



**UNIVERSITÀ
DI PARMA**

DIPARTIMENTO DI MEDICINA E CHIRURGIA

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

TITOLO DELLA TESI

Studio comportamentale sulle corrispondenze cinetiche intermodali
durante l'esperienza musicale

Relatore:

Chiar.mo Prof. LUCA BONINI

Correlatrice:

Chiar.ma Prof. ANNA KOLESNIKOV

**Laureanda:
SHARON SPEDICATO**

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Sommario

<i>Introduzione</i>	3
1 Capitolo: Meccanismo Mirror	5
1.1 Neuroni mirror nella scimmia	6
1.1.1 Proprietà dei neuroni mirror	6
1.1.2 I neuroni mirror codificano uno scopo	9
1.1.3 Correlati fisiologici del meccanismo per l'azione Mirror nella scimmia	12
1.2 Meccanismo mirror nell'uomo	15
1.2.1 Correlati fisiologici meccanismo mirror nell'uomo	21
1.2.2 Meccanismo Mirror per le emozioni nell'uomo	24
1.2.3 Neuroni mirror: un mezzo per ridefinire il significato dell'azione	27
1.2.4 Il meccanismo mirror nell'uomo e i suoi canali sensoriali	28
2 Capitolo: Corrispondenze cinetiche cross-modali evocate dall'ascolto di stimoli musicali...	30
2.1 Introduzione sulle premesse Teoriche	31
2.1.1 Corrispondenze cross-modali nella musica	32
2.1.2 Corrispondenze cross-modali nell'intonazione e la voce umana	34
2.1.3 CMC e suoni ruotanti	36
2.2 Lo Studio di (Kolesnikov et al., 2021)	37
2.3 Studio 2	44
2.3.1 Materiali e metodi	44
2.4 Risultati	49
2.4.1 Discussione	56
<i>Conclusioni</i>	65
<i>Bibliografia</i>	67
<i>Materiale Supplementare</i>	77

Introduzione

“La musica si muove. E il modo il cui lei si muove ci smuove” (Johnson & Larson, 2003).

La musica è caratterizzata da sequenze di movimento e di suono modellate con precisione, queste sue caratteristiche intrinseche, permettono alla musica di coinvolgere l'uomo in una moltitudine di esperienze (Janata & Grafton, 2003). La musica si rivela uno strumento attraverso il quale si evocano delle emozioni, si celebra la propria cultura, si evocano ricordi ed esperienze sensoriali, questi effetti, rispetto agli altri stimoli del mondo esterno, attribuiscono alla musica un ruolo inedito nel riuscire a raggiungere l'essere umano fino ai livelli più intimi (Leman & Maes, 2014) a volte difficili da decifrare. A livello “superficiale”, è facile riconoscere l'effetto che la musica ha sull'uomo, in quanto “ci muoviamo in risposta alla musica e ci muoviamo per fare musica” (Janata & Grafton, 2003) perché la musica è in primo luogo corpo e movimento. Il filosofo Steven Davies sostiene “ il movimento è sentito nella musica” e che la musica è “vissuta come significativamente simile al comportamento umano” (Davies, 2003), la relazione tra la musica e il movimento corporeo sembra infatti essere indissolubile, osservabile nei neonati già dai primi mesi di vita attraverso l'orientazione del loro sguardo verso una fonte sonora (Adler et al., 2020; Fassbender, 1996). Il coinvolgimento suscitato dalla musica in termini di movimento può essere reale ma anche immaginario. Negli ultimi anni la stretta relazione tra la percezione e movimento alla base dell'esperienza musicale è stata teorizzata dalla teoria della “cognizione musicale incarnata”, questa teoria sostiene che la comprensione della musica avviene attraverso l'imitazione palese o occulta di azioni implicate nella produzione del suono (Cox, 2017). La teoria della cognizione musicale incarnata trova supporto in una crescente letteratura scientifica che si basa su studi comportamentali e di neuroimaging che analizzano i meccanismi neurali alla base dell'esperienza musicale a partire dal funzionamento del meccanismo mirror. L'obiettivo di questa tesi è stato quello di analizzare attraverso uno studio comportamentale, il modo

in cui le caratteristiche acustiche formali influiscono sul movimento percepito attraverso associazioni simulative cross-modali. Nel primo capitolo verrà trattato il meccanismo mirror a partire dalla sua scoperta nella scimmia fino all'uomo, scendendo nel dettaglio delle sue proprietà e del suo ruolo funzionale. Nel secondo capitolo sarà riportato lo studio comportamentale oggetto di indagine di questa tesi, inserendolo all'interno del contesto teorico della cognizione musicale incarnata. Nella prima parte del capitolo saranno argomentate le corrispondenze cross-modali percepite all'ascolto di uno stimolo musicale (Kohn & Eitan, 2009), l'ipotesi della partecipazione mimetica (Cox, 2017) e la teoria ecologica dei suoni rotanti (Hansen & Huron, 2019). Successivamente sarà argomentato sinteticamente lo Studio 1 di (Kolesnikov et al., 2021), in modo da fornire un background funzionale ad introdurre lo studio comportamentale di questa tesi, il quale rappresenta un follow-up nato con l'obiettivo di chiarire e approfondire alcuni confondimenti nati nello precedente. Lo Studio 2 sarà descritto a partire dal suo disegno sperimentale, saranno fornite le informazioni sulle modalità di reclutamento del campione, sul compito sperimentale somministrato, saranno poi discussi i risultati e i limiti della ricerca. Infine nelle conclusioni si tratteranno gli spunti per possibili ricerche future.

1 Capitolo: Meccanismo Mirror

La scoperta dei neuroni mirror risale a circa trent'anni fa, quando sono state indagate le proprietà dei neuroni situati nella parte più rostrale della corteccia premotoria ventrale (area F5) della scimmia (Gallese et al., 1996).

La maggioranza dei neuroni dell'area F5 presenta caratteristiche puramente motorie, in particolare, essi rispondono durante l'esecuzione di atti motori compiuti con due effettori, la mano e la bocca, i quali presentano in quest'area la loro rappresentazione somatotopica¹. Queste popolazioni di neuroni si attivano anche durante l'esecuzione di atti motori più complessi ovvero, che hanno uno scopo (come manipolare, afferrare, strappare, ecc.) e presentano in alcuni casi delle selettività per il tipo di effettore coinvolto o per la configurazione dell'atto (Rizzolatti et al., 1988). Sempre nell'area F5, a questa categoria di neuroni, si aggiungono due categorie di neuroni visuo-motori, le quali conservano le stesse proprietà funzionali motorie differenziandosi però per delle peculiarità che riguardano la componente visiva. Una categoria è rappresentata dai neuroni canonici, sulla parte posteriore del solco arcuato inferiore, area F5ab, i quali rispondono alla presentazione di un oggetto, in quanto esso, per le sue caratteristiche estrinseche come forma e dimensione, evoca uno specifico repertorio motorio necessario per la prensione dell'oggetto. L'altra categoria di neuroni, localizzata nella convessità dorsale, area F5c, è quella dei mirror, definiti in questo modo perché si attivano quando una scimmia osserva un'azione compiuta da un altro agente (Rizzolatti et al., 2002).

¹ Rappresentazione somatotopica: mappatura sistemica, spazialmente organizzata che detiene il controllo di diverse parti del corpo corrispondenti a specifiche aree della corteccia motoria. Tale rappresentazione è stata ottenuta attraverso studi di stimolazione corticale tali da produrre dei movimenti osservabili nella parte del corpo controlaterale alla stimolazione, questo ha permesso di ottenere una mappa somatotopica prima nella scimmia dal gruppo di Woolsey, e poi nell'uomo dal gruppo di Penfield (Schieber, 2001).

1.1 Neuroni mirror nella scimmia

1.1.1 Proprietà dei neuroni mirror

Gli studi condotti sulle proprietà dell'area F5 (Rizzolatti et al., 1988), hanno fornito una base scientifica che, pochi anni dopo, ha condotto alla scoperta di neuroni con una risposta singolare (di Pellegrino et al., 1992). Si tratta di una risposta alquanto specifica registrata non solo quando la scimmia svolgeva azioni guidate da uno scopo, ma anche quando osservava lo sperimentatore eseguire un'azione simile. Alcuni anni dopo queste cellule sono state denominate "neuroni mirror" (Gallese et al., 1996), tale denominazione è funzionale a sottolineare la capacità del sistema motorio di attivarsi in risposta all'osservazione di azioni eseguite dagli altri individui, reclutando gli stessi gruppi neurali coinvolti sia nella nell'esecuzione diretta che nell'osservazione dell'atto.

Le registrazioni² effettuate su due primati non umani (macaca nemestrina) hanno permesso di approfondire le proprietà visuo-motorie dei neuroni mirror. Partendo dalla componente visiva, è stato riscontrato che i neuroni mirror scaricano quando la scimmia osserva un altro agente compiere un'azione manuale (che sia un'altra scimmia o lo sperimentatore) e non rispondono alla sola presentazione di un oggetto, differenziandosi così dai neuroni canonici. L'unico stimolo visivo efficace per evocare una risposta era l'interazione mano-oggetto, in quanto l'osservazione di un atto compiuto tramite un effettore non biologico (come un utensile) o la pantomima dell'atto produce una risposta molto debole se non del tutto assente (Fig. 1.1).

² Registrazione: I singoli neuroni sono stati registrati utilizzando microelettrodi di tungsteno (impedenza 0,5-1,5 M Ω , misurata a 1 kHz) inseriti attraverso la dura madre. L'attività neuronale è stata amplificata e monitorata con un oscilloscopio. I singoli potenziali d'azione sono stati isolati con un time-voltage discriminator e la maggior parte dei neuroni sono stati costruiti istogrammi di risposte visive e motorie. Utilizzando un circuito di rilevamento dei contatti, veniva inviato un segnale a un PC ogni volta che la scimmia o lo sperimentatore toccavano una superficie metallica con le mani. Questo segnale ha permesso di allineare gli istogrammi con il momento in cui si concludeva l'azione motoria eseguita dallo sperimentatore o dalla scimmia. Gli istogrammi di risposta sono stati costruiti sommando otto o dieci prove individuali(Gallese et al., 1996).

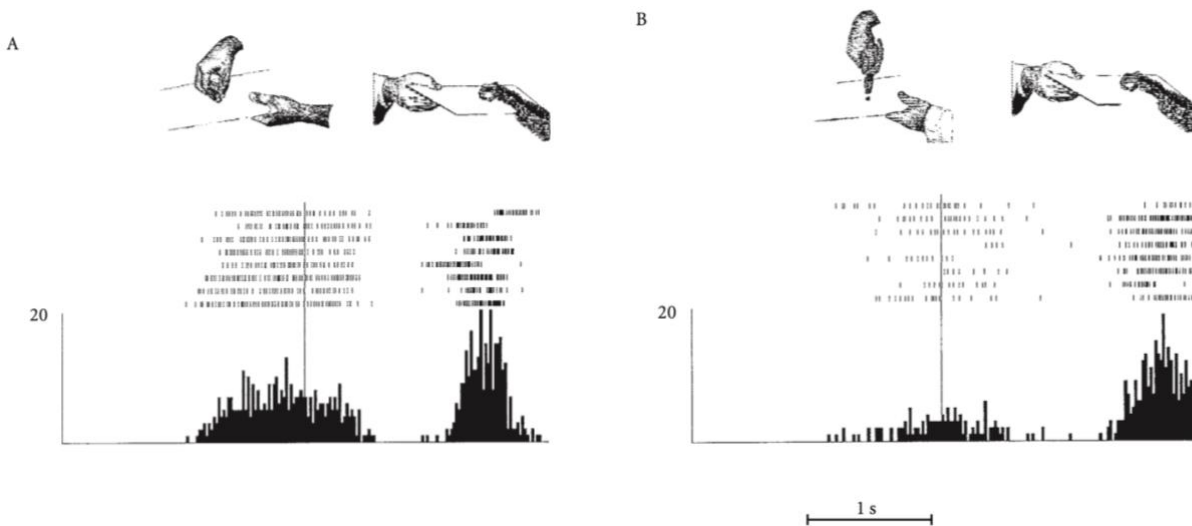


Figura 1.1 L'immagine fornisce un esempio della risposta dei neuroni mirror nella condizione visiva e motoria, nello specifico, nella parte superiore viene riportata l'azione eseguita e osservata dalla scimmia (dove l'agente è lo sperimentatore) in associazione, in associazione, nella parte inferiore, è fornita una rappresentazione schematica, rappresentata dagli istogrammi, della risposta dei neuroni in termini di potenziali d'azione. (A) Nella prima parte lo sperimentatore afferra il pezzo di cibo per poi rivolgere il vassoio alla scimmia che mette in atto la stessa azione. Dall'istogramma è evidente che si registra una scarica in relazione all'osservazione dell'afferramento compiuto dallo sperimentatore, così come accade al momento dell'azione eseguita dalla scimmia. Tra i due momenti, non si evidenzia nessuna risposta, questo suggerisce che non si tratta di un'attività neuronale finalizzata alla preparazione di un atto, è una risposta che detiene delle caratteristiche differenti. (B) In questa condizione, come in A, nella condizione visiva la scimmia osserva l'afferramento del cibo tramite un effettore non biologico, dai raster degli istogrammi si evidenzia solo una debole attività al momento dell'interazione tra la pinza e l'oggetto, al contrario invece, nella condizione motoria, la risposta è molto forte (Gallese et al., 1996).

Si è evidenziato che la risposta di questa tipologia di neuroni, in generale, è indipendente dalla distanza e dalla posizione in cui viene svolta l'azione osservata, mentre una percentuale di neuroni riporta una modulazione in funzione della direzione dell'azione osservata e della mano utilizzata dall'agente (Gallese et al., 1996).

Nel lavoro di (Gallese et al., 1996) analizzando le risposte dei neuroni mirror in F5, sono stati individuati 92 neuroni rispondenti all'osservazione di azioni manuali, questi sono stati poi suddivisi in categorie in base alla codifica dell'azione osservata. Complessivamente è emersa una correlazione tra le azioni codificate dai neuroni in base alla componente visiva e le azioni verso le quali i neuroni puramente motori di F5 mostravano una preferenza (azioni come afferrare, trattenere, manipolare ecc.)(Rizzolatti et al., 1988). Dalla classificazione stilata (Fig.1.2) si evidenzia che più della metà dei neuroni mirror risponde all'osservazione di una specifica azione, mentre la restante parte risponde all'accoppiamento di due o più azioni.

Figura 1.2 Categorie di neuroni mirror, differenziate in base alle risposte ottenute all’osservazione di atti motori efficaci svolti dalla mano dell’agente (Gallese, 2002).

Observed hand actions	No. of neurons
Grasping	30
Placing	7
Manipulating	7
Hands interaction	5
Holding	2
Grasping/Placing	20
Grasping/Manipulating	3
Grasping/Hands interaction	3
Grasping/Holding	5
Grasping/Grasping with the mouth	3
Placing/Holding	1
Hands interaction/Holding	1
Grasping/Placing/Manipulating	1
Grasping/Placing/Holding	4
Total	92

In generale, l’atto di afferramento, considerato nella sua unicità o associato ad altri atti motori, risulta essere il più efficace nel produrre una risposta in termini di potenziali d’azione e per alcuni neuroni, la configurazione della presa osservata in riferimento allo stesso atto quando eseguito, costituisce un criterio di selettività nella risposta. Queste risposte visive sono congruenti con le risposte motorie ed è proprio questo tipo di corrispondenza che permette di identificare un neurone mirror. Tale “risonanza” è stata inoltre interpretata come una mappatura automatica di tipo atto motorio che si attiva ogni volta che si osserva un altro agente compiere un’azione, permettendone così la codifica. In virtù di questa corrispondenza, dal confronto delle risposte neuronali, i risultati hanno portato a fornire una distinzione tra neuroni definiti “strettamente congruenti” e “congruenti in senso lato” (Gallese et al., 1996). I primi sono neuroni che rispondono quando vi è una precisa congruenza tra l’azione osservata e l’azione compiuta, questa corrispondenza non fa riferimento solo allo scopo dell’azione ma si riferisce anche ad aspetti più dettagliati (come ad esempio la configurazione della mano o il tipo di presa). I neuroni strettamente congruenti rappresentano circa il 30% dei neuroni mirror in F5. I neuroni congruenti in senso lato sono rappresentati invece da una percentuale più alta, circa il 60%. In questo caso il requisito necessario per produrre una risposta, fa riferimento ad una congruenza legata ad una componente causale, dove non contano i mezzi o le modalità con le quali vengono svolte le azioni, quanto piuttosto il fine, lo scopo che viene raggiunto nell’azione. Il restante

10% dei neuroni mirror, non ha riportato una risposta significativa sulla relazione tra componente visiva e motoria.

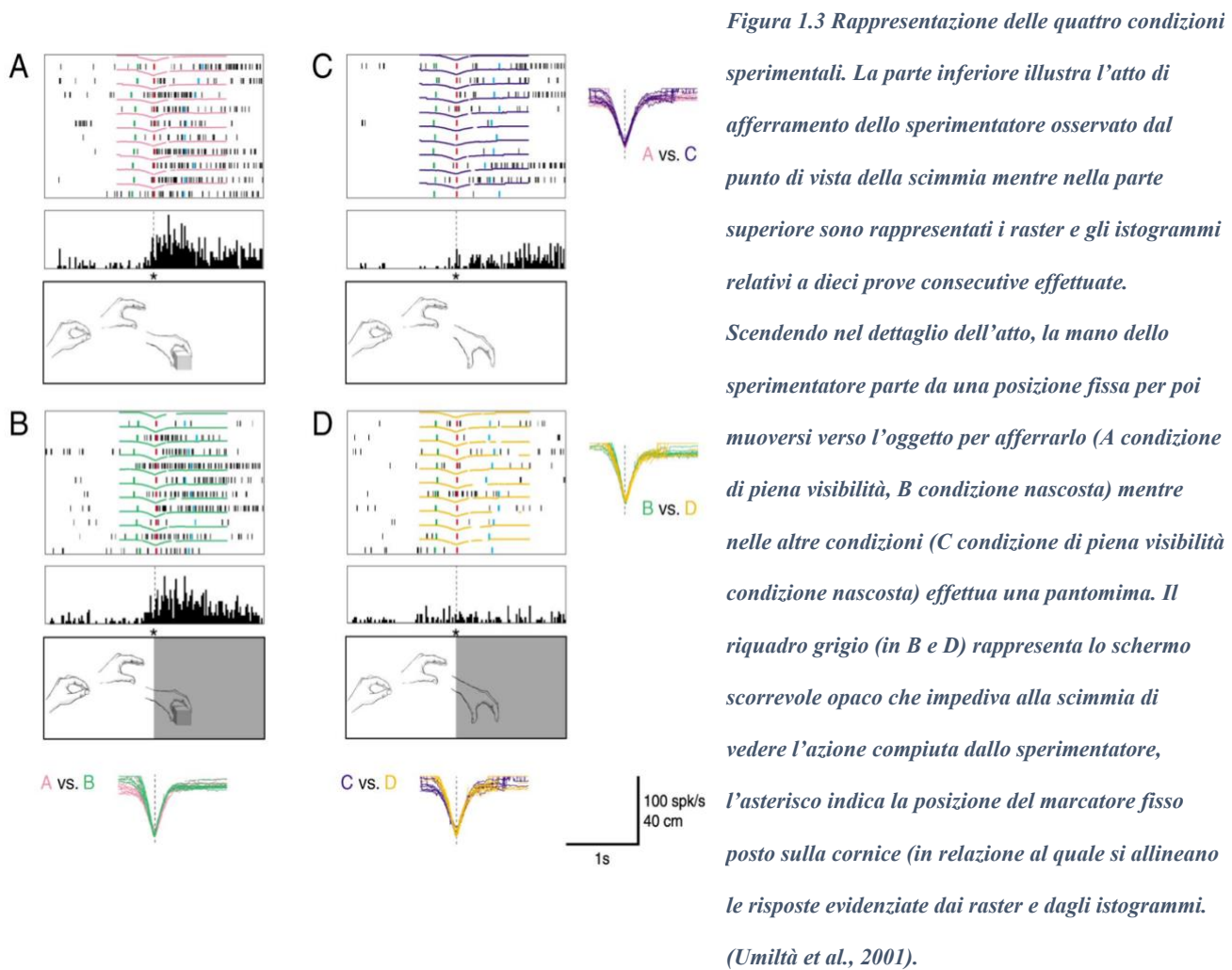
1.1.2 I neuroni mirror codificano uno scopo

Un aspetto interessante dei neuroni mirror è che essi abbiano una risposta visiva considerato che si tratta di neuroni situati in un'area premotoria. Quando si parla di codifica dei neuroni mirror non si può ricondurre tutto a questo canale sensoriale per due ragioni: la prima è che la componente visiva prende parte al sistema mirror fornendo un feedback sensoriale funzionale a mappare un'informazione di dominio motorio, la seconda è che è stato dimostrato che l'input visivo non è il solo canale sensoriale in grado di evocare questo tipo di risposta funzionale.

Nello studio di (Umiltà et al., 2001) è stata analizzata la risposta dei neuroni mirror di F5 nella scimmia in un paradigma che comprendeva quattro condizioni differenti.

