in childhood. PLoS ONE, 14(4), e0216119. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216119

- Graziottin, A. (2022, gennaio 16). Come lo studio musicale modifica il cervello: ruolo della predisposizione genetica e della neuroplasticità. Neuroscienze.net. Estratto da https://www.alessandragraziottin.it/it/a_scientific_update.php/Come-lo-studio-musicale-modifica-il-cervello-ruolo-della-predisposizione?ID=31702

- Sacks, O. (2008). Musicofilia. Racconti sulla musica e il cervello (Trad. I. Blum). Milano: Adelphi.

- Hutchinson, S., Lee, L. H., Gaab, N., & Schlaug, G. (2003). Cerebellar volume of musicians.

- Cerebral Cortex, 13(9), 943–949. https://doi.org/10.1093/cercor/13.9.943

- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain structures differ between musicians and non-musicians. Journal of Neuroscience, 23(27), 9240–9245. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-27-09240.2003

- Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., Staiger, J. F., & Steinmetz, H. (1995). Increased corpus callosum size in musicians. Neuropsychologia, 33(8), 1047–1055. https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00045-5

- Bangert, M., & Schlaug, G. (2006). Specialization of the specialized in features of external human brain morphology. European Journal of Neuroscience, 24(6), 1832–1834.

- Herholz, S. C., & Zatorre, R. J. (2012). Musical training as a framework for brain plasticity: Behavior, function, and structure. Neuron, 76(3), 486–502. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.10.011

- Hove, M. J., Fairhurst, M. T., Kotz, S. A., & Keller, P. E. (2013). Synchronizing with auditory and visual rhythms: An fMRI assessment of modality differences and modality appropriateness. NeuroImage, 67, 313–321. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.11.032

- Ho, Y. C., Cheung, M. C., & Chan, A. S. (2003). Music training improves verbal but not visual memory: Cross-sectional and longitudinal explorations in children. Neuropsychology, 17(3), 439–450. https://doi.org/10.1037/0894-4105.17.3.439

- Hansen, M., Wallentin, M., & Vuust, P. (2012). Working memory and musical competence of musicians and non-musicians. Psychology of Music, 41(6), 779–793. https://doi.org/10.1177/0305735612463946

- Ding, Y., Gray, K., Forrence, A., Wang, X., & Huang, J. (2018). A behavioral study on tonal working memory in musicians and non-musicians. PLOS ONE, 13(8), e0201765. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201765

- Ito, E., Nouchi, R., Dinet, J., Cheng, C.-H., Husebø, B. S., & Tohoku University Healthy Aging Research Center. (2022). The effect of music-based intervention on general cognitive and executive functions, and episodic memory in people with mild cognitive impairment and dementia: A systematic review and meta-analysis of recent randomized controlled trials. Healthcare (Basel), 10(8), Article 1462. https://doi.org/10.3390/healthcare10081462

- Miendlarzewska, E. A., & Trost, W. (2014, January 20). How musical training affects cognitive development: rhythm, reward and other modulating variables. Frontiers in Neuroscience, 7, Article 279. https://doi.org/10.3389/fnins.2013.00279