In due condizioni sperimentali la scimmia osservava lo sperimentatore afferrare un oggetto posto su un piano a partire da una condizione stazionaria, le due condizioni differivano per il fatto che mentre nella prima erano visibili tutte le fasi dell'afferramento (condizione di piena visibilità) nella seconda è stato utilizzato uno schermo scorrevole opaco per oscurare il momento dell'interazione mano-oggetto (condizione nascosta). Nelle altre due condizioni è stato testato lo stesso atto senza l'oggetto, quindi è stata effettuata una pantomima dell'afferramento (anche in questo caso sia nella condizione di piena visibilità sia nella condizione oscurata). I risultati analizzati, fanno emergere una risposta evidente e molto simile in termini di intensità e temporizzazione per le due condizioni sperimentali, in presenza dell'oggetto, mentre non si rintraccia nessuna risposta significativa per le condizioni di pantomima (Fig.1.3). I risultati permettono di enfatizzare due aspetti sostanziali: in primo luogo, la condizione di afferramento oscurata evoca la stessa risposta della condizione di piena visibilità, questo implica che anche in assenza della completa componente visiva la scimmia, è in grado di compensare le informazioni mancanti facendo riferimento al proprio "vocabolario motorio" (Fadiga

et al., 2000) ricostruendo ciò che non riesce a vedere. In secondo luogo, la mancata risposta nelle due condizioni di pantomima è una riprova del fatto che i neuroni mirror rispondono solo ad atti efficaci e che la scimmia, in questo caso sembra “sapere” che non è presente nessun oggetto oltre al pannello e per tale ragione questa condizione non ha comportato nessuna risposta. Questo permette di dimostrare che la codifica dei neuroni mirror non si basa esclusivamente descrizione visiva dell’azione ma codifica lo scopo in funzione dell’atto.



In un altro studio (Kohler et al., 2002) è stato dimostrato che una parte dei neuroni mirror risponde in modo selettivo all’esecuzione di una specifica azione (come ad esempio strappare un foglio di carta, rompere un bastoncino di legno oppure rompere una nocciolina), l’aspetto nuovo è che essi rispondono anche alla visione e al suono delle azioni verso le quali presentano una selettività motoria, non riportando invece una risposta significativa alla presentazione di suoni di controllo che non hanno

nessun legame con l'azione (vocalizzazioni di un co-specifico, rumore bianco o un semplice click, Fig. 1.4). L'aspetto che interessa maggiormente è che questi neuroni sono in grado di abbinare il suono e la visione delle azioni altrui al repertorio motorio mappato della scimmia stessa, favorendo il riconoscimento dell'azione osservata. Questo non fa altro che fornire supporto all'ipotesi sul funzionamento del meccanismo mirror: si riconoscono le azioni compiute da un altro agente attraverso l'attivazione di una rappresentazione interna dell'azione. È stato quindi dimostrato che l'input visivo non è il solo canale sensoriale in grado di attivare il sistema mirror, ma ad esso può essere associato, o considerato in modo indipendente, anche il canale acustico e dall'analisi della popolazione di neuroni audio-visivi analizzata è emerso che vi è una risposta più forte quando i due canali sensoriali sono associati. In altre parole, i neuroni mirror audiovisivi rispondono a tre input, di

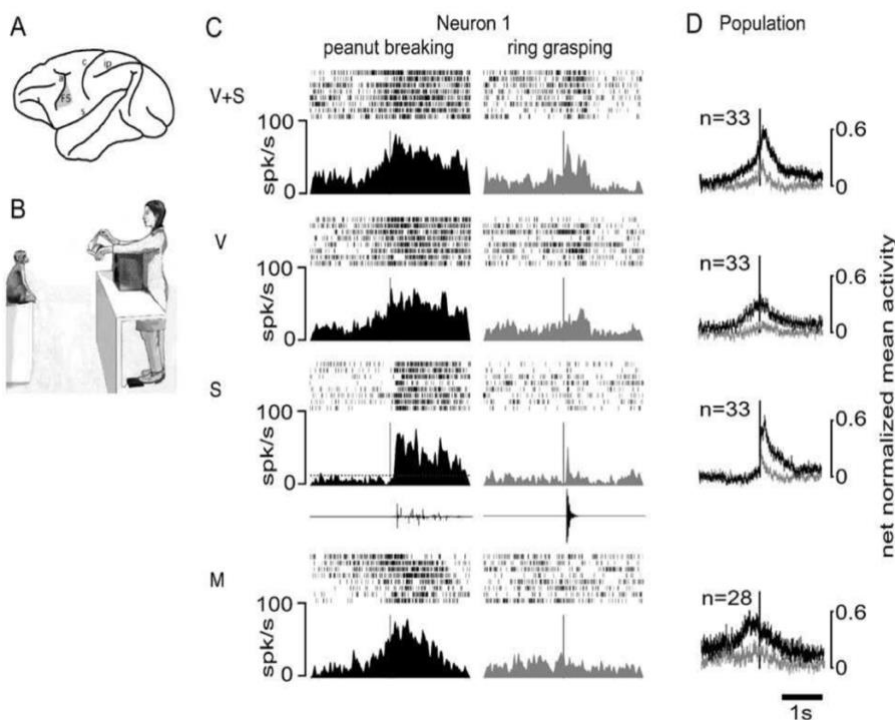


Figura 1.4 In A vi è la rappresentazione del cervello, vista lateralmente, l'area F5 è evidenziata in grigio (sono rappresentati anche i solchi principali: arcuato (a), centrale (c), intra parietale (ip) e Silviano (s)). B rappresenta la condizione sperimentale, dove la scimmia era disposta davanti allo sperimentatore. C viene riportato come esempio di neurone audio-visivo il neurone 1 del quale si possono osservare le risposte riportate negli istogrammi (in nero l'azione verso la quale i neuroni esprimono una preferenza, in grigio l'azione meno preferita). Per le due azioni sono riportate le risposte nelle condizioni di: visione e suono (V+S), solo visione (V), solo suono (S) e motoria (M). In particolare, il neurone 1 si osserva che scarica quando la scimmia rompe la nocciolina (M) mentre non accade lo stesso all'afferramento di un anello, dimostrando così una specificità per la prima azione. Si osservano in relazione all'osservazione della rottura della nocciolina da parte dello sperimentatore (in V+S, in V e S, nei primi due casi la scarica aumenta progressivamente a partire dall'inizio dell'azione, mentre per il solo suono si vede in particolare che l'inizio della scarica neuronale coincide con la linea grigia, che rappresenta il momento il cui ha inizio il suono). In D vengono riportate le risposte medie della popolazione di 33 neuroni testati in funzione del tempo relativo alla latenza iniziale della risposta acustica, segnalato dalla linea verticale. La condizione che ha prodotto una risposta più forte è quella associata alla presentazione combinata delle due condizioni sensoriali (Keysers et al., 2003).

cui uno è motorio e gli altri due sono di natura sensoriale, grazie ai quali è possibile ricavare il significato, nonché lo scopo dell'azione osservata.

Un altro studio che permette di dimostrare che i neuroni mirror codificano lo scopo di atti motori è quello di Umiltà et al., (2008). In questo esperimento è stato chiesto alla scimmia di raggiungere un determinato obiettivo, ovvero afferrare un pezzo di cibo utilizzando due tipologie di pinze: una con una presa normale l'altra invece era una pinza a presa inversa, in questo caso l'apertura della mano permetteva il raggiungimento dell'obiettivo. Quello che si è osservato dai risultati è che vi era una risposta indipendentemente dal tipo di presa e ha permesso di confermare che la codifica dei neuroni di F5 avviene verso lo scopo dell'atto.

1.1.3 Correlati fisiologici del meccanismo per l'azione Mirror nella scimmia

La proprietà fondamentale di questo sistema è la corrispondenza tra azione osservata ed eseguita da un altro agente, proprio questa peculiarità ha portato ad avanzare l'ipotesi che si tratti di un meccanismo correlato alla comprensione delle azioni altrui. Ma trattandosi di un'area premotoria, risulta necessario risalire all'origine di questa proprietà strettamente legata al dominio visivo facendo riferimento alla sua localizzazione anatomica e considerando l'esistenza di possibili connessioni con aree specializzate in un'analisi di natura visiva.

Trattandosi di aree coinvolte in questo tipo di analisi, ci sono state delle evidenze che hanno portato ad ipotizzare che l'origine di questo tipo di informazione partisse da aree di ordine superiore come il solco temporale superiore (STS), il solco che separa la circonvoluzione temporale superiore dalla circonvoluzione temporale media, in quanto è stato dimostrato che i neuroni di quest'area rispondono alla presentazione di volti e movimenti biologici (come la manipolazione, l'afferramento ecc.) ma questa risposta rimane ad un livello puramente visivo, considerato che si tratta di un'area priva di proprietà motorie (Perrett et al., 1982; Barraclough* et al., 2005).

L'area STS però non è connessa con F5, ma presenta delle connessioni con due aree parietali: PFG (inferior parietal area), situata nel lobo parietale posteriore, e AIP (anterior intraparietal area), area situata nella parte anteriore del solco intra parietale. Queste aree oltre a veicolare le informazioni visive provenienti dall'area temporale sono reciprocamente connesse con F5 (in particolare PFG è collegata con F5c situata nella convessità dorsale e AIP con F5a, area posta sul banco posteriore del solco arcuato inferiore) e presentano neuroni con proprietà funzionali in linea con il sistema mirror (Rizzolatti & Sinigaglia, 2010). In particolare nell'area AIP sono presenti delle classi di neuroni a dominanza visiva e motoria, proprietà che forniscono un contributo fondamentale al circuito esistente con F5 un circuito diretto alla trasformazione visuo-motoria di atti svolti con la mano (Rizzolatti & Luppino, 2001) e inoltre, sempre l'area AIP, presenta delle connessioni con la corteccia temporale inferiore (area che potrebbe fornire alle aree mirror informazioni riguardanti l'identità dell'oggetto) con le aree parietali inferiori, con l'insula (un'area collegata al sistema limbico) e la corteccia prefrontale ventrale.

Originariamente la parte posteriore del lobo parietale è stata considerata un'area associativa, quindi un'area nella quale si integrano le afferenze di due o più canali sensoriali, successivamente è stato dimostrato che quest'area partecipa alla codifica degli atti motori fornendo informazioni sensoriali specifiche. Le proprietà di PFG sono state infatti analizzate in relazione allo studio sui neuroni del lobulo parietale inferiore (IPL) dove è stato scoperto che esiste un'organizzazione somatotopica motoria, in particolare nel distretto PF e PFG sono rappresentati gli atti svolti dalla mano e dalla bocca. L'aspetto che evidenzia maggiormente le connessioni esistenti tra quest'area e F5, è che già a questo livello sono presenti delle tracce del sistema mirror, in quanto questi neuroni parietali scaricano sia quando la scimmia esegue direttamente l'azione, sia quando osserva un altro agente fare lo stesso e questo ha portato a definirli "neuroni mirror parietali" (Fogassi et al., 2005).

Nonostante i tre settori di F5 (F5a, F5c già citati ed F5p posta nella parte più posteriore) abbiamo tutti delle connessioni con IPL, solo F5a presenta una connessione con la corteccia prefrontale ventro-laterale VLFC (Rozzi et al., 2018) e con l'area premotoria mesiale, pre-supplementare F6, queste due

aree forniscono un contributo importante al sistema mirror, in quanto la prima seleziona le azioni autogenerate e osservate su un altro agente e partecipa al meccanismo di elaborazione e di presa di decisione sugli atti da svolgere, la seconda rappresenta un ponte cruciale, situato dorsalmente, che permette il passaggio delle informazioni dalle regioni prefrontali alle premotorie ventrali, consente la trasformazione di azioni potenziali in movimenti effettivi ponderando l'inizio del movimento sulla base di informazioni contestuali e intenzionali (Livi et al., 2019).

Le aree appena descritte costituiscono il circuito parieto-premotorio, il quale comprende i nodi del sistema mirror (Fig.1.5). Tuttavia, anche se la maggior parte delle risposte registrate sui neuroni mirror riporta una risposta facilitatoria sia nell'esecuzione che nell'osservazione (quindi si rintraccia un aumento di scarica in termini di potenziali d'azione), è necessario specificare che in alcuni studi (Kraskov et al., 2009) sui neuroni del tratto piramidale è stato riscontrato che essi possono presentare una risposta di "soppressione" nella condizione visiva. Queste due classi di neuroni specchio possono agire indipendentemente o far parte dello stesso circuito funzionale, si è ipotizzato che la risposta facilitatoria sia correlata al meccanismo di "risonanza motoria" dove chi osserva l'atto rispecchia in termini di attività dei motoneuroni l'atto compiuto da un altro agente, mentre quella inibitoria potrebbe essere collegata ad un meccanismo di disfacilitazione dei motoneuroni al momento dell'osservazione, con l'obiettivo di inibire la riproduzione di quanto osservato. L'aspetto interessante è che un meccanismo simile, è stato identificato anche nei neuroni corticali della corteccia motoria primaria, M1 (Vigneswaran et al., 2013).

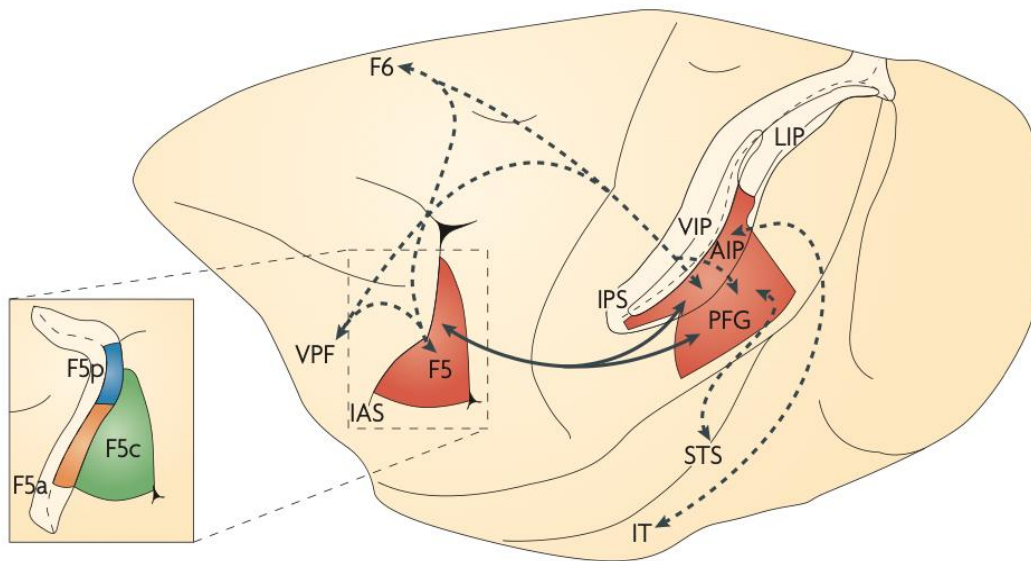


Figura 1.5 Cervello del macaco visto lateralmente. Le aree coinvolte nel circuito mirror parieto-frontale sono quelle colorate. L'area F5 rappresenta la corteccia premotoria ventrale (della quale è riportata in basso a sinistra una sua immagine allargata con la differenziazione dei suoi settori. Sono anche riportate: l'area PFG nel lobulo parietale inferiore, posta tra PF e PG, l'area AIP nella parte anteriore del solco intra parietale (IPS) il quale è stato rappresentato aperto e di un giallo più chiaro. Il circuito parieto-frontale riceve informazioni visive da STS, il solco temporale superiore e da IT, il lobo temporale inferiore. Questo circuito parieto-frontale è controllato dal lobo frontale (area F6 e corteccia prefrontale ventrale, VPF) (Rizzolatti & Sinigaglia, 2010).

1.2 Meccanismo mirror nell'uomo

Quando si parla del meccanismo mirror nell'uomo, è lecito ricordare che le analisi effettuate non possono essere sempre paragonate a livello metodologico a quelle effettuate nella scimmia. Se non in casi eccezionali (come nel caso dei pazienti neurochirurgici) nell'uomo la registrazione dell'attività cerebrale non si spinge fino al singolo neurone, ma si utilizzano tecniche meno invasive come quelle di neuro-imaging o la stimolazione magnetica transcranica che offrono comunque dei risultati con elevata attendibilità.

Di seguito sono riportate le evidenze sull'esistenza del meccanismo mirror nell'uomo tramite l'utilizzo di diverse tecniche.

La prima evidenza diretta è stata raggiunta grazie a uno studio di stimolazione magnetica transcranica (TMS)³ (Fadiga et al., 1998). Partendo dalla premessa che nell'uomo il sistema mirror potesse essere presente in un'area omologa a F5 della scimmia, gli sperimentatori hanno avuto l'intuizione di utilizzare la TMS per studiare indirettamente l'attività dell'area premotoria durante l'osservazione di atti motori. Questa analisi indiretta è stata basata sull'ipotesi secondo la quale al momento dell'osservazione di un'azione i neuroni dell'area premotoria eccitano sotto soglia i neuroni di F1, tale eccitazione essendo debole non permette la rilevazione di un movimento. Per tale ragione è stato pensato che la stimolazione tramite TMS sull'area motoria (associata ad una registrazione elettromiografica⁴) potesse apportare un aumento dell'attività eccitatoria tale da poter essere registrata tramite i MEPs (motor evoked potential). Nello specifico l'esperimento è stato svolto presentando ad un gruppo di soggetti video di azioni svolte con la mano, a questi sono stati associati dei video di controllo per escludere che le risposte registrate fossero correlate ad altre componenti. La prima condizione è stata la sola osservazione di un oggetto, la seconda condizione consisteva in un compito attenzionale, dove il partecipante doveva osservare e riferire allo sperimentatore le variazioni d'intensità di un punto luminoso, mentre nella terza condizione i soggetti hanno osservato dei movimenti compiuti con il braccio i quali seguivano traiettorie complesse. Durante l'osservazione veniva stimolata una specifica area di F1 nell'emisfero di sinistra, ovvero quella corrispondente alla rappresentazione della mano, a questo è stato associato alla registrazione elettromiografica dei muscoli della mano controlaterale alla stimolazione, nello specifico due muscoli intrinseci (muscolo estensore e flessore delle dita) e due estrinseci (il primo interosseo e l'opponente del pollice). Dai

³La stimolazione magnetica transcranica (TMS) è una tecnica di stimolazione non invasiva. La stimolazione è prodotta generando un campo magnetico ad alta intensità facendo passare una breve corrente elettrica attraverso una bobina magnetica. Il campo può eccitare o inibire una piccola area del cervello sotto la bobina. Tutte le parti del cervello appena sotto il cranio possono esserne influenzate, ma la maggior parte degli studi sono stati effettuati sulla corteccia motoria per osservare la risposta alla stimolazione in modo da osservare il movimento di un'articolazione, quando viene utilizzata in questi termini, spesso è associata alla registrazione muscolare tramite elettromiografia e ciò che viene prodotto è un motor evoked potential (MEP). La tecnica può essere utilizzata per mappare la funzione cerebrale ed esplorare l'eccitabilità di diverse regioni questo ha permesso di mappare molte funzioni sensoriali, motorie e cognitive (Hallett, 2007).

⁴ Registrazione elettromiografica (EMG): registra la somma dei contributi elettrici prodotti dalle unità motorie attive rilevate dagli elettrodi posti sulla pelle sovrastante al muscolo (Farina et al., 2014).

risultati ottenuti in risposta all'osservazione dei video è stata registrata l'attività solo dei muscoli estrinseci. Per testare la componente motoria, è stata registrata l'attività elettromiografica dei muscoli estrinseci durante lo svolgimento dello stesso compito osservato, e anche in questo caso è stata registrata un'attività per entrambi i muscoli (è stata anche testata la condizione di elevazione del braccio ma in questo caso si è registrata la sola attività del primo interosseo). La corrispondenza dell'attività nelle condizioni di osservazione ed esecuzione ha dimostrato l'esistenza del meccanismo mirror per l'osservazione di azioni di mano anche nell'uomo.

In un altro studio è stato possibile localizzare le aree attive durante l'osservazione e l'esecuzione di atti di afferramento tramite l'utilizzo della tomografia ad emissione di positroni (PET)⁵ (Rizzolatti et al., 1996). L'esperimento includeva tre condizioni: osservazione ed esecuzione di un atto di afferramento e la sola presentazione di un oggetto. Dai risultati è emerso che l'osservazione dell'afferramento produce un'attivazione significativa del giro temporale medio, includendo l'area del solco temporale superiore adiacente (area 21 di Brodmann) e l'area caudale del giro frontale inferiore sinistro (area 45 di Brodmann). Nello stesso anno è stato condotto un esperimento che confermava il coinvolgimento delle stesse aree con l'aggiunta di attivazioni più specifiche, soprattutto in relazione alla richiesta di immaginare di eseguire l'atto motorio piuttosto che svolgerlo direttamente (Grafton et al., 1996).

L'osservazione dell'afferramento ha confermato l'attivazione dell'area 45, ma non solo, a questa si sono aggiunte: la corteccia parietale inferiore di sinistra nella parte rostrale (area 40), la parte rostrale dell'area motoria supplementare di sinistra (SMA proper), e la corteccia premotoria dorsale di destra. Nella condizione di immaginazione le aree coinvolte sono state la corteccia frontale inferiore di sinistra (area 44), anche in questo caso si è evidenziata un'attivazione dell'area SMA ma con un'estensione maggiore e la corteccia premotoria dorsale di sinistra.

⁵ Tomografia ad emissione di positroni (PET): è una potente tecnica di imaging che consente la quantificazione non invasiva del flusso sanguigno cerebrale essa fornisce informazioni funzionali, determinando le aree attive durante il compito analizzato (Tai & Piccini, 2004).

Le analisi sul meccanismo mirror nell'uomo tramite l'elettroencefalografia (EEG)⁶ si sono basate su un particolare tipo di marker: la desincronizzazione del ritmo Mu. Questo marker rappresenta l'attenuazione della potenza del segnale EEG nella gamma di frequenza alfa registrata sulla parte centrale del cuoio capelluto, area che riflette l'attivazione della corteccia motoria (Debnath et al., 2019). Si ritiene che queste oscillazioni EEG nella frequenza mu (8-13 Hz) riflettano l'attività del meccanismo mirror sia quando il soggetto svolge un'azione sia quando la osserva (Oberman et al., 2005). Diverse sono le evidenze a riguardo, nello studio di (Muthukumaraswamy et al., 2004) si è riscontrato che l'entità della desincronizzazione del ritmo Mu era significativamente maggiore nella condizione di osservazione di una presa rispetto alla sua pantomima e alla visione di una mano ferma, suggerendo che le azioni non efficaci possano portare a schemi rappresentativi meno salienti rispetto ad azioni che implicano l'interazione con un oggetto. Inoltre, sono stati condotti diversi esperimenti su soggetti in età infantile (Fecteau et al., 2004; Lepage & Théoret, 2006; Southgate et al., 2010) con l'obiettivo di verificare se il meccanismo mirror potesse essere un meccanismo presente già dalla nascita, anche in questo caso il marker di riferimento è stato la desincronizzazione del ritmo Mu durante l'osservazione e l'esecuzione di azioni di afferramento (nel caso dei bambini spesso si trattava di giocattoli). I risultati hanno dimostrato l'esistenza del meccanismo mirror già in età precoce (a partire da circa 6-9 mesi) questo suggerisce che questo meccanismo è presente fin dalla nascita e che con la crescita va incontro ad un processo di perfezionamento (Lepage & Théoret, 2006; Marshall & Meltzoff, 2011; Nyström et al., 2011). Questa evidenza è stata inoltre utilizzata per studiare le basi neurali di alcuni aspetti dello spettro autistico già in età infantile (Oberman et al., 2005).

⁶ Elettroencefalografia (EEG): è una tecnica non invasiva che implica l'utilizzo di un dispositivo elettronico (elettrodo) in grado di misurare i segnali elettrici del cervello creati dall'attività dei grandi gruppi di neuroni. Tale registrazione misura le piccole fluttuazioni della corrente elettrica tra la pelle e l'elettrodo, amplificando la corrente elettrica ed effettuando diversi tipi di filtraggio (Soufineyestani et al., 2020).

Rispetto alle altre tecniche la risonanza magnetica funzionale (fMRI)⁷ fornisce delle informazioni più precise sulla localizzazione dell'attività cerebrale grazie alla sua buona accuratezza temporale e alla sua alta risoluzione spaziale.

Nello studio di (Iacoboni et al., 1999) si sono analizzate le aree attive durante un compito di osservazione e imitazione⁸ di movimenti delle dita della mano, testando l'ipotesi di una "corrispondenza diretta" tra l'osservazione dell'azione e la sua rappresentazione motoria corticale. Questa ipotesi è stata supportata dall'attivazione comune alle due condizioni di due aree: corteccia frontale inferiore di sinistra e la regione più rostrale del lobulo parietale superiore destro. L'attivazione della corteccia frontale inferiore di sinistra (area 44 di Brodmann, l'area legata all'elaborazione del linguaggio e attiva per atti intransitivi) è stata riscontrata anche nello studio di (Nishitani & Hari, 2000) durante l'osservazione e l'esecuzione di azioni manuali.

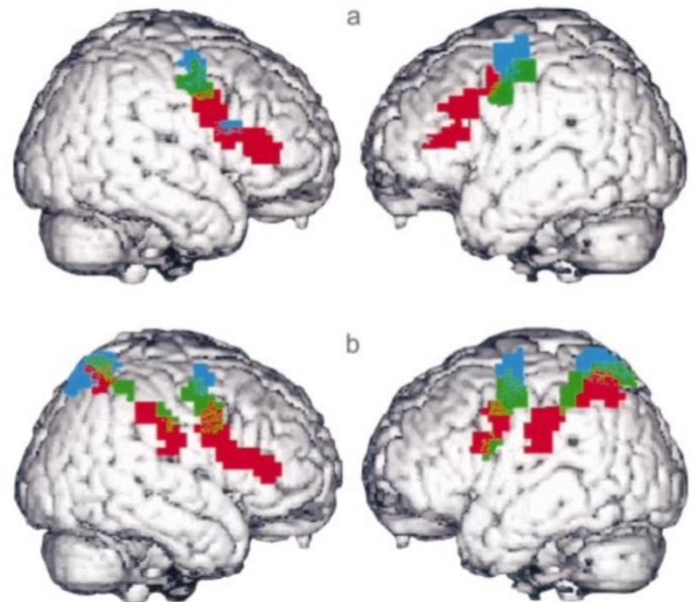
Lo studio di (Buccino et al., 2001) ha permesso di evidenziare che l'osservazione di atti motori finalizzati eseguiti da effettori diversi (la mano, la bocca e il piede) evoca un'attivazione somatotopicamente organizzata a livello delle aree premotorie e parietali (dove le attivazioni più laterali corrispondono agli atti svolti tramite la bocca mentre quelli più mesiali alla mano e al piede). (Fig. 1.6) Questo dimostrerebbe che l'osservazione di un'azione finalizzata evoca automaticamente una replica interna che coinvolge non solo le aree premotorie ma anche quelle parietali, aree che ricordano inoltre il circuito mirror parieto-frontale identificato nella scimmia, con la differenza che

⁷ Risonanza magnetica funzionale (fMRI): è una tecnica non invasiva che sfrutta i meccanismi della risonanza magnetica (MRI) per produrre delle immagini anatomiche dettagliate (tramite l'interazione tra le radiofrequenze prodotte dal campo magnetico e la variazione della rotazione dei protoni differente in base al mezzo biologico). L'fMRI rileva le modificazioni nel tempo dei contrasti, o effetto BOLD (blood oxygen level dependent), ovvero il segnale strettamente legato al livello di ossigenazione del sangue. Questo segnale permette di rintracciare le aree attive tramite la variazione dell'attività metabolica (Amaro & Barker, 2006).

⁸ Imitazione: l'imitazione consiste nella capacità di imitare un repertorio motorio osservato, si differenzia dall'emulazione per il fatto che quest'ultima implica l'apprendimento solo dei risultati dell'azione altrui, quindi si utilizzano strategie comportamentali differenti per raggiungere lo stesso obiettivo raggiunto da un altro agente. È stato dimostrato che l'imitazione sembra far parte del repertorio motorio dell'uomo ma non della scimmia (nel caso della scimmia si parlerebbe piuttosto di emulazione o di meccanismi di facilitazione)(Whiten et al., 2009; Wohlschläger & Bekkering, 2002).

nell'uomo è stata identificata un'attivazione anche alla pantomima (Jastorff et al., 2010; Buccino et al., 2001).

Figura 1.6 Nella figura sono riportate le attivazioni in risposta all'osservazione di atti motori simulati (a) e l'osservazione di atti motori finalizzati (b). In (b) si osservano le attivazioni delle aree premotorie le quali si estendono fino all'area 44 e 45 e seguono la seguente organizzazione somatotopica: area laterale bocca (bande rosse) a seguire nella parte mesiale le attivazioni in risposta agli atti di mano (bande verdi) e piede (bande blu). Le attivazioni delle aree parietali (corrispondenti al lobulo parietale inferiore fino al lobulo parietale superiore corrispondente alla rappresentazione del piede) sono più grossolane e presentano delle sovrapposizioni e con doppie rappresentazioni (come nel caso della bocca). In (a), come si può osservare, le attivazioni corrispondono solo alle aree premotorie è associato al fatto che non è presente l'oggetto da afferrare, in questo caso non si rileva l'attivazione dell'area 44 (Buccino et al., 2001).



Un'altra prova dell'esistenza di questo meccanismo di rispecchiamento motorio è stata riportata da uno studio su soggetti aplasici, ovvero nati senza braccia e senza mani (Gazzola et al., 2007).

Anche in questo caso è stata registrata l'attivazione cerebrale sia nella condizione di osservazione di atti finalizzati svolti con i tre effettori, sia la condizione di esecuzione (che per il gruppo di controllo consisteva nel replicare quanto osservato tramite le mani, mentre per i soggetti aplasici la riproduzione avveniva attraverso i piedi e la bocca). L'aspetto interessante è che, a differenza del gruppo di controllo che presentava delle attivazioni congruenti in termini di effettore a quelle esposte nell'esperimento precedente (seguivano quindi una corrispondenza tra effettore utilizzato e la sua rappresentazione somatotopica), nel caso dei soggetti aplasici all'osservazione della mano si è evidenziata un'attività delle zone corrispondenti alla rappresentazione della bocca e del piede. Questo oltre a dimostrare la plasticità del sistema motorio offre un'ulteriore conferma dell'esistenza di una rappresentazione motoria interna all'osservazione di un'azione, che in questo caso subisce una modifica in virtù del fatto che i soggetti aplasici, non presentando gli arti superiori, elaborano una

rappresentazione dello scopo in relazione al loro repertorio motorio, quindi durante l'osservazione si attivano le aree corticali che si attiverebbero nel caso fossero loro a svolgere l'azione osservata.

1.2.1 Correlati fisiologici meccanismo mirror nell'uomo

È quindi evidente che il sistema parieto-frontale esiste nell'uomo e svolge la stessa funzione di quello scoperto nella scimmia: comprendere l'obiettivo e le intenzioni delle azioni svolte dagli altri. I nodi principali del sistema mirror nell'uomo sono il lobulo parietale inferiore (IPL), la corteccia premotoria ventrale (PMV), e la parte più caudale della circonvoluzione frontale inferiore (IFG) (Fabbri-Destro & Rizzolatti, 2008). A queste aree si aggiunge l'attivazione del solco temporale superiore specifico per l'analisi, e il riconoscimento degli oggetti coinvolti negli atti motori che risponde all'osservazione di movimenti effettuati con gli arti superiori (Rizzolatti et al., 1996).

Per quanto riguarda l'organizzazione della corteccia premotoria ventrale, come già esposto (Iacoboni et al., 1999), è presente una rappresentazione somatotopicamente organizzata, in particolare la parte dorsale corrisponde ad atti motori svolti con le gambe, la parte ventrale a quelli legati alla bocca, e in una posizione intermedia è presente la rappresentazione degli atti eseguiti con la mano, la corteccia premotoria dorsale invece sembra essere coinvolta in atti motori prossimali come quello di raggiungimento (Filimon et al., 2007). Inoltre a queste aree si aggiunge anche l'attivazione della corteccia motoria supplementare area attiva durante i compiti di immaginazione motoria, l'attivazione dell'area 46 di Brodmann e la corteccia mesiale anteriore, aree correlate alla preparazione motoria (Buccino et al., 2004).

Per il coinvolgimento delle aree parietali, si è evidenziata una stretta correlazione con quanto osservato nelle aree parietali della scimmia, nello specifico le aree che nella scimmia corrispondono ai lobuli parietali superiori e inferiori nell'uomo si trovano nel lobulo parietale superiore, mentre il lobulo parietale inferiore (area 40) presenta le stesse suddivisioni ritrovate nella scimmia (Gallese, 2002). Le suddivisioni caratteristiche del solco intra parietale sembrano essere presenti anche nel lobo

parietale umano (Tunik et al., 2007) e proprio in questo solco e sulla convessità del lobulo parietale inferiore sono rappresentati nell'uomo gli atti transitivi (Buccino et al., 2001).

Gli atti distali, essendo legati al circuito dorsale, attivano il lobulo parietale superiore, attivazione che si estende fino alla parte ventrale del solco intra parietale (Cattaneo & Rizzolatti, 2009; Filimon et al., 2007). Da un'analisi condotta sulle risposte corticali all'osservazione di azioni intransitive (che non coinvolgono un oggetto, di natura simbolica e prive di significato) emerge una specifica attivazione la quale si estende a livello del lobulo parietale inferiore fino al giro sopra marginale e angolare (Lui et al., 2008).

È stato dimostrato che nell'uomo vi è un'area specializzata nella codifica delle azioni svolte con uno strumento, ovvero il settore rostrale del lobulo parietale inferiore sinistro, attivazione che non si riscontra invece nella scimmia anche se sottoposta ad un addestramento, questo dato fornisce una riprova del fatto che l'utilizzo di un utensile non facendo parte del repertorio motorio della scimmia non presenta per tale ragione un'area specializzata nella sua elaborazione (Peeters et al., 2009).

Il giro frontale inferiore (IFG) è un altro nodo cruciale del meccanismo mirror, il quale comprende nella parte caudale l'area 44 e parte della 45 (Hamzei et al., 2016; Rizzolatti et al., 1996). L'IFG si attiva sia all'osservazione che all'esecuzione di un atto motorio e per tale ragione è stato integrato in questo meccanismo specializzato nella comprensione del significato e delle intenzioni delle azioni, nello specifico il giro inferiore di destra sembra essere strettamente correlato alla loro componente intenzionale (Iacoboni et al., 2005).

È lecito soffermarsi sull'area 44 in quanto è stata identificata a livello cito architettonico come l'area omologa di F5, ma dal punto di vista funzionale esse presentano delle differenze (Rizzolatti et al., 2002) in quanto la prima è l'area deputata all'elaborazione del linguaggio nell'uomo, mentre la seconda, come già accennato, è collegata alle azioni svolte dalla mano e dalla bocca.

L'area 44 si attiva in relazione ai movimenti intransitivi ma dotati di significato, quindi in relazione all'osservazione di azioni eseguite da un effettore senza il coinvolgimento di un oggetto. Ad esempio, si attiva all'osservazione di una mano coinvolta nella pantomima di un afferramento, oppure

all'osservazione di azioni di bocca non correlate ad un oggetto (la masticazione) (Buccino et al., 2001) così come risulta attiva anche in compiti di immaginazione di azioni svolte con la mano (Gerardin et al., 2000).

Essendo l'area specifica del linguaggio si è anche ipotizzato che il meccanismo mirror sia coinvolto nella sua evoluzione, fornendo un apporto cruciale attraverso il meccanismo di accoppiamento tra produzione e comprensione del linguaggio, esposizione visiva e imitazione dei movimenti oro facciali eseguiti dagli altri (Gallese, 2002). In Figura (Fig.1,7) è riportata una sintesi delle aree del meccanismo mirror per le azioni.

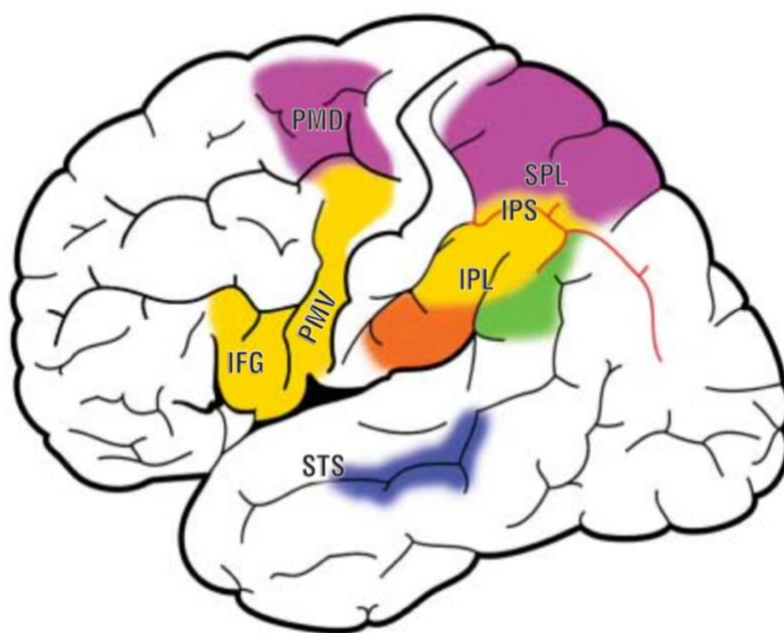


Figura 1.7 La figura riporta una rappresentazione schematica dei nodi del sistema mirror, ovvero le che si attivano per diversi tipi di atti motori. Le aree in giallo indicano i movimenti transittivi distali: PVM (corteccia premotoria ventrale) IFG (circonvoluzione frontale inferiore) IPL (il lobulo parietale inferiore) IPS (il solco intra parietale). In viola sono rappresentate le aree legate ai movimenti di raggiungimento: SPL (lobulo parietale superiore) e PMD (corteccia premotoria dorsale). L'area arancione è l'area legata agli atti svolti tramite uno strumento mentre l'area verde è legata ai movimenti intransittivi. STS (solco temporale superiore) in blu risponde all'osservazione dei movimenti con gli arti superiori (Cattaneo & Rizzolatti, 2009).

1.2.2 Meccanismo Mirror per le emozioni nell'uomo

L'uomo vive in relazione con i suoi simili e ciò che consente questa relazione è la sua capacità di comprendere le situazioni complesse grazie all'esperienza e all'intuizione. La comprensione dell'altro è resa possibile attraverso un meccanismo di simulazione (il quale verrà approfondito nei paragrafi successivi) dove l'osservatore e l'agente hanno in comune gli stessi meccanismi neurali e questa similitudine determina un riconoscimento reciproco di ciò che fanno, in termini di azioni, e ciò che provano, in termini di emozioni. Le emozioni umane possono essere espresse con il corpo (Emotional Body Language, EBL) e tramite l'espressività facciale. Gli studi sulle espressioni facciali di (Ekman, 1992) hanno permesso di individuare le emozioni "di base" (gioia, tristezza, rabbia, sorpresa, paura e disgusto), già Darwin parlava delle espressioni facciali come la chiave d'accesso verso l'altro (Darwin, 1872). A partire dai primi studi elettromiografici condotti da (Dimberg, 1982), i quali dimostravano una correlazione tra l'attività muscolare facciale e i diversi stati emotivi, successivamente ci sono state diverse dimostrazioni dell'esistenza di meccanismi neurali condivisi alla base delle emozioni provate direttamente e osservate attraverso gli altri. Un esperimento che ha suggerito l'esistenza di un meccanismo di rispecchiamento a livello emotivo simile a quello mirror è quello condotto da (Carr et al., 2003) tramite fMRI. In questo esperimento è stato chiesto ai soggetti di imitare o semplicemente osservare delle espressioni facciali emotive, questo ha comportato l'attivazione di una rete di aree cerebrali simili (più estese nel caso dell'imitazione) ovvero: delle aree premotorie, della corteccia motoria primaria e dell'area 44 bilateralmente, nello specifico nella porzione posteriore della regione di Broca e l'insula. L'insula è una struttura eterogenea, situata nelle profondità del solco laterale del cervello (fessura Silviana), la sua posizione rende difficile un'analisi dettagliata nell'uomo infatti la maggior parte delle informazioni sulla connettività e sulla sua struttura derivano dagli studi anatomici sulla scimmia dai quali è emerso che l'insula può essere divisa in tre zone citoarchitettoniche: agranulare, disgranulare e granulare (Mesulam & Mufson, 1982). Attraverso diverse tecniche è stato possibile rintracciare due gruppi di connessioni anatomiche: un

settore anteriore definito anche “viscerale” (nella sezione agranulare e disgranulare dell’insula) e uno posteriore (sezione disgranulare e granulare posteriore). Il primo presenta un maggior numero di connessioni con la corteccia frontale, con centri gustativi e olfattivi e con la parte ventrale del solco temporale superiore (area legata all’analisi dei volti) mentre il secondo è connesso alla corteccia cingolata e parietale (Gallese et al., 2004; Uddin et al., 2017). L’insula è un’area corticale che svolge un ruolo non solo nel processamento delle informazioni esteroceettive, come nel caso del gusto e dell’olfatto, ma anche in quelle enteroceettive legate ad esempio alla rappresentazione del proprio stato corporeo (Craig, 2002).

Diversi studi hanno dimostrato che l’insula sembra essere coinvolta nell’emozione del disgusto. Nello studio di (Royet et al., 2003) condotto tramite fMRI sulle aree cerebrali coinvolte nella percezione di odori piacevoli e spiacevoli, si è osservato che quest’ultimi attivavano in particolare l’amigdala⁹ e l’insula ventrale (mentre in generale è stata rintracciata un’attivazione della corteccia orbito frontale, area implicata nella valutazione consapevole delle emozioni). La stessa attivazione è stata registrata nello studio di (Schienle et al., 2002), nel quale invece è stato chiesto al gruppo sperimentale di osservare stimoli visivi raffiguranti espressioni facciali di disgusto, così come riportato dallo studio di (Wicker et al., 2003) e in quello di (Jabbi et al., 2008). In particolare in quest’ultimo, sono state confrontate tre condizioni: in una i soggetti esperivano direttamente il disgusto, nell’altra osservavano qualcun altro esperire questa emozione e nell’ultima immaginavano di provarla, questo ha permesso di evidenziare una corrispondenza in termini di attivazioni cerebrali tra le tre condizioni. L’insula è stata studiata anche attraverso la microstimolazione elettrica intracorticale (Caruana et al., 2011), applicata sulla sua sezione anteriore nella scimmia. Quello che si è osservato è che la stimolazione

⁹ Amigdala: un complesso nucleare caratterizzato da più nuclei interconnessi (nucleo basale, mediale, centrale e laterale/basolaterale), situati nella profondità del lobo temporale. In termini di connessioni, l’amigdala riceve informazioni dall’ambiente esterno dal talamo e dalle corteccie sensoriali (i quali proiettano sui nuclei laterali, connesso a sua volta con gli altri nuclei). Il complesso basolaterale dell’amigdala è connesso reciprocamente con le regioni corticali (in particolare con la corteccia prefrontale, con le aree sensoriali e con l’ippocampo). L’amigdala è inoltre coinvolta in diversi processi alla base del comportamento, come la reazione di ansia in situazioni di pericolo (meccanismo dettato dall’aumento o dalla diminuzione delle connessioni tra il nucleo baso laterale e quello centrale) oppure quella di paura (circuitto corteccia prefrontale ventromediale-amigdala, coinvolto nel meccanismo di condizionamento) (Janak & Tye, 2015).

produceva una risposta comportamentale di disgusto, quindi ad esempio, se la stimolazione avveniva mentre la scimmia mangiava un chicco d'uva, essa rispondeva automaticamente con una smorfia facciale disgustata oppure rifiutandosi di portare il cibo alla bocca. Nello stesso studio (Caruana et al., 2011), è stato osservato che la stimolazione intracorticale poteva produrre un comportamento affiliativo. La scimmia se fissata per lungo tempo, interpreta questo tipo di comportamento come una minaccia e reagisce mettendo in atto un comportamento difensivo, si è osservato che se si stimolava in questa fase la sezione ventrale dell'insula, quello che si produceva automaticamente era un comportamento affiliativo che consisteva in movimenti ripetitivi della mascella dall'alto verso il basso, associato a movimenti di apertura e chiusura delle labbra, che per i primati non umani rappresentano un segnale di disponibilità verso l'altro (lip smacking). Questa specifica risposta di natura emotiva però si è visto essere strettamente correlata al contesto, dove il requisito fondamentale era l'interazione oculare tra la scimmia e lo sperimentatore. Uno studio di fMRI di (Mazzola et al., 2010), ha indagato la differente attivazione in termini di aree cerebrali tra soggetti con stili affettivi disposizionali diversi all'osservazione di immagini che raffiguravano i volti dei loro partner o di estranei in situazioni dolorose e neutre. Quello che emerge è che vi è un'associazione tra lo stile affettivo-cognitivo e l'attivazione dell'insula posteriore di sinistra (dimostrando un maggiore coinvolgimento dell'insula quando le immagini raffiguravano le persone care). Evidenza confermata anche nello studio di (Botvinick et al., 2005) il quale aggiunge all'attivazione dell'insula quella della corteccia cingolata anteriore, dimostrando che le espressioni facciali di dolore coinvolgono le stesse aree attive durante la percezione di dolore provato in prima persona. Mentre, la corteccia cingolata anteriore pregenuale (pACC), un'area più ventrale rispetto a quella correlata al dolore, sembra inoltre attivarsi sia durante l'espressione facciale sorridente che durante l'osservazione e l'ascolto di video clip di soggetti che ridono (Caruana et al., 2017). Gli studi citati fino ad ora analizzano l'effetto prodotto dalle emozioni sui soggetti direttamente o indirettamente, ma non si è visto cosa possa comportare l'integrazione tra emozione e azione. Nell'esperimento (Ferri et al., 2013) è stato dimostrato che l'osservazione di un'azione inserita all'interno di un contesto caratterizzato da una

valenza emotiva (in questo caso si trattava dell'espressione facciale) rispetto ad un contesto neutro, comportava una risposta neurale più elevata nelle aree motorie, temporali e occipitali (bilateralmente). In particolare, l'emozione che ha suscitato una maggiore risonanza in termini motori è stata la rabbia, la quale rispetto al contesto neutro ha suscitato una maggiore attività a livello del giro pre-centrale bilateralmente, del giro frontale inferiore e dell'area motoria supplementare. Quindi questi risultati supportano l'esistenza di un ruolo di modulazione esercitato dalle emozioni in diverse aree corticali coinvolte nell'elaborazione delle azioni. Quanto riportato sulle emozioni dimostra che la comprensione delle componenti legate alla cognizione sociale è dovuta all'attivazione comune di determinate strutture neurali coinvolte sia nelle azioni che nelle emozioni vissute personalmente e osservate sugli altri. Inoltre questo meccanismo di risonanza è stato dimostrato anche all'interno del dominio somatosensitivo, in quanto è stato scoperto che l'osservazione e la percezione del tocco diretto evocano l'attivazione delle stesse aree, in particolare quella della corteccia somatosensoriale secondaria (Keysers et al., 2004).

1.2.3 Neuron mirror: un mezzo per ridefinire il significato dell'azione

La scoperta dei neuroni mirror e delle loro proprietà ha permesso di comprendere che aree strettamente correlate all'elaborazione di funzioni motorie, sono in grado di conoscere il mondo esterno tramite l'elaborazione di rappresentazioni interne. Da questo punto di vista il controllo dell'azione e la sua rappresentazione sono due facce della stessa medaglia (Gallese, 2002). Questa conoscenza del mondo esterno avviene attraverso un meccanismo di intercorporeità, una risonanza reciproca grazie alla quale si riconosce l'altro come simile e come portatore degli stessi sistemi sensoriali, emotivi e motori, formando così uno spazio interpersonale condiviso e ricco di significato. Quanto riportato a livello teorico trova espressione nella teoria della "simulazione incarnata". Essa è concepita come un meccanismo non consapevole (pre-riflessivo) che coinvolge il cervello e il corpo come un unico sistema il cui compito è quello di modellare oggetti, agenti ed eventi (Gallese, 2009).

Quindi questo meccanismo interviene in esperienze diversificate, le quali possono riferirsi quanto all'interazione di un individuo con un oggetto situato nello spazio circostante, quanto all'incontro con un altro individuo con il quale condividere una relazione di intersoggettività. L'Intersoggettività, per filosofi come Husserl, rappresenta un elemento cruciale nella costruzione del mondo individuale a partire da un meccanismo di immedesimazione con l'altro (riprendendo il concetto tedesco di "Einfühlung"). Attraverso la simulazione incarnata è possibile quindi creare una relazione dinamica di reciprocità con gli altri individui dove, attraverso tale meccanismo, non si osserva solo l'azione intesa come semplice atto motorio, ma si incarnano anche tutte le componenti interne ad essa associate (sensazioni ed emozioni) (Gallese et al., 2004). Il meccanismo mirror agisce e interviene non solo nella comprensione delle azioni eseguite dai nostri simili, ma prende parte ad un vero e proprio meccanismo di cognizione sociale.

1.2.4 Il meccanismo mirror nell'uomo e i suoi canali sensoriali

Come si è osservato nel caso della scimmia, anche nell'uomo il meccanismo mirror risponde a più canali sensoriali, le evidenze riportate in questo paragrafo sono funzionali ad introdurre l'argomento che sarà trattato nel capitolo successivo.

È stata dimostrata una corrispondenza nell'attivazione del circuito temporo-parieto-premotorio sia all'ascolto del suono prodotto da un'azione, sia durante l'esecuzione dell'azione stessa (nello specifico nella corteccia premotoria è stato possibile osservare un'attivazione somatotopica corrispondente all'effettore utilizzato nell'azione e coinvolto nel suono ascoltato)(Gazzola et al., 2006). Uno studio basato sul confronto dell'attività cerebrale tra individui affetti da cecità congenita e un gruppo di soggetti a sviluppo tipico (Ricciardi et al., 2009) ha dimostrato che il canale visivo non è un requisito necessario per lo sviluppo del meccanismo mirror umano, in quanto il solo ascolto delle azioni presentate acusticamente è sufficiente ad attivare i centri corticali del meccanismo mirror. Diversi studi sul meccanismo mirror acustico sono stati condotti utilizzando come stimolo la musica, ad esempio nello studio di (Hickok et al., 2003) si è osservato che l'ascolto di melodie e il

“canticchiare” attiva diverse aree corticali, come la corteccia temporo-parietale di sinistra e le aree frontali. Dal confronto tra musicisti esperti e non esperti (Bangert et al., 2006) è emersa un’attivazione significativamente più estesa a favore del primo gruppo in risposta ai compiti di ascolto di brani suonati al pianoforte, e durante l’osservazione del movimento “muto”, che è risultata in un’attivazione di una rete corticale che comprende la corteccia dorsolaterale e inferiore (che comprende anche l’area di Broca), il giro temporale inferiore (area di Wernicke), il giro sopra marginale e le aree premotorie e premotorie supplementari. Studi effettuati con l’EEG riportano maggiori soppressioni del ritmo mu quando i soggetti osservano gli stimoli che richiedevano una percezione audio-visiva, come ad esempio osservare lo sperimentatore strappare un foglio di carta, piuttosto che nelle condizioni nelle quali era coinvolto un unico canale sensoriale, come osservato da (McGarry et al., 2012).

2 Capitolo: Corrispondenze cinetiche cross-modali evocate dall'ascolto di stimoli musicali

Nel capitolo precedente è stata presentata la teoria della simulazione incarnata come spiegazione del meccanismo mirror e di come questo sfrutti un sistema di mappatura sulla corteccia sensorimotoria per arrivare alla comprensione degli altri. Questa scoperta ha permesso di fornire un supporto neuroscientifico alla cognizione sociale, dimostrando che l'uomo riutilizza i propri processi rappresentativi, espressi attraverso un formato corporeo, per arrivare alla comprensione dell'altro (Gallese & Sinigaglia, 2011). Quanto scoperto sul meccanismo mirror ha fornito una base anche per le analisi condotte sul coinvolgimento sensomotorio evocato dall'esperienza musicale. La musica è “una combinazione di suono e movimento” (Godøy & Leman, 2010) e questo concetto è alla base della cognizione musicale incarnata. Da questo punto di vista, il coinvolgimento motorio ricopre un ruolo cruciale all'interno della relazione tra l'uomo e la musica, dove il corpo è uno strumento per mezzo del quale la percezione della musica viene modellata e compresa in tutto ciò che essa è in grado di evocare, sia dal punto di vista motorio, in termini di movimento, sia dal punto di vista emotivo (Leman, 2007). Attraverso le tecniche di neuroimaging è stato possibile dimostrare in diversi studi il coinvolgimento sensomotorio nell'esperienza musicale. Lo studio tramite fMRI di (Callan et al., 2006) ha dimostrato che vi è un'attivazione differenziata tra l'ascolto e la produzione del canto rispetto al parlato, in particolare le attivazioni riscontrate nella condizione di canto riguardavano una maggiore attività del planum temporale destro rispetto alla condizione del parlato, sia nei compiti nei quali era richiesto il solo ascolto sia in quelli di produzione occulta. Per la condizione di canto, è stata inoltre riscontrata un'attività delle aree coinvolte nella consonanza (con questo termine ci si riferisce ai brani caratterizzati da suoni eseguiti simultaneamente, questo rendere più gradevole l'ascolto del brano) in particolare, della corteccia orbitofrontale (all'ascolto del canto) e del cingolo subcalloso (produzione occulta del canto). L'esperimento di (Chen et al., 2008) ha dimostrato l'esistenza di un legame intrinseco tra il sistema uditivo e motorio nel contesto del ritmo in quanto è stata riscontrata

un'attivazione comune delle aree cerebrali (area motoria supplementare , corteccia premotoria mesiale e cervelletto) all'ascolto passivo di stimoli musicali e all'ascolto degli stessi stimoli con lo scopo di riprodurre il ritmo usando il dito indice della mano destra su un tasto del mouse di un computer utilizzato durante il compito sperimentale. Lo stesso è stato confermato dallo studio sull'immaginazione uditiva condotto da (Halpern et al., 2004) e (Halpern & Zatorre, 1999). Lo studio di (Hickok et al., 2003) ha identificato le regioni uditive umane con proprietà di risposta sia sensoriale che motoria, ovvero un gruppo di aree della corteccia temporale superiore e della corteccia temporo-parietale che erano attive sia durante la fase di ascolto che durante la riproduzione. La corteccia temporale posteriore, sembra inoltre coinvolta in modo specifico nell'analisi percettiva del parlato (Zatorre et al., 1996).

2.1 Introduzione sulle premesse Teoriche

L'effetto della musica all'interno della teoria della simulazione incarnata (sia nella sua declinazione motoria che emotiva) è stato indagato sotto diversi aspetti. Dal punto di vista emotivo, la musica si presenta a tutti gli effetti come un mezzo di comunicazione sociale funzionale ad esprimere emozioni e significati simbolici. È stato dimostrato che vi sono delle differenze individuali nel modo di empatizzare verso l'ascolto di un brano musicale, ad esempio tratti di personalità più empatici correlano con una maggiore tendenza al "trascinamento ritmico" (Bamford & Davidson, 2019). "Il termine trascinamento si riferisce ad un processo attraverso il quale sistemi ritmici indipendenti interagiscono tra loro" (Clayton, 2012) questa forma di interazione, propria della musica, è in grado di evocare un movimento spontaneo e questo può avvenire tra individui oppure tra un individuo e uno stimolo musicale. Scherer & Zentner (2001) parlano di empatia all'interno del meccanismo di rispecchiamento tra l'ascoltatore e il compositore attraverso l'esposizione all'emozione espressa da quest'ultimo. Tale rispecchiamento è al centro della teoria della cognizione musicale incarnata che supporta il coinvolgimento del sistema motorio (in termini di gesti e movimenti) nella percezione

della musica, in questo senso l'ascolto della musica implica l'attivazione di movimenti coerenti con le proprietà acustiche del suono ascoltato, dove il corpo diviene quindi un mediatore tra i fenomeni fisici (intesi come processi sensoriali e motori) e gli stati mentali soggettivi (Leman, 2007). Gli elementi musicali che caratterizzano un suono o una melodia sono molteplici (dinamica, articolazione, tocco, ritmi ecc.), proprio perché questi elementi hanno un'origine corporea, ovvero sono il risultato di movimenti prodotti dal corpo e per tale ragione, sono in grado di evocare delle sensazioni cinestetiche. L'ascoltatore, immagina, decodifica e identifica gli elementi di questa espressività musicale traducendoli in un movimento, in base al proprio repertorio motorio e alla propria idea di spazio (Maes et al., 2014).

2.1.1 Corrispondenze cross-modali nella musica

Il linguaggio, così come l'ascolto di un brano, è un'esperienza percettiva che si basa su una ricorrente associazione cross-modale. Infatti, un altro aspetto che sembra influenzare il modo di percepire la musica e il movimento da essa evocato riguarda le corrispondenze cross-modali (CMC). Le corrispondenze cross-modali sono un aspetto fondamentale della percezione multisensoriale (non solo nell'uomo), esse sono state anche definite come “associazioni sistematiche spesso riscontrate tra caratteristiche sensoriali apparentemente non correlate provenienti da modalità sensoriali differenti” (Parise, 2016). Diversi sono gli studi che hanno indagato la dinamica delle CMC e le varie declinazioni della loro rappresentazione. L'origine di queste associazioni si trova al centro di un dibattito, dove una parte sostiene che esse siano innate (dimostrando la loro esistenza già nelle prime fasi di sviluppo dell'uomo) mentre un'altra parte supporta l'idea che esse si siano dettate da una forma di apprendimento definita dalla relazione con il mondo esterno.

Nell'indagine di (Mondloch e Maurer, 2004) emerge che già nei bambini di età prescolare è possibile riconoscere un meccanismo di corrispondenza cross-modale, in quanto in loro è manifesta la tendenza ad associare l'intensità di un suono ascoltato alla dimensione degli oggetti (ad esempio associano un

suono più acuto ad una pallina piccola e leggera). Secondo (Walker et al. 2010) queste corrispondenze possono essere già rintracciate dai 3-4 mesi. Mentre (Kohn e Eitan 2009) osservando le risposte comportamentali di due gruppi di bambini di due fasce di età (5 e 8 anni) hanno dimostrato che diversi parametri musicali (come intonazione, velocità, volume e tempo) corrispondono a varie dimensioni di movimento eseguito dai bambini (direzioni spaziali, velocità ed energia muscolare sviluppata). Nello specifico si sono osservate delle associazioni tra la variazione di intonazione e il movimento verticale, tra il volume sia con l'energia muscolare impressa nel movimento che con velocità. Questi fattori ponderati per il fattore età, hanno suggerito che mentre le relazioni generiche tra canale uditivo e movimento hanno uno sviluppo precoce, le associazioni tra la dimensione acustica e la direzione del movimento (soprattutto sul piano verticale) si sviluppano in fasi successive, suggerendo che queste corrispondenze possano essere arricchite da un processo di apprendimento (Kohn & Eitan, 2009).

Lo studio delle CMC in relazione alla musica si rivela molto interessante perché dimostra come questi meccanismi possano influenzare, in modo non consapevole, i processi percettivi a partire da un'elaborazione sensoriale di base, fino ad arrivare ad un livello di processamento ad elevate contenuto cognitivo. A riguardo, il modo migliore per analizzare ciò che viene percepito dai soggetti è stato quello di chiedere loro di esprimere delle valutazioni soggettive suscitate dall'ascolto di stimoli sonori. Una corrispondenza riscontrata in modo ricorrente è quella tra la percezione di un aumento dell'intonazione, del volume o del tono con la percezione di un'elevazione spaziale, inoltre è stata rintracciata una differenza a livello di accuratezza nelle risposte in base al livello di formazione musicale dei partecipanti (Küssner & Leech-Wilkinson, 2013). Oltre a questa corrispondenza percettiva se ne sono rintracciate altre, come l'associazione tra le proprietà tattili di una superficie con il tono e il volume di un suono (Peeva et al., 2004), l'associazione tra l'intensità luminosa di una barra e il tono di un suono (Klapetek et al., 2012), l'associazione tra la posizione spaziale di uno stimolo e la tonalità sonora percepita (Ben-Artzi & Marks, 1995) e l'associazione tra la dimensione di un oggetto con l'intonazione (Eitan et al., 2014). Inoltre, molte di queste corrispondenze fanno

riferimento a rappresentazioni legate all'accoppiamento tra polarità differenti (come ad esempio l'associazione suono acuto o grave è spesso associata rispettivamente ad un oggetto, rispettivamente piccolo o grande).

Spesso le CMC sono impresse nelle stesse locuzioni linguistiche. Nonostante ci possano essere delle differenze tra le lingue, è comune l'inclinazione ad imprimere delle immagini "motorie" nelle metafore concettuali utilizzate per riferirsi ad una componente musicale (Kiš Žuvela & Ostroški Anić, 2019). Secondo questa tendenza, le stesse terminologie utilizzate per definire le caratteristiche musicali hanno avuto origine da come l'uomo le percepisce, in molte lingue è comune la metafora concettuale utilizzata per definire la tonalità alta, la quale nella sua definizione presenta una relazione implicita con l'evocazione di uno schema verticale. Ad esempio, in questo caso la scelta dei termini è dovuta alla notazione musicale occidentale nata dalla percezione dello sforzo nella produzione vocale suoni alti.

2.1.2 Corrispondenze cross-modali nell'intonazione e la voce umana

Per chiarire meglio come questo possa avvenire durante la percezione musicale è utile fare riferimento ai modelli teorici sviluppati sulla tematica. Uno tra questi è il modello SAME (Shared Affective Motion Experience) elaborato da (Overy & Molnar-Szakacs, 2009). Secondo questo modello la musica non viene percepita unicamente come un segnale di dominio acustico ma anche come manifestazione di azioni, le quali sono interpretate e comprese attraverso il meccanismo mirror, garantendo una condivisione dell'esperienza musicale tra agente e ascoltatore. Questa esperienza condivisa è carica di contenuti affettivi e recluta la stessa rete neurale, nello specifico è stata rintracciata un'attivazione comune della corteccia temporale (la quale elabora le informazioni uditive) delle aree parieto-frontali (le quali combinano le informazioni sul movimento e sulla componente sensoriale) e l'insula (che collega il sistema nervoso centrale a quello limbico).

La musica è in grado di attraversare la mente e il corpo degli ascoltatori, Cox parla di questa interiorizzazione attraverso “l’ipotesi mimetica” (Cox, 2001) supportando l’idea di un effetto “embodiment”, dove la componente musicale non rappresenta solo una percezione sensoriale ma implica anche l’evocazione di un movimento, dove la comprensione del significato degli stimoli musicali parte dall’imitazione motoria dei suoni (e quindi dallo sforzo fisico necessario a produrli) utilizzando il proprio corpo. Quindi, il fulcro principale di questa teoria è che la comprensione di un suono ascoltato avviene attraverso il confronto con i suoni auto prodotti, per questo motivo si parla di una forma di imitazione, o di partecipazione mimetica, la quale si basa su un’esperienza embodied. L’immaginazione suscitata dall’ascolto della musica (la quale implica il ricordo, la pianificazione e l’elaborazione del contenuto) evoca un’immaginazione motoria, come se l’ascoltatore immaginasse di produrre ciò che sta ascoltando. Il rapporto tra immaginazione ed azione è cruciale in quanto evoca delle rappresentazioni corporee che permettono di comprendere ciò che si sta ascoltando. Insieme all’immaginazione, l’imitazione è un altro mezzo attraverso cui l’uomo comprende il significato delle componenti animate e inanimate che lo circondano e verso le quali è continuamente esposto. La stessa subvocalizzazione viene considerata da Cox come una forma di mimetica specifica per la voce, in particolare si tratterebbe di un’imitazione “occulta” delle parole pronunciate o del canto prodotto da un altro individuo, questo porterebbe all’attivazione implicita delle corde vocali, la quale non richiede nessuna formazione ma semplicemente si evolve attraverso l’esperienza quotidiana che l’individuo sviluppa in relazione alla propria voce. Secondo l’ipotesi mimetica, questo meccanismo non riguarda solo la voce e il coinvolgimento dei muscoli laringei, ma si estende all’imitazione di tutti i suoni musicali e in generale e alla loro natura profondamente incarnata. Ad esempio, le voci definite “di testa” o “di petto”, sono terminologie linguistiche che alludono alla sensazione di una risonanza interna (nello specifico la percezione di un passaggio della voce dal petto alla testa) che si percepisce durante il canto caratterizzato da un’intonazione bassa e alta. Secondo Cox (2017), la voce “di testa” e “di petto” fanno parte del cosiddetto “dominio sorgente”, il quale è funzionale a concettualizzare l’altezza dell’intonazione dei suoni prodotti da strumenti musicali. Anche la vocalizzazione mimetica

e la subvocalizzazione sono associate allo sforzo muscolare richiesto alla base del cambiamento dell'intonazione, dettato dal rilassamento delle corde vocali tramite i muscoli laringei i quali lavorano in coordinazione con i muscoli del diaframma che spingono l'aria tramite le pliche vocali (Cox, 2017). Da qui la metafora “greater is higher”, usata da Cox (2017) per spiegare la relazione tra lo sforzo e l'intonazione, componenti che possono essere interpretate come una forma di associazione cross-modale in grado di influenzare e coinvolgere l'individuo fisicamente ma anche emotivamente.

2.1.3 CMC e suoni ruotanti

L'acustica ecologica è un ramo della psicologia che, supporta l'idea secondo la quale l'analisi dell'ambiente può rivelarsi cruciale per lo studio del comportamento (Gibson, 1966). All'interno dell'ambiente la musica viene percepita come l'espressione di un movimento apparente (Gjerdingen, 1994) suscitato da determinate caratteristiche sonore come precedentemente esposto, dall'interazione quotidiana con il mondo circostante emerge la percezione di diverse associazioni cross-modali, la “teoria ecologica dei suoni ruotanti” (EToRS) elaborata da (Hansen & Huron, 2019) nasce dall'analisi sull'apparente associazione tra il movimento percepito all'ascolto di un suono, interpretando il suo effetto in ottica ecologica. La teoria EToRS analizza la percezione di un movimento rotatorio evocato da suoni caratterizzati da ritmi di terzina, prima di (Hansen & Huron, 2019) era stato già notato questo effetto ma non era stata ancora elaborata nessuna teoria a riguardo. Tale teoria si basa sulla mappatura degli schemi di fluttuazione del volume su traiettorie definite da fonti acustiche in rotazione rispetto al soggetto. Questa teoria è stata dimostrata dagli autori (Hansen & Huron, 2019) attraverso due esperimenti fatti su un campione misto di partecipanti, formato da professionisti e semi-professionisti nell'ambito musicale. Nel primo esperimento sono state testate due ipotesi, ovvero che i pattern ternari sarebbero stati più evocativi di un movimento rotatorio rispetto ai pattern non ternari e che i giudizi di rotazione (definiti attraverso una scala a 7 punti, dove il punteggio 1 corrispondeva alla mancata percezione di un movimento rotatorio e il punteggio 7 alla massima percezione di

movimento rotatorio) da parte degli ascoltatori sarebbero stati correlati al tempo in termini di battuta. Il secondo esperimento si basava sull'assunto secondo il quale la percezione dei pattern quaternari più ecologici con il profilo d'intensità forte-medio-debole-medio sarebbero stati percepiti come maggiormente evocativi di un movimento rotatorio rispetto ad un pattern meno ecologico che seguiva il profilo forte-debole-medio-debole. Dalle valutazioni dei partecipanti all'ascolto degli stimoli musicali è emerso che nel primo la rotazione percepita aumentava con il tempo, in particolare i pattern ternari sono stati riconosciuti come più rotanti rispetto agli altri. Nonostante anche il pattern quaternario e quinario abbia suscitato un movimento rotatorio, la differenza significativa è emersa dal confronto tra questi pattern con quello binario. Mentre, dal secondo esperimento si è evidenziato che i pattern ecologici con profili d'intensità forte-medio-debole-medio sono stati valutati come più evocativi di un movimento rotatorio rispetto ai pattern non ecologici (Hansen & Huron, 2019).

2.2 Lo Studio di (Kolesnikov et al., 2021)

La letteratura sopracitata permette di fornire le basi teoriche che supportano i due studi che saranno riportati di seguito. Un primo studio di Kolesnikov et al., (2021), condotto all'inizio, ha indagato l'impatto che le molteplici caratteristiche musicali formali hanno sulle misure di movimento musicale percepito e coinvolgimento emotivo e fisico evocati. Un secondo studio (Studio 2), rappresenta un approfondimento dei risultati, richiesto da un revisore anonimo/a, in risposta (consultare la sezione 1 del Materiale Supplementare) alla sottomissione del manoscritto alla rivista *Music & Science* (<https://journals.sagepub.com/home/mns>) che rappresenta la componente sperimentale della mia tesi.

Per entrambi gli studi stata selezionata una popolazione di partecipanti che non riportava una formazione professionale nell'ambito musicale, questa scelta è stata fatta a supporto di quella letteratura scientifica che ha dimostrato come una formazione musicale implica l'apprendimento delle CMC motorie associate ad uno strumento (Stewart et al., 2004). Con il termine "movimento musicale

percepito” ci si riferisce a quanto riportato precedentemente sul coinvolgimento motorio suscitato dall’ascolto della musica in termini mimetici e di movimento illusorio. Un altro aspetto importante da sottolineare è che per gli esperimenti sono stati utilizzati stimoli naturalisti e dinamici, questo risulta essere un apporto innovativo rispetto alle ricerche precedenti sulle CMC le quali hanno utilizzato principalmente stimoli monotonicici o a singole linee melodiche (Eitan et al., 2014).

Premesse. I tre fattori manipolati che caratterizzano gli stimoli della ricerca sono: Contorno, Densità Verticale e Pattern di Note, questi fattori costituivano le variabili indipendenti del modello le quali sono state analizzate in relazione alla percezione esplicita della: Direzione, della Rotazione, del Movimento, del Coinvolgimento Fisico ed Emotivo. Per Contorno ci si riferisce alla direzione del movimento melodico ed è stato presentato in tre livelli: Ascendente, Discendente e Piatto; per Densità Verticale si riferisce alla densità armonica, definita dall’aggiunta di note pedale e linee melodiche ed è stata presentata nei livelli: Bassa, Media e Alta; i Pattern di Note presentati erano Binario, Ternario e Quaternario. Le componenti come la dinamica, il tempo e la sorgente sonora sono state mantenute costanti. Ai partecipanti veniva chiesto di esprimere una valutazione soggettiva sui brani ascoltati (consultare la sezione 2 del Materiale Supplementare per visualizzare gli spartiti degli stimoli) per in termini di caratteristiche musicali percepite (Direzione, Rotazione e Movimento) e in termini di percezioni corporee all’ascolto delle tracce musicali (Coinvolgimento Fisico ed Emotivo). Queste componenti costituivano inoltre le variabili dipendenti del disegno sperimentale. Lo studio non ha indagato possibili effetti dovuti ad una componente linguistica, in quanto è stato condotto solo in lingua italiana. Inoltre, sono stati utilizzati dei questionari per indagare il livello di Empatia soggettiva, l’immaginazione motoria e l’atteggiamento generale nei confronti della musica, la prima è stata valutata utilizzando l’Interpersonal Reactivity Index (IRI, Davis et al., 1980) , la seconda con il Vividness of Movement Imagery Questionnaire-2 (VMIQ-2, Roberts et al., 2008), mentre l’ultima con il Brief Musical Experience (Werner et al., 2006).

Le ipotesi di partenza sono state le seguenti: 1) se i soggetti fossero in grado di identificare le differenze di Contorno; 2) A partire dalla teoria EToRS (Hansen & Huron, 2019), l’obiettivo è stato

quello di verificare se il Pattern di Note Ternario evocasse un effetto di Rotazione maggiore rispetto a Binario e Quaternario; 3) Supportando l'ipotesi "greater is higher" (Cox, 2017), è stato indagato se il Contorno Ascendente fosse maggiormente evocativo rispetto agli altri in termini di Movimento percepito e in termini di Coinvolgimento emotivo e Coinvolgimento fisico rispetto ai Contorni Discendente e Piatto; 4) è stato osservato se la Densità Verticale evocasse un maggior Movimento, e di seguito una maggiore partecipazione mimetica (Cox, 2001); 5) è stato verificato se il Coinvolgimento Emotivo fosse correlato al Coinvolgimento Fisico, al Movimento percepito e all'Empatia di Tratto (come suggerisce il modello SAME, Shared Affective Motion Experience, proposto da Overy & Molnar-Szakacs, 2009).

Ai partecipanti veniva chiesto di eseguire il compito al computer, rispettando una distanza specifica dallo schermo, ascoltavano le tracce audio (le informazioni sulla composizione degli stimoli saranno fornite nello Studio 2) utilizzando delle cuffie all'interno di una stanza silenziosa. Il compito sperimentale è stato programmato con il software Psychopy 3.0 (Peirce et al., 2019), ogni prova era composta dalla presentazione di una croce di fissazione per 1000 ms, lo stimolo audio veniva presentato per 10000 ms e successivamente veniva posta una domanda. Ogni stimolo poteva essere seguito da una delle seguenti domande: 1) "In che direzione si muoveva la musica?"; 2) "Quanta rotazione hai percepito nella musica?"; 3) "Quanto movimento hai percepito nella musica?"; 4) "Quanto ti sei sentito coinvolto fisicamente?"; e 5) "Quanto ti sei sentito coinvolto emotivamente". I partecipanti rispondevano utilizzando il cursore lungo una scala analogica visiva (VAS) che andava da 0 a 100 e le etichette variavano in base alla domanda. Il disegno dello studio prevedeva l'utilizzo di 27 tracce musicali quindi 27 condizioni (3 Contorni*3 Pattern di Note* 3 Densità Verticale), ogni condizione sperimentale è stata ripetuta dieci volte, per un totale di 270 prove presentate. Per quanto riguarda le analisi, sono state calcolate le medie marginali per tutte le condizioni del modello lineare a effetti misti e le statistiche dei test per tutti i confronti post-hoc di Tukey e per gli effetti di interazione. I valori medi ottenuti dalle valutazioni dei partecipanti su Direzione, Rotazione, Movimento e Coinvolgimento Fisico percepiti sono stati correlati ai punteggi ottenuti dai questionari

VMIQ-2, BMEQ e IRI con il metodo di Spearman. Inoltre, attraverso l'analisi dal modello lineare a effetti misti sono stati rintracciati degli effetti significativi per il contorno, la densità verticale e il pattern di note per tutte le variabili dipendenti. Di seguito vengono riportati i risultati sostanziali.

Risultati. In accordo con la teoria EToRS (Hansen & Huron, 2019), è stato dimostrato che i partecipanti percepivano una maggiore Rotazione nelle melodie con Contorno Ascendente rispetto alle altre due condizioni di Contorno, questo ha supportato l'idea secondo la quale la sensazione di un movimento rotatorio veniva percepita maggiormente in pattern caratterizzati da un volume o da un accento compatibili con traiettorie rotanti. Tra i Pattern di Note, quello Quaternario ha avuto un maggiore effetto evocativo in termini di movimento rotatorio percepito, effetto inoltre, significativamente maggiore anche rispetto al Pattern Ternario, contrariamente da quanto sostenuto nella teoria di (Hansen & Huron, 2019). È stato inoltre riscontrato che la Densità Verticale modulava la Rotazione percepita, infatti, l'Alta Densità di note suscitava maggiormente un movimento rotatorio rispetto agli altri due livelli di Densità, tuttavia non è stata riscontrata nessuna differenza significativa tra la Media e la Bassa Densità. Le interazioni significative tra Densità Verticale* Contorno e Pattern di Note*Contorno, hanno fatto emergere un effetto rotatorio aumentato dal Contorno Ascendente rispetto al Contorno Discendente (questa evidenza è stata riscontrata anche negli effetti di interazione tra il Contorno, il Movimento e il Coinvolgimento fisico). Nessuna significatività è emersa tra la Densità Verticale e il Contorno, però è stata osservata una differenza significativa tra la Densità Verticale e il Contorno Discendente (molto probabilmente dovuto ad una sorta di effetto "contrasto" creato dall'Alta Densità Verticale verso il Contorno Discendente, in quanto l'alta Densità si differenzia dalle altre per un tono più alto). Dai risultati dell'interazione tra il Pattern di Note e il Contorno sono state riscontrate delle differenze significative per i Pattern Ascendente e Discendente ma non per quello Piatto, questo risultato ha portato a pensare che questo fosse legato alle caratteristiche del Contorno Piatto, le quali lo rendevano meno evocativo di un movimento rotatorio, creando in questo senso un effetto soglia rispetto agli altri due contorni (effetto enfatizzato nell'interazione tra Contorno Piatto e Bassa Densità Verticale).

In linea con l'ipotesi sulla partecipazione mimetica (Cox, 2011), è stato dimostrato che il contorno ascendente veniva percepito come un movimento con una Direzione verso l'alto, quello Discendente ha evocato un movimento verso il Basso, mentre quello piatto, non ha evocato un movimento in nessuna delle due direzioni. Questo dato ha permesso di confermare la prima ipotesi della ricerca, quindi è stato dimostrato che i partecipanti sono stati in grado di discriminare le melodie.

Dai risultati è emerso che i brani caratterizzati da un'intonazione in media più alta (Alta Densità Verticale) suscitavano la percezione di un movimento verso l'alto, effetto riscontrato in misura significativamente minore nei brani a Media e Bassa Densità Verticale. Per il Pattern di Note, è stato riscontrato che il Pattern Quaternario era maggiormente evocativo di un movimento verso l'alto rispetto al ternario, questo a sua volta lo era maggiormente rispetto al Pattern Binario. È stata inoltre evidenziata una correlazione tra la percezione della Direzione del movimento e il Coinvolgimento Fisico, dove quest'ultimo potrebbe contribuire alla percezione del movimento durante l'ascolto di un brano. Il Pattern Quaternario è stato associato dai partecipanti ad un alto livello di Coinvolgimento Fisico e questo molto probabilmente era dovuto al fatto che il Pattern Quaternario era caratterizzato da un'Alta Densità di Note). Questo dato inoltre, è stato interpretato riprendendo l'ipotesi di partecipazione mimetica, "greater is higher" (Cox, 2011), secondo la quale qualsiasi caratteristica musicale in grado di evocare una sensazione di sforzo o di coinvolgimento fisico, provoca un maggiore coinvolgimento fisico e quindi viene associata a tonalità alte.

Dai risultati ottenuti sulla percezione di Movimento è emerso che i Contorni Ascendente e Discendente hanno avuto un effetto più forte sulla percezione del Movimento rispetto a quello Piatto, e tra i due quello Ascendente ha avuto un effetto significativamente maggiore. Questo dato ha creato delle perplessità considerato che la dimensione degli intervalli e la densità delle note erano equivalenti in tutte le condizioni. Movimento e Rotazione percepiti sono risultati correlati, infatti, come nel caso della rotazione l'Alta Densità Verticale è stata associata ad una maggiore percezione di Movimento, così come il Pattern di Note Quaternario è stato percepito come maggiormente evocativo della percezione di Movimento rispetto agli altri Pattern. L'effetto del Pattern Quaternario ha subito però

una variazione all'interno dell'interazione tra il Pattern di Note e la Densità Verticale, in quanto non è stata riscontrata nessuna differenza significativa tra il Pattern Quaternario e i diversi livelli di Densità Verticale. Questo risultato è stato interpretato come un effetto "tetto" del Pattern Quaternario dove l'aggiunta di linee melodiche non ha avuto un effetto significativo sul Pattern Quaternario che di per sé era già caratterizzato da un'Alta Densità di Note. Per quanto riguarda l'effetto del Contorno sul Movimento, è stato osservato che a partire dal livello più Basso della Densità Verticale, l'aumento della Densità riduceva la differenza nella percezione del Movimento tra il Contorno Ascendente e Discendente. È stata evidenziata un'associazione tra Coinvolgimento Fisico e quello Emotivo, i risultati hanno mostrato che il Contorno Ascendente ha creato maggior Coinvolgimento Fisico ed Emotivo e questo, come nel caso del Movimento, è stato interpretato secondo il significato della metafora embodied di (Cox, 2011) "greater is higher" spiegata nei paragrafi precedenti. I risultati sulla Densità Verticale, supportano ulteriormente quanto sostenuto nella teoria dell'ipotesi mimetica, infatti l'Alta Densità Verticale ha comportato un maggiore Coinvolgimento Fisico rispetto agli altri due livelli di Densità, lo stesso risultato è stato osservato per il Coinvolgimento Emotivo (con la specifica che per il Coinvolgimento Emotivo non è stata riscontrata una differenza significativa tra i livelli di Densità Verticale Media e Bassa). Per le due tipologie di Coinvolgimento Emotivo, il Pattern Quaternario ha suscitato un Coinvolgimento significativamente maggiore rispetto agli altri Pattern. La relazione tra il Coinvolgimento Emotivo e Fisico ha fornito prove a supporto della teoria della co-rappresentazione dell'esperienza musicale, SAME (Overy & Molnar-Szakacs, 2009), secondo la quale la musica trasmette la sua rete di significati attraverso l'evocazione di un movimento implicito funzionale a cogliere il contenuto empatico della musica. Tra le correlazioni analizzate sono emerse delle significatività tra: la Direzione e il Coinvolgimento fisico, la Rotazione e il Movimento, tra Rotazione e Coinvolgimento Emotivo, tra il Movimento e il Coinvolgimento Emotivo, e tra il Coinvolgimento Emotivo e quello Fisico. Non sono emerse correlazioni significative in seguito all'analisi dei dati dei solo questionari.

I revisori hanno riscontrato dei limiti nello Studio 1 e hanno evidenziato dei risultati soggetti ad interpretazioni non univoche. In particolare hanno sottolineato che le caratteristiche sonore di base degli stimoli utilizzati e i questionari somministrati potevano avere delle interazioni tra loro che dovevano essere valutate. Le principali interazioni non intenzionali emerse dallo Studio 1 sono state oggetto dello Studio 2. Dallo Studio 1 sono state riscontrate le seguenti componenti confondenti nate dalle caratteristiche di base degli stimoli: 1) **Densità Verticale e altezza dell'intonazione**. Gli effetti della densità verticale potrebbero essere dovuti ad una associazione con l'altezza dell'intonazione percepita. In questo studio la densità verticale si riferisce al numero di voci armoniche, e questo implica una differenza qualitativa tra la condizione di Alta Densità (che presenta più voci melodiche e solitamente è più alta di tono) e la condizione di Media Densità (che presenta una voce melodica e un bordone, quest'ultimo è un termine utilizzato per indicare una nota o un accordo, suonati per gran parte di una composizione). Nei risultati sono state evidenziate delle differenze significative nella percezione tra la Densità Alta e Media, ma non tra la densità media e bassa, questo ha lasciato delle perplessità. Assodata l'esistenza in letteratura di un'associazione percettiva tra l'altezza dell'intonazione e l'intensità sonora, l'intensità sonora può essere considerata un fattore influente nella percezione della Densità Verticale e nel Pattern di Nota. 2) **Pattern di Nota e velocità**. Nonostante il tempo in termini di battute sia stato mantenuto costante per tutti i Pattern di Note, la differente densità orizzontale può produrre una percezione differente in termini temporali, poiché il tempo a livello di battuta è stato mantenuto costante in tutti gli stimoli, il Pattern di Nota potrebbe essere stato associato con la velocità a livello di crome, dove la condizione Quaternario che ha avuto il maggior numero di crome per battuta, seguita da Ternario e poi Binario. 3) **Contorno Piatto e ripetitività**. Sono state rintracciate delle risposte correlate tra il Coinvolgimento Fisico ed Emotivo e il Contorno, ma le perplessità sorgono sull'effetto provocato dal Contorno Piatto. Il contorno Piatto viene considerato un controllo rispetto agli altri due contorni, ma è necessario chiarire se esso sia effettivamente associato dai partecipanti ad una mancanza di Contorno oppure evochi piuttosto la percezione di un pattern ripetitivo.

2.3 Studio 2

Questo studio ha utilizzato gli stessi stimoli musicali di quello precedente ma modificando le domande poste ai partecipanti. I due Studi hanno usato le stesse variabili indipendenti cambiavano invece le variabili dipendenti poiché nello Studio 2, ci si è posti l'obiettivo di valutare le caratteristiche formali degli stimoli: 1) La Tonalità (Pitch), 2) la Velocità (Speed), 3) l'intensità sonora (Loudness) e la Ripetitività (Repetitiveness). Le ipotesi sperimentali rispondevano a 4 domande: 1) l'Alta Densità Verticale fosse associata ad un Pitch più alto; 2) che il Pattern di Note Quaternario fosse associato ad una maggiore Velocità; 3) che la condizione Piatta del Contorno fosse considerata più Ripetitiva; 4) Che il Pitch fosse correlato alla Loudness. Sono state indagate altre possibili associazioni a scopo esplorativo in modo da descrivere al meglio il modo in cui gli stimoli possono essere percepiti.

Lo Studio 2 è stato condotto dalla sottoscritta.

2.3.1 Materiali e metodi

Partecipanti. I partecipanti sono stati reclutati attraverso un'opportunity sampling ovvero utilizzando un servizio della piattaforma Facebook. Sono stati impostati dagli sperimentatori dei criteri di filtraggio che permettevano di recepire le risposte dei soggetti per genere, età, background musicale (non professionale o semi professionale) e preferenza manuale. Sono stati reclutati soggetti provenienti da tutta Italia, selezionando i partecipanti in base all'età, il requisito da soddisfare era che avessero un'età compresa tra i 18 e i 35 anni, che fossero destrimani (consultare la sezione 3 del Materiale Supplementare per vedere il vedere il questionario somministrato online). L'obiettivo è stato quello di garantire all'interno del campione una rappresentanza equa del genere maschile e femminile. Prima della partecipazione all'esperimento i partecipanti sono stati ulteriormente selezionati in base alla loro formazione musicale attraverso un questionario di screening somministrato online (consultare la sezione 4 del Materiale Supplementare), che valutava se i soggetti

avessero più di 6 anni di esperienza del campo musicale, escludendo quindi coloro che avevano una formazione musicale superiore a quella prevista dal curriculum scolastico italiano. Dall'applicazione di questi criteri di selezione alle risposte dei volontari (raccolte tramite la piattaforma Facebook) è stato ricavato un gruppo di potenziali partecipanti. Questi sono stati contattati direttamente, è stata spiegata loro la procedura dell'esperimento e sono state fornite altre informazioni utili al fine di fornire un background generale della ricerca. Questo ha permesso di raggiungere un campione complessivo formato da 55 volontari, del quale saranno riportate di seguito le informazioni descrittive. Sul campione complessivo il numero totale medio di anni di formazione musicale è stato di 2,5 anni con una deviazione standard (SD) di $\pm 3,73$. Hanno preso parte allo studio 55 volontari sani di nazionalità italiana: 16 femmine e 14 maschi, età media 28,76 (SD = 4,64, min = 18, max = 35). La potenza è stata calcolata a priori per mezzo di G*Power 3.1 (Faul et al., 2007) usando la regressione multipla lineare, ovvero un modello casuale che testa un modello di effetto misto lineare per ogni variabile dipendente. Con un indice di effect size F di Cohen pari a 0,25 (dimensione media dell'effetto), una soglia alfa di .05, 3 predittori e una potenza di 0,9, si è ottenuto un campione complessivo di 51 persone. Per partecipare allo studio tutti i volontari hanno fornito il loro consenso informato scritto, il quale è stato redatto in conformità alla Dichiarazione di Helsinki (Ndebele, 2013) rispettando gli standard etici dell'Ordine degli Psicologi italiano, nonché il Codice Etico per la Ricerca Psicologica della Società Italiana di Psicologia e il Comitato Etico dell'Area Vasta Emilia Nord (AVEN).

Stimoli. In collaborazione con un compositore cinematografico sono state realizzate le tracce musicali digitali di una durata di 10 secondi ciascuna. Le tracce sono state create attraverso la Digital Audio Workstation (DAW) utilizzando il software Cubase Pro, con il modello di pianoforte Garritan/Abbey Road CFX Grand. I brani sono stati composti attraverso un pianoforte, in modo da integrare con maggiore facilità la densità verticale attraverso il coinvolgimento delle due mani (destra e sinistra) rispetto ad un altro strumento. I brani sono stati creati nelle seguenti modalità: melodie con

contorno Ascendente, Discendente e Piatto, con un Pattern di Note Binario, Ternario o Quaternario e con Densità Verticale Bassa, Media e Alta, il disegno è infatti composto da un totale di 27 brani (3*3*3) (Tabella 2.1). Tutte le note sono state suonate garantendo un grado di variabilità che le rendesse quanto più simili al modo di suonare dell'uomo (tempo=120, tutti i brani e le dinamiche sono state suonate a *mf* come media), inoltre il compositore ha evitato l'espressione esplicita della "valenza" puntando sulla neutralità delle tonalità. Tutti i brani sono stati bilanciati per volume e struttura melodica e formattati come file audio Waveform (WAV), con una frequenza di campionamento di 44,1 kHz e 16 bit per campione. Consultare la Sezione 2 del Materiale Supplementare per la partizione degli stimoli.

*Tabella 2.1 La tabella riporta gli stimoli/condizioni dell'esperimento. In totale gli stimoli erano (3*3*3). Il Contorno comprende la melodia Ascendente, Discendente e Piatta. I Pattern di Note sono Binario, Ternario e Quaternario. La Densità Verticale è Bassa (B), Media (M) e Alta (A).*

Stimoli	Contorno	Pattern di note	Densità verticale
1-9	Ascendente	Binario	B, M, A
		Ternario	B, M, A
		Quaternario	B, M, A
10-18	Discendente	Binario	B, M, A
		Ternario	B, M, A
		Quaternario	B, M, A
19-27	Piatto	Binario	B, M, A
		Ternario	B, M, A
		Quaternario	B, M, A

Procedura. I partecipanti hanno svolto l'esperimento on line utilizzando Pavlovia (la versione online del software PsychoPy 3.0). Per fornire supporto al partecipante e monitorare tutti i passaggi del compito, lo sperimentatore e il partecipante sono rimasti in contatto durante tutta la procedura sperimentale tramite chiamata audio con il cellulare. Lo sperimentatore e il partecipante hanno lasciato il video e il microfono accesi durante la fase delle istruzioni, una volta iniziato l'esperimento sono stati spenti per garantire la privacy ed evitare possibili condizionamenti. Prima dell'inizio

dell'esperimento è stato chiesto ai soggetti di assicurarsi di poter garantire una stabile connessione a Internet, di scegliere un ambiente tranquillo e privo di distrazioni, e di utilizzare gli auricolari. Il compito eseguito da Pavlovia consisteva nell'ascolto delle 27 tracce audio presentate in modo randomizzato. In ogni prova veniva presentata una croce di fissazione per 1000 ms, seguita dallo stimolo audio per 10000 ms insieme ad uno schermo grigio, e successivamente veniva presentata una domanda alla quale si poteva rispondere senza un limite di tempo (**Figura 2.1**). Ogni stimolo era seguito da una sola domanda presentata secondo un ordine casuale e chiedeva al soggetto di valutare lo stimolo su una delle seguenti dimensioni: 1) Pitch (basso/alto), 2) loudness (piano/forte), 3) velocità (lento/veloce) e 4) Ripetitività (non ripetitivo/molto ripetitivo). Ai partecipanti veniva chiesto di ascoltare gli stimoli e rispondere nel modo più immediato e accurato possibile (anche se non è stato dato un limite di tempo), utilizzando il mouse per spostare un cursore blu (posizionato al centro come punto di partenza) lungo una scala analogica visiva (VAS) che registrava le risposte su una scala da 0 a 100 (nella scala presentata tuttavia erano visibili solo le etichette alle due polarità). Il disegno dello studio era analogo a quello dello studio 1: 3 Contorni (Ascendente, Discendente, Piatto) * 3 Pattern di Nota (Binario, Ternario, Quaternario) * 3 Densità Verticali (Alta, Media, Bassa), per un totale di 27 condizioni. Ogni condizione sperimentale è stata ripetuta otto volte (quattro domande e due ripetizioni), per un totale di 216 prove presentate. Prima di eseguire la procedura sperimentale, i partecipanti sono stati sottoposti a una breve fase di addestramento per abituarsi al compito. Dopo la sessione sperimentale, i partecipanti sono stati invitati a compilare un breve questionario di debriefing sulla loro esperienza (consultare la sezione 5 del Materiale Supplementare). La procedura sperimentale è durata in media 60 minuti per partecipante, non è stato escluso partecipante soggetto dall'analisi dei risultati.

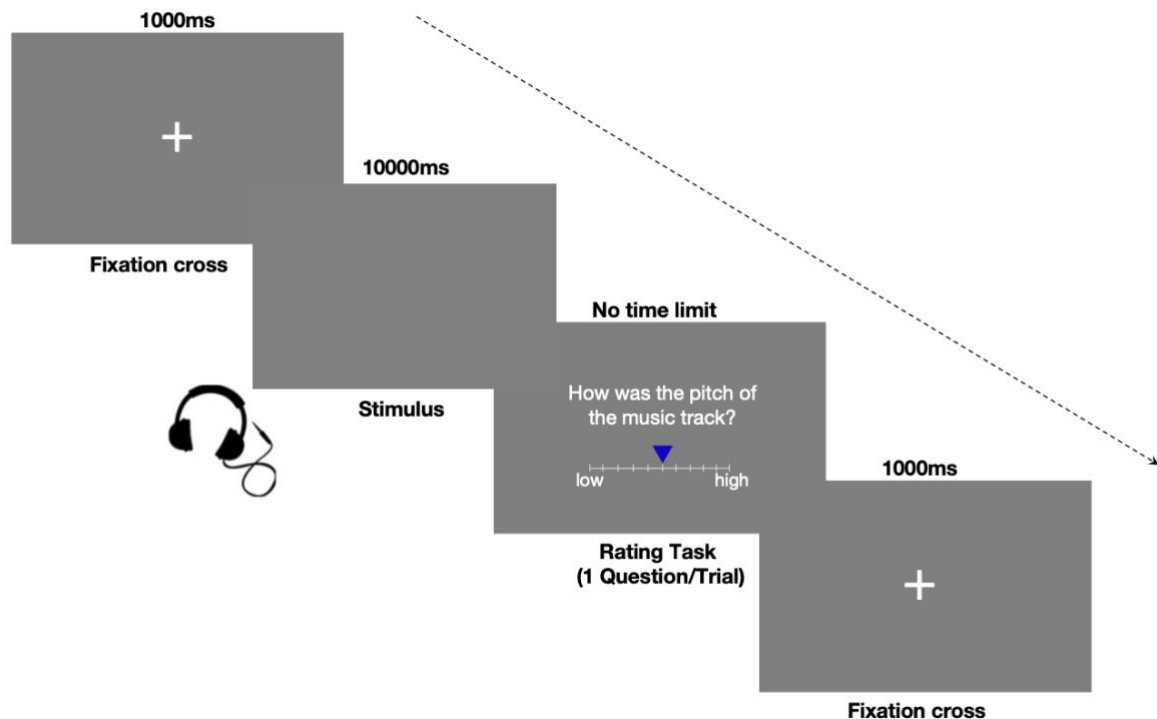


Figura 2.1 task sperimentale. Componenti: croce di fissazione (1000 ms), stimolo audio (10000 ms) e domanda (nessun limite di tempo).

Analisi. È stata condotta un'analisi lineare a effetti misti per ciascuna variabile dipendente (Pitch, Velocità, Loudness e Ripetitività). Sono state utilizzate come variabili fisse indipendenti il Contorno, la Densità verticale e il Pattern di note, mentre le intercette dei partecipanti sono state incluse come effetti casuali. I confronti post-hoc sono stati effettuati utilizzando i test di Tukey con correzione di Bonferroni per i confronti multipli. Tutte le analisi sono state eseguite utilizzando il software R (R Core Team, 2019) e `e29lme4` (Bates et al., 2018), `ordinal` (Christensen, 2019.), `effects` (Fox, 2003) e `emmeans` (Emmens et al., 2020). Per la visualizzazione dei dati è stato utilizzato il pacchetto `ggplot2` (Wickham, 2016).

2.4 Risultati

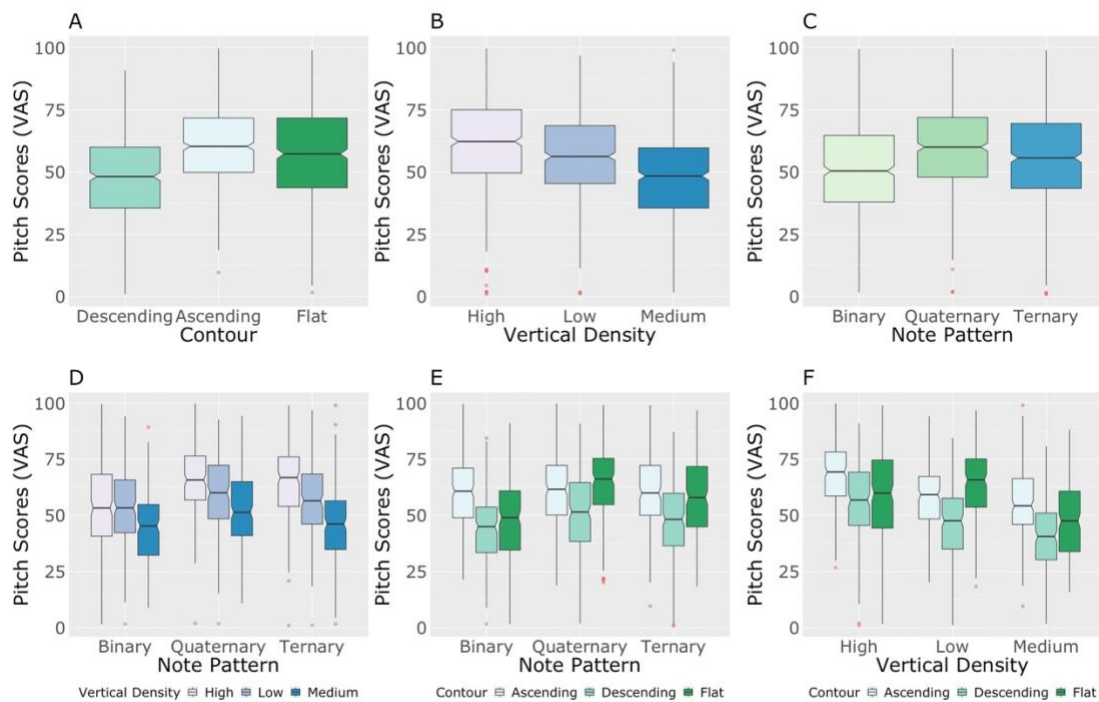
Le medie marginali stimate sono state calcolate attraverso il modello lineare a effetti misti per tutte le condizioni, e le statistiche dei test per tutti i confronti post-hoc di Tukey per gli effetti di interazione (consultare le Sezioni 6 e 7 del Materiale Supplementare).

Pitch. Il modello spiega il 42,68% della varianza nelle valutazioni sul Pitch, tenendo conto degli effetti casuali ($R^2_m = 0,28$, $R^2_c = 0,43$). Il modello ha rivelato un effetto principale significativo del Contorno ($\chi^2(2) = 233,76$, $p < .0001$), mostrando che i partecipanti hanno percepito che il Contorno Ascendente ha un Pitch più alto rispetto a quello Discendente e Piatto, e che quello Piatto ha un Pitch più alto rispetto a quello Discendente, vedi (Figura 2.2A). È stato riscontrato un effetto principale significativo per la Densità Verticale ($\chi^2(2) = 233,62$, $p < .0001$) che mostra che i partecipanti hanno percepito che le melodie ad alta densità Verticale hanno un'intonazione più alta di quelle medie e basse, e che quelle basse hanno un'intonazione più alta di quelle medie (Figura 2.2B). È stato riscontrato un effetto principale significativo per il Pattern ($\chi^2(2) = 81,34$, $p < .0001$) che mostra che i partecipanti hanno percepito che le melodie Quaternarie hanno un'intonazione più alta di quelle Ternarie e Binarie, e che quelle Ternarie hanno un'intonazione più alta di quelle Binarie (Figura 2.2C). Sono stati riscontrati effetti di interazione significativi per il Pattern di note*Densità Verticale ($\chi^2(4) = 25,78$, $p = <.0001$) (Figura 2.2D), Pattern di note*Contorno ($\chi^2(4) = 25,78$, $p = <.0001$) (Figura 2.2E), Densità Verticale*Contorno ($\chi^2(4) = 79,71$, $p = <.0001$) (Figura 2.2F), e Pattern di nota*Contorno*Densità Verticale ($\chi^2(8) = 59,30$, $p = <.0001$). Consultare la **Tabella 2.2** per i confronti post hoc di Tukey per gli effetti principali.

		Mean Difference	SE	t ₍₁₄₂₆₎	p
Contorno					
Ascendente	Discendente	12.80	0.88	14.51	<.0001***
	Piatto	3.68	0.88	4.17	.0001***
Discendente	Piatto	-9.11	0.88	-10,34	<.0001***
Densità Verticale					
Alta	Media	13.35	0.88	15.13	<.0001***
	Bassa	5.04	0.88	5.71	<.0001***
Media	Basa	-8.31	0.88	-9.43	<.0001***
Pattern di Note					
Quaternario	Ternario	3.62	0.88	4.10	.0001***
	Binario	7.96	0.88	9.02	<.0001***
Ternario	Binario	4.34	0.88	4.92	<.0001***

Tabella 2.2 Confronti post-hoc con il metodo di Tukey. Si possono osservare gli effetti del Contorno, della Densità Verticale, del Pattern di Note sulla percezione del Pitch

$p < .05 = *$, $p < .01 = **$, $p < .001 = ***$



*Figura 2.2 Pitch. I box plot riportano i risultati ottenuti dalla scala analogica visiva (VAS) rispettivamente per il Pitch rispetto agli effetti principali su Contorno delle melodie (A), la Densità Verticale (B), il Pattern di Note (C). Vengono anche riportati gli effetti di interazione principali per il Pattern di Note*Densità Verticale (D); tra il Pattern di Note*Contorno (E) e tra Densità Verticale*Contorno (F).*

Velocità. Il modello spiega il 65,34% della varianza nelle valutazioni della sulla velocità, tenendo conto degli effetti casuali. Il modello ha rivelato un effetto principale significativo del Contorno ($\chi^2(2) = 204,99, p < .0001$), mostrando che i partecipanti hanno percepito che il contorno Ascendente ha una velocità maggiore rispetto a quello Discendente e che quello Piatto ha una velocità maggiore rispetto a quello Ascendente e Discendente (Figura 2.3A). È stato riscontrato un effetto principale significativo per la Densità Verticale ($\chi^2(2) = 122,27, p < .0001$), questo mostra che i partecipanti hanno percepito che le melodie ad alta Densità Verticale hanno una velocità maggiore rispetto a quelle Medie e Basse, e che quelle basse hanno una velocità maggiore rispetto a quelle medie (Figura 2.3B). È stato riscontrato un effetto principale significativo sul Pattern di Note ($\chi^2(2) = 1509,35, p < .0001$), questo mostra che i partecipanti hanno percepito che la Quaternaria ha una velocità maggiore della Ternaria e della Binaria, e che la ternaria ha una velocità maggiore della Binaria (Figura 2.3C). Sono stati riscontrati effetti di interazione significativi per il Pattern di Note*Densità Verticale ($\chi^2(4) = 27,92, p < .0001$) (Figura 2.3D), e per il Contorno*Densità Verticale ($\chi^2(4) = 115,03, p < .0001$), (Figura 2.3E). Vedere la **Tabella 2.3** per i confronti post hoc di Tukey per gli effetti principali. per vedere i confronti post hoc di Tukey.

		Mean Difference	SE	t ₍₁₄₂₉₎	p	
Contorno	Ascendente	Discendente	2.16	0.82	2.64	.02*
		Piatto	-8.89	0.82	-10.87	<.0001***
	Discendente	Piatto	-11.06	0.88	-13.51	<.0001***
Densità Verticale	Alta	Media	8.94	0.82	10.93	<.0001***
		Bassa	5.64	0.82	6.89	<.0001***
	Media	Basa	-3.30	0.82	-4.04	<.001***
Pattern di Note	Quaternario	Ternario	17.7	0.82	21.61	<.0001***
		Binario	31.7	0.82	38.76	<.0001***
	Ternario	Binario	14.0	0.82	17.16	<.0001***

Tabella 2.3 Confronti post-hoc con il metodo di Tukey. Si possono osservare gli effetti del Contorno, della Densità Verticale, del Pattern di Note sulla percezione della Velocità.

$p < .05 = *$, $p < .01 = **$, $p < .001 = ***$

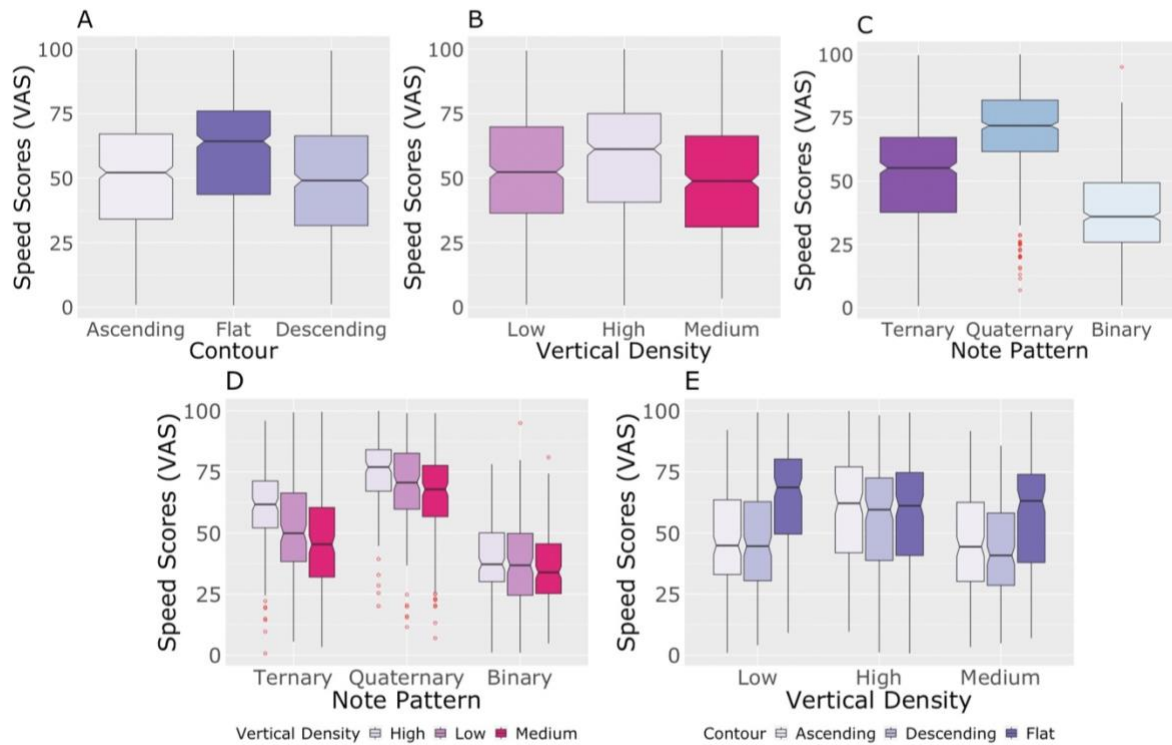


Figura 2.3 Velocità. I box plot riportano i risultati ottenuti dalla scala analogica visiva (VAS) rispettivamente per la Velocità rispetto agli effetti principali su Contorno delle melodie (A), la Densità Verticale (B), il Pattern di Note (C). Vengono anche riportati gli effetti di interazione principali per il Pattern di Note*Densità Verticale (D); tra il Pattern di Note* Contorno (E).

Loudness. Il modello spiega il 40,44% della varianza delle valutazioni di loudness, tenendo conto degli effetti casuali ($R^2_m = 0,23$, $R^2_c = 0,40$). Il modello ha rivelato un effetto principale significativo del Contorno ($\chi^2(2) = 50,93$, $p < .0001$), mostrando che i partecipanti hanno percepito il contorno Ascendente come meno forte di quello Piatto, e quello Discendente a sua volta come meno forte di quello Piatto, vedi **Figura 2.4A**. È stato riscontrato un effetto principale significativo per la Densità Verticale ($\chi^2(2) = 145,15$, $p < .0001$) che mostra che i partecipanti hanno percepito le melodie ad Alta Densità Verticale con un valore di Loudness maggiore rispetto a quelle Medie e Basse, e che quelle Medie evocano una Loudness maggiore rispetto a quelle Basse, **Figura 2.4B**. E' stato riscontrato un effetto principale significativo per il Pattern di Note ($\chi^2(2) = 344,76$, $p < .0001$) che mostra che i partecipanti hanno percepito che il Quaternario evoca una Loudness maggiore rispetto al Ternario e Binario, e il Ternario più del Binario, **Figura 2.4C**. Sono stati riscontrati effetti di interazione significativi per il Pattern di Note* Densità Verticale ($\chi^2(4) = 10,60$, $p = .031$), **Figura 2.4D**, per la

Densità Verticale * Contorno ($\chi^2(4)=23,00$, $p<.001$), **Figura 2.4E**, e per il Pattern di Note* Densità Verticale* Contorno ($\chi^2(8)= 17.15$, $p=.03$). La tabella (**Tabella 2.4**) mostra i confronti post hoc di Tukey per gli effetti principali.

		Mean Difference	SE	t ₍₁₄₃₀₎	p
Contorno					
Ascendente	Discendente	-0.77	0.82	-0.94	.62
	Piatto	-5.38	0.82	-6.60	<.0001***
Discendente	Piatto	-4.61	0.88	-5.66	<.0001***
Densità Verticale					
Alta	Media	7.16	0.82	8.78	<.0001***
	Bassa	9.40	0.82	11.53	<.0001***
Media	Basa	2.24	0.82	2.75	.017*
Pattern di Note					
Quaternario	Ternario	6.01	0.82	7.37	<.0001***
	Binario	15.04	0.82	18.44	<.0001***
Ternario	Binario	9.03	0.82	11.08	<.0001***

Tabella 2.4 Confronti post-hoc con il metodo di Tukey. Si possono osservare gli effetti del Contorno, della Densità Verticale, del Pattern di Note sulla percezione della Loudness.

$p<.05=*$, $p<.01=**$, $p<.001=***$

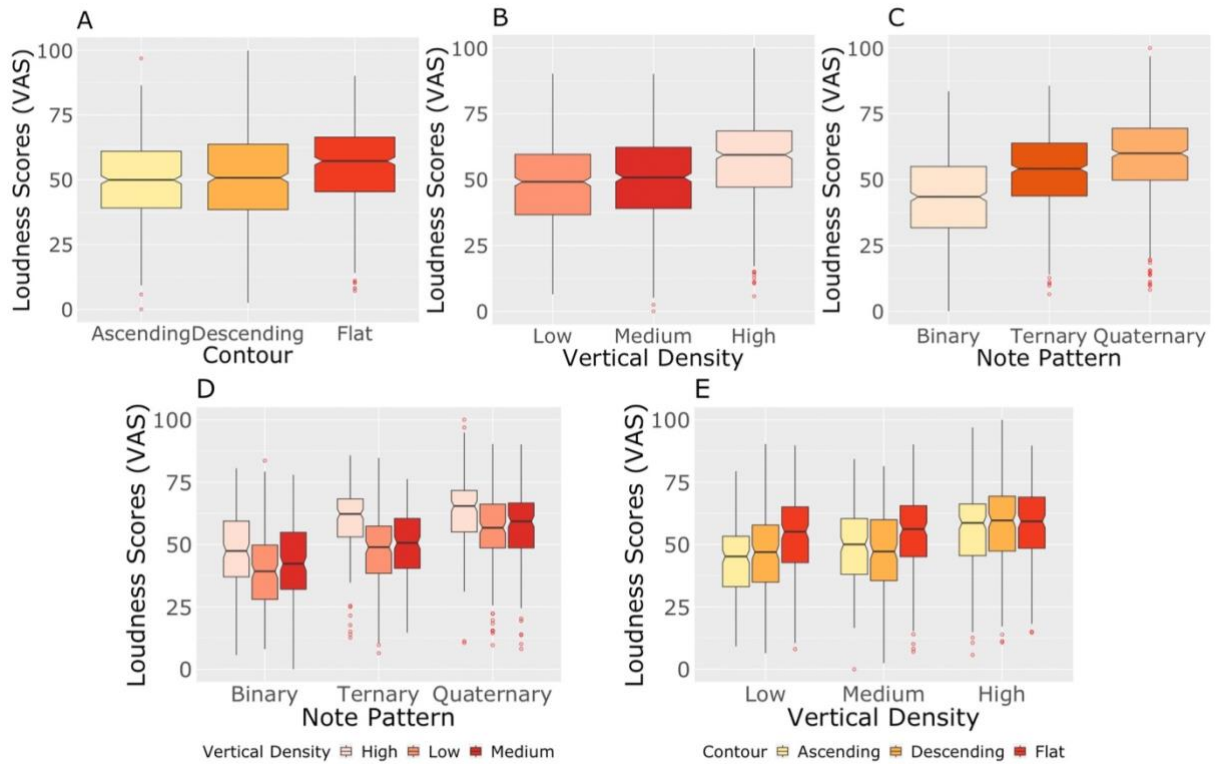


Figura 2.4 Loudness. I box plot riportano i risultati ottenuti dalla scala analogica visiva (VAS) rispettivamente per la Velocità rispetto agli effetti principali su Contorno delle melodie (A), la Densità Verticale (B), il Pattern di Note (C). Vengono anche riportati gli effetti di interazione principali per il Pattern di Note* Densità Verticale (D); tra la Densità Verticale*Contorno(E).

Ripetitività. Il modello spiega il 74,21% della varianza delle valutazioni di Ripetitività, tenendo conto degli effetti casuali ($R2m = 0,50$, $R2c = 0,74$). Il modello ha rivelato un effetto principale significativo del Contorno ($\chi^2(2) = 2462,89$, $p < .0001$), mostrando che i partecipanti hanno percepito il Contorno Discendente come più ripetitivo di quello Ascendente e quello piatto come più ripetitivo di quelli Ascendenti e Discendenti (**Figura 2.5A**). È stato riscontrato un effetto principale significativo per la Densità Verticale ($\chi^2(2) = 84,33$, $p < .0001$), che mostra che i partecipanti hanno percepito le melodie ad alta Densità Verticale come meno ripetitive di quelle Medie e Basse, e quelle medie come meno ripetitive di quelle Basse (**Figura 2.5B**). È stato riscontrato un effetto principale significativo per il Pattern di Note ($\chi^2(2) = 28,68$, $p < .0001$) che mostra che i partecipanti hanno percepito il Quaternario come più ripetitivo del Ternario e del Binario, e il Ternario più ripetitivo del Binario (**Figura 2.5C**). Sono stati riscontrati effetti di interazione significativi per il Pattern di Note*Densità Verticale ($\chi^2(4) = 60,78$, $p < .0001$) (**Figura 2.5D**), il Pattern di Note*Contorno ($\chi^2(4) = 84,96$, $p < .0001$) (**Figura 2.5E**), Densità verticale*Contorno ($\chi^2(4) = 92,56$, $p < .0001$) (**Figura 2.5F**), e il Pattern di Note*Densità verticale*Contorno ($\chi^2(8) = 122,52$, $p < .0001$).

Consultare la Tabella 2.5 per i confronti post hoc di Tukey per gli effetti principali.

		Mean Difference	SE	$t_{(1427)}$	p
Contorno	Ascendente				
	Discendente	-2.3	0.90	-2.57	.028*
	Piatto	-39.6	0.90	-44.17	<.0001***
Discendente	Piatto	-37.3	0.90	-41.66	<.0001***
Densità Verticale	Alta				
	Media	-5.46	0.90	-6.10	<.0001***
	Bassa	-8.05	0.90	-8.99	<.0001***
Media	Basa	-2.59	0.90	2.89	.011*
Pattern di Note	Quaternario				
	Ternario	0.78	0.90	0.88	0.66
	Binario	4.48	0.90	5.00	<.0001***
Ternario	Binario	3.70	0.90	4.13	.0001***

Tabella 2.5 Confronti post-hoc con il metodo di Tukey. Si possono osservare gli effetti del Contorno, della Densità Verticale, del Pattern di Note sulla percezione della Ripetitività.

$p < .05 = *$, $p < .01 = **$, $p < .001 = ***$

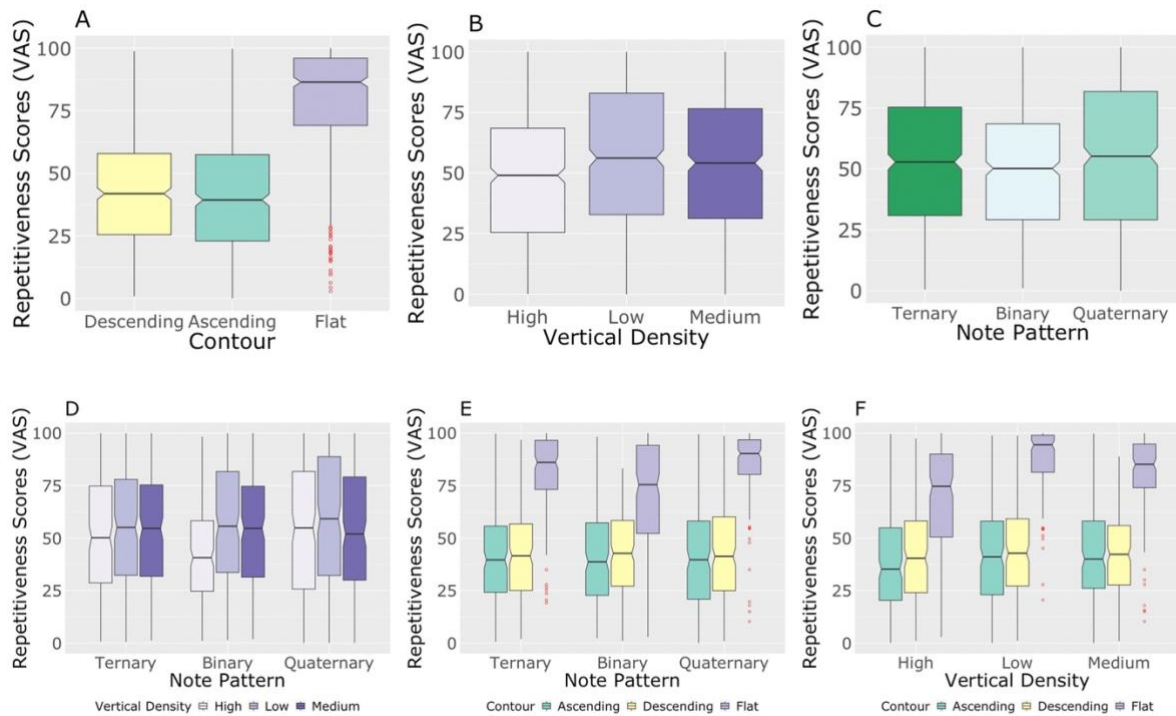


Figura 2.5 Ripetitività I box plot riportano i risultati ottenuti dalla scala analogica visiva (VAS) rispettivamente per la Velocità rispetto agli effetti principali su Contorno delle melodie (A), la Densità Verticale (B), il Pattern di Note (C). Vengono anche riportati gli effetti di interazione principali per il Pattern di Note*Densità Verticale(D), Pattern di Note*Contorno(E), Densità Verticale*Contorno(F).

Correlazione. I risultati delle correlazioni di Spearman (vedi Tabella 2.6), dopo aver apportato la correzione di Bonferroni ($p = .05/6 = .008$), segnalano che tre correlazioni positive sono risultate significative: Loudness*Pitch ($R = .48, p = <.001$), Loudness*Velocità ($R = 0.55, p < .0001$) e Pitch*Velocità ($R = .41, p = .002$). Vedere Figura 2.6

		S	R	p
Pitch	Velocità	17338	0.41	.002*
	Loudness	15144	0.48	<.001*
	Ripetitività	37964	-0.30	.026
Velocità	Loudness	13310	0.55	<.0001*
	Ripetitività	32858	-0.12	.366
Loudness	Ripetitività	33878	-0.16	.245

$p < .008 = *$

Tabella 2.6 Correlazioni di Spearman tra le valutazioni dei partecipanti.

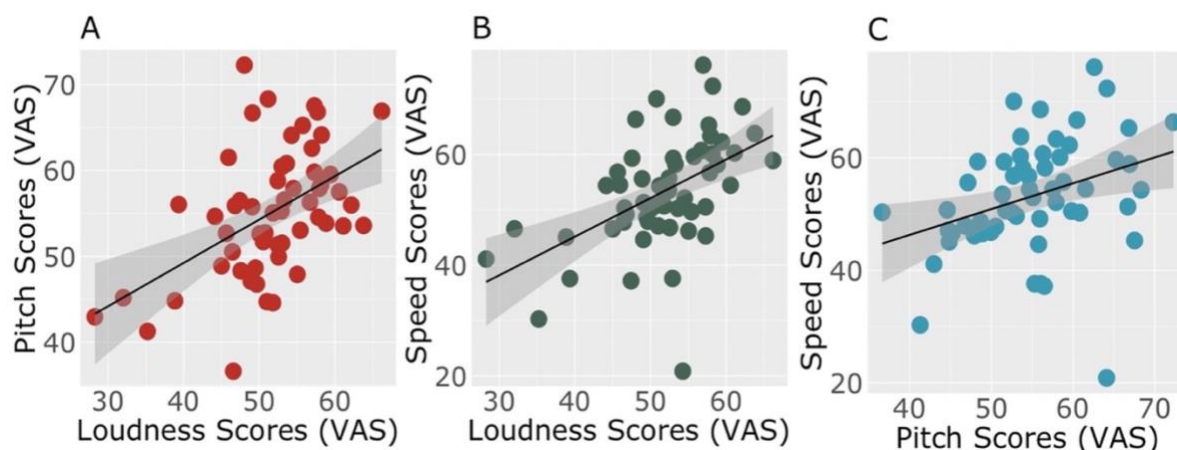


Figura 2.6 Gli scatterplot riportano le tre correlazioni positive risultate significative con il relativo intervallo di confidenza. In A viene riportata la correlazione tra Loudness e Pitch, in B la correlazione tra Loudness e Velocità, in C la correlazione tra Pitch e Velocità.

2.4.1 Discussione

Nello Studio 2 sono state analizzate le risposte a 4 domande relative a Pitch, Loudness, Velocità e Ripetitività; registrate da un gruppo di soggetti, non esperti nel campo musicale, in risposta all'ascolto passivo di 27 tracce musicali. Dai risultati dell'analisi si evidenziano delle significatività date dagli effetti principali di Contorno, Densità Verticale e Pattern di Note per tutte le domande. Dai confronti post-hoc è emerso un numero molto elevato di interazioni significative tra i fattori, per tale ragione sono state discusse solo le interazioni significative, e le interazioni a tre vie non saranno discusse. È fornito il Materiale Supplementare per l'elenco completo delle interazioni significative tra fattori (consultare le Sezioni 6 e 7 del Materiale Supplementare).

Pitch e Loudness. Dai risultati del disegno correlazionale tra Pitch e Loudness è emerso un risultato conforme sull'associazione cross-modale maggiormente dimostrata in letteratura scientifica. Come accennato nelle premesse teoriche, le precedenti ricerche (Küssner & Leech-Wilkinson, 2013) hanno dimostrato una corrispondenza tra queste due dimensioni attraverso una rappresentazione grafica degli stimoli sonori, oppure attraverso un compito di discriminazione sensoriale simile all'effetto

stroop (Melara & Mounts, 1994). Dall'effetto principale sulla Densità Verticale è emerso che rispetto al Pitch, Alta è stata percepita come più alta rispetto alle altre (Media e Bassa) e lo stesso è stato riscontrato per Loudness, questo può essere chiarito se si fa riferimento alle caratteristiche musicali specifiche della Densità Verticale. La Bassa Densità Verticale è caratterizzata da una sola linea melodica, quella Media da una nota pedale sotto la linea melodica, mentre quella Alta è formata da voci melodiche aggiuntive, quindi considerando queste caratteristiche intrinseche della variabile Densità Verticale, si può determinare che i partecipanti hanno percepito l'aggiunta della nota pedale nella condizione di Media Densità come un abbassamento dell'altezza complessiva, mentre nel caso della condizione di Alta Densità l'aggiunta delle voci melodiche ha comportato la percezione di un aumento complessivo dell'intonazione. Se invece si considera l'effetto principale del Pattern di Note, l'aumento della densità orizzontale è risultato associato all'aumento della percezione di Loudness. Per quanto riguarda il Contorno, quello Piatto è stato percepito come più forte rispetto agli altri due. Quanto esposto riguarda le valutazioni sugli effetti principali, se si considerano invece le interazioni bidirezionali è stato riscontrato un effetto "tetto" molto interessante. L'aumento di Loudness, associato ad un'alta Densità Verticale, diminuisce quando interagisce con il Pattern di Note Quaternario (Densità Verticale*Pattern di Note) o al Contorno Piatto (Densità Verticale*Contorno). Lo stesso dato è stato riscontrato sul Pitch, inoltre tutte le interazioni per l'intonazione sono risultate significative. Sull'effetto principale del Pattern di Note, il Pattern Quaternario è stato percepito con un Pitch più alto rispetto agli altri Pattern, anche l'effetto Densità Verticale sembra avere un effetto additivo rispetto al Pattern di Note, anche se l'effetto più significativo risulta essere comunque quello della Densità Verticale. Questi risultati, oltre a sottolineare la correlazione tra Pitch e Loudness come accennato all'inizio del paragrafo, dimostrano l'esistenza di interazioni cross-modali del Pattern di Note e della Densità Verticale. In un'ultima analisi, parlando dell'effetto principale del Contorno, è stato osservato tra Pitch quando analizzato rispetto al Contorno Ascendente. Esso è stato percepito come più Alto quando veniva vista in interazione con la Densità Verticale (Contorno*Densità Verticale), mentre il Contorno Piatto è stato percepito come più Alto nel caso della Densità Bassa,

ma non per quella Media o Alta. Questo dimostrerebbe che il Contorno Piatto viene percepito come più acuto in assenza della nota pedale e che questa componente accompagna anche la percezione delle Ripetitività che verrà discussa nei paragrafi successivi.

Velocità. Per quanto riguarda l'effetto principale sul Pattern di Note, il pattern Quaternario è stato percepito come più veloce degli altri. Tutte le condizioni (Pattern Binario, Ternario e Quaternario) hanno lo stesso tempo a livello di battute, con la differenza che il Quaternario presenta una maggiore densità orizzontale. I risultati dello Studio 2 hanno confermato l'esistenza di un confondimento tra Pattern di Note e densità orizzontale, in quanto la condizione Quaternaria è stata valutata dai partecipanti come più veloce, seguita dalla condizione Ternaria e Binaria. Hansen & Huron (2019), oltre a discutere gli effetti provocati dal Pattern di Nota Ternario, avevano inoltre scoperto che la velocità poteva essere correlata al movimento in generale, su questa base è stato ipotizzato che la percezione dell'aumento di Velocità, potrebbe essere stato percepito dai partecipanti anche come un aumento della percezione di un movimento rotatorio. Per confermare questa particolare relazione, sarebbe però necessario un altro esperimento che chieda esplicitamente ai partecipanti che tipo di movimento percepiscono durante l'ascolto dei brani. Sono state inoltre rintracciate correlazioni significative tra Velocità e Pitch e Velocità e Loudness. Questa percezione non sorprende considerato che vi è una letteratura scientifica a supporto della relazione tra Pitch e Velocità, dove il Pitch più alto viene di solito percepito come più veloce, mentre quello più basso come lento (Eitan et al., 2014). È stato inoltre dimostrato (Eitan & Timmers, 2010) come questa associazione sia intrinseca nella cultura occidentale nel modo di esprimere a livello metaforico una mappatura spaziale che tende verso la verticalità. Inoltre in uno studio sull'intonazione dinamica viene riportata un'associazione tra l'accelerazione del ritmo e la percezione di un movimento di discesa (Eitan & Granot, 2006), associazione che però non concorda con i risultati di questo studio.

Un'altra associazione ricorrente in letteratura è quella tra Loudness e Velocità, (Eitan & Tubul, 2010) riprendono quanto analizzato precedentemente in (Eitan & Granot, 2006), valutando la percezione del movimento immaginario sia nei bambini che negli adulti. Quello che accomuna i risultati dei due

gruppi è che diverse componenti formali della musica evocano un movimento (tra queste ci sono la velocità e la loudness). A questo studio sulla componente immaginativa è stato associato lo studio di (Kohn & Eitan, 2009), il quale si è soffermato sulla corrispondenza tra il movimento eseguito da un campione di bambini e le caratteristiche delle melodie ascoltate.

In generale l'associazione percettiva tra Velocità e Loudness può essere interpretata come un fattore esperienziale, dove una melodia più veloce viene percepita anche come più forte.

Dopo la Loudness, un altro effetto principale significativo riscontrato è stato quello tra la Densità Verticale e la Velocità percepita (è importante sottolineare che lo studio analizzato si differenzia da quelli citati nella letteratura scientifica per l'utilizzo della variabile Densità Verticale), è stata rintracciata un'interazione tra Densità Verticale e il Pattern di Note (Densità Verticale*Pattern di Note), dove le condizioni di Alta Densità Verticale sono state percepite come più Veloci rispetto a quelle Medie e Basse, questo risultato però si è evidenziato solo per il Quaternario e Ternario. Questa percezione potrebbe essere legata alle caratteristiche intrinseche proprie della condizione di Alta Densità Verticale, dove l'aggiunta di voci melodiche potrebbe incrementare la percezione di una maggiore Velocità, mentre la mancata significatività rintracciata tra le condizioni di Media e Bassa Densità potrebbe essere dovuta al fatto che esse differiscono di poco in termini di caratteristiche musicali (la Densità Media differisce da quella Bassa per la sola aggiunta di una nota pedale). Quanto riportato non sembra valere per il Binario, dove è stata rintracciata una differenza più netta tra le condizioni della Densità Verticale, questo potrebbe essere dovuto al fatto che nel caso di questo Pattern la densità orizzontale era al di sotto della soglia che permette di distinguere una modulazione della velocità in funzione della condizione di Densità Verticale. Oppure potrebbe essere che nel caso del Pattern Binario era più facile identificare la sua struttura, in quanto accentuata dal tipo di ritmo, proprio della camminata umana. In ultima analisi per quanto riguarda il Contorno delle melodie in termini di effetti principali, il contorno Ascendente è stato percepito più veloce di quello Discendente, ma quello Piatto è stato percepito come più veloce rispetto agli altri due. A questo si aggiunge quanto osservato dall'interazione con la Densità Verticale, dove il contorno Piatto nella condizione di Bassa

Densità Verticale è stato percepito come più veloce rispetto alla Densità Alta e Media, mentre l'Alta Densità Verticale è stata percepita come più veloce rispetto alla condizione di Media e Bassa Densità (tranne nel caso del Contorno Piatto). Sorprendentemente la condizione Piatta è stata percepita come più veloce rispetto al Contorno Ascendente e Discendente (tranne per la condizione di Alta Densità Verticale), sommariamente questo indica che sia il Contorno piatto che la Densità Verticale Alta aumentano la percezione della Velocità, anche se con rendimenti decrescenti nel caso della loro interazione. Si è ipotizzato che l'Alta Densità Verticale possa essere percepita come più veloce a causa della maggiore presenza di eventi musicali che la portano a trasmettere più energia, mentre nel caso del Contorno Piatto è meno chiaro il perché esso sia stato percepito come più veloce, forse questo risultato è scaturito alla natura ripetitiva degli stimoli piatti.

Ripetitività. I risultati più interessanti che riguardano questa dimensione sono gli effetti prodotti dal Contorno Piatto. Rispetto allo Studio 1, dove il contorno piatto ha evocato le valutazioni più basse per tutte le domande, infatti in questo studio il Contorno Piatto è stato percepito come più forte in termini di Loudness e più veloce. Nello Studio1 il Contorno Piatto ha riscontrato delle basse valutazioni in termini di rotazione percepita e questo è coerente con quanto supportato da (Hansen & Huron, 2019), i quali hanno riscontrato una correlazione tra la rotazione percepita e il “moving pitch” (ovvero il movimento del Pitch). Su queste basi, si potrebbe pensare che il Contorno Piatto possa essere stato percepito sia come una mancanza di movimento (e quindi essere un valido controllo rispetto al contorno Ascendente e Discendente), sia come una melodia ripetitiva dovuta alla natura della sua struttura. Il Contorno Piatto è stato considerato ripetitivo anche quando si sono controllati gli effetti della Densità Verticale e del Pattern di Note. Considerando la Ripetitività nell'interazione tra la Densità Verticale e il Contorno (Densità Verticale*Contorno), una Bassa Densità Verticale è stata percepita come più ripetitiva (ma questo vale solo nel caso del Contorno Piatto), inoltre il Piatto veniva percepito come una via di mezzo tra quello Ascendente e Discendente (e in questo caso sembra palesare la sua funzione di controllo). Nel caso del Pattern di Note il Pattern Quaternario è stato percepito come più ripetitivo, seguito da quello Ternario e Binario, e questo potrebbe essere legato

ad un confondimento che caratterizza il Pattern di Note e la Velocità, dove il Pattern Quaternario viene percepito come più veloce in quanto presenta una maggiore densità orizzontale di note all'interno di uno schema ricorrente. Si è anche evidenziata un'interazione tra Densità Verticale e Pattern di Note (Densità Verticale*Pattern di Note), dove l'effetto del Pattern di Note è stato identificato solo in relazione all'Alta Densità Verticale. L'Alta Densità Verticale è stata percepita come meno ripetitiva rispetto a quella Media e Bassa. La Bassa Densità Verticale e il Pattern Quaternario considerate individualmente sono state percepite come ripetitive, mentre se combinate hanno avuto un effetto più ridotto.

Lo **Studio 2** quindi nasce con l'obiettivo di approfondire i risultati emersi dallo Studio 1 il quale, come esposto nei paragrafi precedenti, fa riferimento alla teoria ecologica dei suoni rotanti (EToRS) (Hansen & Huron, 2019), all'ipotesi di subvocalizzazione mimetica (nello specifico all'interpretazione della locuzione "greater is higher") (Cox, 2017) e alle associazioni cross-modali (Eitan et al., 2014). A partire dalla considerazione sulla teoria ecologia dei suoni rotanti, nello Studio 1 era emersa una perplessità sostanziale sulle caratteristiche degli stimoli musicali utilizzati in relazione al Pattern di Note perché nonostante ci fosse una variazione tra i Pattern di Note che comportava una maggiore densità orizzontale, il tempo rimaneva costante a livello di battuta e questa caratteristica dello stimolo poteva essere percepita come un tempo più veloce a livello di croma. Lo Studio 2 ha infatti ha confermato che il Pattern Quaternario viene percepito come più veloce, seguito dal Ternario e poi dal Binario, questo aggiunge alla teoria sulla percezione del movimento rotatorio delle terzine, (Hansen & Huron, 2019) una correlazione con la percezione della Velocità, in quanto i partecipanti dello Studio 2, hanno valutato i Pattern con una maggiore densità orizzontale di note, come più veloci e questo come accennato precedentemente, potrebbe essere correlato alla percezione del movimento in generale e nello specifico di quello rotatorio (aspetto che necessita di ulteriori indagini).

Quanto supportato da (Cox, 2011) in relazione alla subvocalizzazione mimetica si riconosce nell'interrelazione riscontrata tra Pitch, Velocità e Loudness, componenti che hanno una forte valenza a livello percettivo in quanto richiamano l'effetto di una natura energetica del suono la quale suscita la percezione di un maggiore sforzo nel movimento. Questo è in linea con quanto proposto dalla teoria della partecipazione mimetica riguardo la subvocalizzazione mimetica della voce e al significato della locuzione "greater is higher" (Cox, 2017), teoria che supporta l'idea secondo quale, la comprensione del significato musicale avviene attraverso una forma di mimesi che fa riferimento allo sforzo fisico necessario per produrre il suono ascoltato. Secondo questa logica, qualsiasi strumento musicale che implichi un aumento di Pitch, Loudness o Velocità, può essere interpretato attraverso la correlazione con lo sforzo fisico necessario per produrlo con la voce.

Questo tipo di rispecchiamento ricorda la risonanza motoria propria del meccanismo mirror (Gallese, 2009), ma nel caso specifico di questi esperimenti questa associazione rimane ad un livello teorico in quanto non è stata fatta un'analisi di neuro-imaging che potrebbe confermare la potenziale attivazione delle aree motorie. In generale, per quanto riguarda le corrispondenze cross-modali (CMC) nello studio sono state confermate la maggior parte delle CMC evidenziate nella letteratura precedente (come quella tra Pitch e Loudness (Melara & Mounts, 1994)). L'aspetto innovativo di questo esperimento è che ha utilizzato stimoli naturalistici dinamici e complessi che includevano più voci melodiche e questo potrebbe spiegare i risultati discordanti ottenuti sulla Velocità e Pitch rispetto alla letteratura precedente (Eitan & Granot, 2006).

Limiti. Dai risultati emerge un quadro coerente con l'effetto incarnato prodotto da stimoli musicali, tuttavia senza un controllo tramite una registrazione di neuro-imaging non si può confermare che questo meccanismo di risonanza attivi il sistema mirror.

La creazione di stimoli musicali, seppur altamente controllati in quanto sono stati creati a livello digitale creando degli stimoli che rispettassero determinate caratteristiche formali, ha implicato delle interferenze nella percezione di variabili, come il Pattern di Note e la Densità Verticale. Nel caso si

dovessero utilizzare degli stimoli alternativi, ci si dovrebbe assicurare di mantenere il tempo costante cambiando il raggruppamento metrico, ricordando di considerare la distribuzione degli accenti all'interno di una battuta (e questo poi dovrebbe essere correlato eventualmente allo studio sulla percezione della rotazione). La percezione del Contorno Piatto come maggiormente ripetitivo rispetto alle altre condizioni molto probabilmente è dovuto al fatto che gli stimoli sono stati eseguiti al pianoforte, ogni condizione presentava lo stesso numero di note ma nel contorno piatto le note venivano riprodotte sulle stesse altezze. Studi futuri quindi potrebbero utilizzare strumenti diversi, in questo studio il pianoforte è stato utilizzato perché permetteva di studiare la densità verticale. Per quanto riguarda il Contorno Piatto e se esso possa considerarsi un valido controllo, nello Studio 2 è stato percepito effettivamente come più ripetitivo, ma questo non sembra influenzare invece quanto evidenziato nello Studio 1, dove si è osservato che il Contorno Piatto suscitava una percezione di movimento rotatorio inferiore rispetto alle altre due condizioni e questo, in linea con la letteratura (Hansen & Huron, 2019), potrebbe essere dovuto alla mancanza di movimento delle tonalità (confermando il suo ruolo effettivo di controllo). Le variabili analizzate in entrambi gli studi si basano fondamentalmente sulle valutazioni esplicite dai partecipanti dopo l'ascolto delle tracce musicali, da questo si intuisce quindi che le domande selezionate svolgono un ruolo fondamentale. Nello Studio 1 alcune domande sono state poste intenzionalmente in modo vago, però questo ha portato con sé delle difficoltà a livello interpretativo. Nello Studio 2 invece, l'aspetto che è emerso in merito alle domande riguarda le caratteristiche intrinseche della lingua italiana, la quale nel definire alcune componenti o caratteristiche musicali tende ad utilizzare delle terminologie dalla forte valenza incarnata, e spesso si riferisce all'espressività di come vengono prodotti i suoni piuttosto che riferirsi ai suoni stessi (ad esempio parole come "forte" e "piano" si riferiscono allo sforzo necessario per produrre uno specifico suono musicale piuttosto che ad una qualità musicale). Ad esempio, dalle valutazioni dei partecipanti ad un esperimento pilota fatto in merito all'interpretazione delle domande, è stato osservato che la parola "forte" poteva riferirsi sia all'intensità che alla "freddezza

emotiva”, per ovviare al problema nell’esperimento ufficiale si è scelto di porre la domanda nel modo seguente: “come ti sembrava suonato il brano musicale?” (la scala VAS andava da piano a forte).

In ultima analisi, è importante specificare un aspetto che riguarda le valutazioni dei partecipanti in merito alla percezione del movimento. Dalle sole valutazioni non si può dedurre in che termini esatti il movimento possa essere percepito, se ad esempio è stato percepito in termini metaforici, apparenti, virtuali o se si è avuta percezione di un auto-movimento (ad esempio, nel caso della rotazione non è stato chiesto se i soggetti se la percezione di un movimento rotatorio era attribuito al suono o era una percezione in prima persona), ricerche future saranno necessarie per approfondire questo aspetto.

Inoltre, mentre il primo studio è stato svolto in laboratorio, il secondo è stato svolto online, quindi un aspetto da considerare per le prossime ricerche è l’eventualità che ci possa essere una differenza in base al contesto nel quale viene svolto l’esperimento.

Conclusioni

L'obiettivo dello studio comportamentale oggetto di questa tesi è stato quello utilizzare un set di stimoli musicali controllati per verificare l'esistenza di associazioni di interazioni cross-modali alla base della percezione musicale incarnata, verificando se queste associazioni potessero essere spiegate dalla teoria della subvocalizzazione mimetica e "greater is higher" (Cox, 2017) e dalla teoria EtoRS (Hansen & Huron, 2019). I risultati dello Studio 2 hanno fornito una testimonianza dell'esistenza di diverse associazioni cross-modali, in particolare quella tra Pitch, Loudness e Velocità in relazione alla percezione di un maggiore sforzo fisico. Infatti, la percezione di queste associazioni ha trovato origine nella sensazione di sforzo suscitato, è stato osservato che qualsiasi fattore musicale che implichi o richieda uno sforzo fisico maggiore, che sia esso dovuto ad una maggiore complessità armonica, al tempo o all'intonazione crescente, può concorrere a suscitare la sensazione di un maggiore sforzo fisico. Ad esempio, un Pitch crescente, richiede una maggiore tensione a livello della laringe e questo implica un maggiore sforzo (Cox, 2017). La sensazione di sforzo fisico quindi potrebbe essere un fattore di mediazione nella percezione del movimento in generale (e nello specifico di quello rotatorio). Tuttavia, trattandosi di uno studio self-report, sono necessarie ulteriori ricerche che utilizzino delle metodologie a supporto di quanto riscontrato, come le tecniche di neuroimaging oppure di neurostimolazione. Studi futuri potrebbero infatti concentrarsi su come "catturare" il movimento suscitato in risposta all'ascolto degli stessi stimoli musicali utilizzati nell'esperimento comportamentale, ad esempio, tramite registrazioni neurofisiologiche o di neuroimaging con l'obiettivo di misurare l'effettiva attivazione muscolare e l'attività cerebrale in risposta agli stimoli, includendo eventualmente, anche dei confronti interculturali per indagare il contributo del linguaggio nelle valutazioni soggettive dei partecipanti. Ad esempio, le valutazioni soggettive sulla percezione del movimento, potrebbero essere associate all'impulso di muoversi a ritmo di musica e quindi, attraverso l'utilizzo delle tecniche adeguate si potrebbe registrare un'attività delle aree motorie (come già dimostrato nello studio di Wallmark et al., 2018). Inoltre, sono state già condotte delle ricerche a supporto dell'esistenza di associazioni cross-modali, come quelle sul Pitch

(Godøy & Leman, 2010), ma attualmente non esistono prove a supporto dell'esistenza di risposte motorie alla percezione del movimento rotatorio come proposto dalla teoria EToRS. Si può ipotizzare che stimoli musicali che suscitano un movimento rotatorio possano indurre un movimento simile a quello che caratterizza la danza del valzer. Inoltre, se effettivamente la subvocalizzazione mimetica contribuisce a percepire CMC tra Pitch e sforzo, come la relazione tra altezza, velocità e volume, osservata appunto nello Studio 2, si potrebbe registrare l'attività EMG della laringe soprattutto in relazione ai passaggi melodici ascendenti. Mentre, le tecniche di neurostimolazione, come ad esempio quella magnetica, potrebbero essere utilizzate per inattivare temporaneamente le aree del cervello che si ipotizza siano rilevanti per la percezione di queste associazioni, con l'obiettivo di osservare gli effetti di questa inibizione.

Bibliografia

- Adler, S. A., Comishen, K. J., Wong-Kee-You, A. M. B., & Chubb, C. (2020). Sensitivity to major versus minor musical modes is bimodally distributed in young infants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *147*(6), 3758–3764. <https://doi.org/10.1121/10.0001349>
- Amaro, E., & Barker, G. J. (2006). Study design in fMRI: Basic principles. *Brain and Cognition*, *60*(3), 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2005.11.009>
- Arnie Cox. (2017). *Music and Embodied Cognition*. Indiana University Press. <https://iupress.org/9780253032317/music-and-embodied-cognition/>
- Bamford, J. M. S., & Davidson, J. W. (2019). Trait Empathy associated with Agreeableness and rhythmic entrainment in a spontaneous movement to music task: Preliminary exploratory investigations. *Musicae Scientiae*, *23*(1), 5–24. <https://doi.org/10.1177/1029864917701536>
- Bangert, M., Peschel, T., Schlaug, G., Rotte, M., Drescher, D., Hinrichs, H., Heinze, H.-J., & Altenmüller, E. (2006). Shared networks for auditory and motor processing in professional pianists: Evidence from fMRI conjunction. *NeuroImage*, *30*(3), 917–926. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.10.044>
- Barraclough*, N. E., Xiao*, D., Baker, C. I., Oram, M. W., & Perrett, D. I. (2005). Integration of Visual and Auditory Information by Superior Temporal Sulcus Neurons Responsive to the Sight of Actions. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(3), 377–391. <https://doi.org/10.1162/0898929053279586>
- Bates, D., Kliegl, R., Vasishth, S., & Baayen, H. (2018). *Parsimonious Mixed Models* (arXiv:1506.04967). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1506.04967>
- Ben-Artzi, E., & Marks, L. E. (1995). Visual-auditory interaction in speeded classification: Role of stimulus difference. *Perception & Psychophysics*, *57*(8), 1151–1162. <https://doi.org/10.3758/bf03208371>
- Botvinick, M., Jha, A. P., Bylsma, L. M., Fabian, S. A., Solomon, P. E., & Prkachin, K. M. (2005). Viewing facial expressions of pain engages cortical areas involved in the direct experience of pain. *NeuroImage*, *25*(1), 312–319. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.11.043>
- Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G. R., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Seitz, R. J., Zilles, K., Rizzolatti, G., & Freund, H. J. (2001). Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: An fMRI study. *The European Journal of Neuroscience*, *13*(2), 400–404.
- Buccino, G., Vogt, S., Ritzl, A., Fink, G. R., Zilles, K., Freund, H.-J., & Rizzolatti, G. (2004). Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: An event-related fMRI study. *Neuron*, *42*(2), 323–334. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(04\)00181-3](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(04)00181-3)
- Callan, D. E., Tsytsarev, V., Hanakawa, T., Callan, A. M., Katsuhara, M., Fukuyama, H., & Turner, R. (2006). Song and speech: Brain regions involved with perception and covert production. *NeuroImage*, *31*(3), 1327–1342. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.01.036>
- Carr, L., Iacoboni, M., Dubeau, M.-C., Mazziotta, J. C., & Lenzi, G. L. (2003). Neural mechanisms of empathy in humans: A relay from neural systems for imitation to limbic areas. *Proceedings of*

the National Academy of Sciences, 100(9), 5497–5502. <https://doi.org/10.1073/pnas.0935845100>

Caruana, F., Avanzini, P., Gozzo, F., Pelliccia, V., Casaceli, G., & Rizzolatti, G. (2017). A mirror mechanism for smiling in the anterior cingulate cortex. *Emotion*, 17, 187–190. <https://doi.org/10.1037/emo0000237>

Caruana, F., Jezzini, A., Sbriscia-Fioretti, B., Rizzolatti, G., & Gallese, V. (2011). Emotional and Social Behaviors Elicited by Electrical Stimulation of the Insula in the Macaque Monkey. *Current Biology*, 21(3), 195–199. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.12.042>

Cattaneo, L., & Rizzolatti, G. (2009). The Mirror Neuron System. *Archives of Neurology*, 66(5), 557–560. <https://doi.org/10.1001/archneurol.2009.41>

Chen, J. L., Penhune, V. B., & Zatorre, R. J. (2008). Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 18(12), 2844–2854. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhn042>

Christensen, R. H. B. (s.d.). *A Tutorial on fitting Cumulative Link Mixed Models with clmm2 from the ordinal Package*.

Clayton, M. (2012). *What is Entrainment? Definition and applications in musical research*. <https://doi.org/10.18061/1811/52979>

Cox, A. (2001). The Mimetic Hypothesis and Embodied Musical Meaning. *Musicae Scientiae*, 5(2), 195–212. <https://doi.org/10.1177/102986490100500204>

Cox, A. (2011). Embodying Music: Principles of the Mimetic Hypothesis. *Music Theory Online*, 17(2). <https://mtosmt.org/issues/mt0.11.17.2/mt0.11.17.2.cox.php>

Craig, A. D. (2002). How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Nature Reviews. Neuroscience*, 3(8), 655–666. <https://doi.org/10.1038/nrn894>

Darwin, 1872. (s.d.). *Darwin, C. R. 1872. The expression of the emotions in man and animals. London: John Murray. First edition*. Recuperato 1 marzo 2023, da <http://darwin-online.org.uk/content/frameset?pageseq=1&itemID=F1142&viewtype=text>

Davies, S. (2003). *Themes in the Philosophy of Music*. Clarendon Press.

Davis, M. H., Davis, M. P., Davis, M., Davis, M., Davis, M., Davis, M., Davis, M., Davis, F., Davis, H., & Davis, I. W. (1980). *A Multidimensional Approach to Individual Differences in Empathy*. <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Multidimensional-Approach-to-Individual-in-Davis-Davis/c717eb4e913c3249eac18d0fba13a1aa02d60dad>

Debnath, R., Salo, V. C., Buzzell, G. A., Yoo, K. H., & Fox, N. A. (2019). Mu rhythm desynchronization is specific to action execution and observation: Evidence from time-frequency and connectivity analysis. *NeuroImage*, 184, 496–507. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.09.053>

di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: A neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, 91(1), 176–180. <https://doi.org/10.1007/BF00230027>

- Dimberg, U. (1982). Facial Reactions to Facial Expressions. *Psychophysiology*, *19*(6), 643–647. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1982.tb02516.x>
- Eitan, Z., & Granot, R. Y. (2006). How Music Moves: : Musical Parameters and Listeners Images of Motion. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, *23*(3), 221–248. <https://doi.org/10.1525/mp.2006.23.3.221>
- Eitan, Z., Schupak, A., Gotler, A., & Marks, L. E. (2014). Lower pitch is larger, yet falling pitches shrink. *Experimental Psychology*, *61*(4), 273–284. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000246>
- Eitan, Z., & Timmers, R. (2010). Beethoven’s last piano sonata and those who follow crocodiles: Cross-domain mappings of auditory pitch in a musical context. *Cognition*, *114*(3), 405–422. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.10.013>
- Eitan, Z., & Tubul, N. (2010). Musical parameters and children’s images of motion. *Musicae Scientiae, Special Issue 2010*, 89–111.
- Ekman, P. (1992). Are there basic emotions? *Psychological Review*, *99*, 550–553. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.99.3.550>
- Emmens, A. R., F van Asseldonk, E. H., Prinsen, V., & der Kooij, H. van. (2020). Predicting reactive stepping in response to perturbations by using a classification approach. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, *17*(1), 84. <https://doi.org/10.1186/s12984-020-00709-y>
- Fabbri-Destro, M., & Rizzolatti, G. (2008). Mirror neurons and mirror systems in monkeys and humans. *Physiology (Bethesda, Md.)*, *23*, 171–179. <https://doi.org/10.1152/physiol.00004.2008>
- Fadiga, L., Buccino, G., Craighero, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Pavesi, G. (1998). Corticospinal excitability is specifically modulated by motor imagery: A magnetic stimulation study. *Neuropsychologia*, *37*(2), 147–158. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(98\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(98)00089-X)
- Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2000). *Visuomotor neurons: Ambiguity of the discharge or ‘motor’ perception?*
- Farina, D., Merletti, R., & Enoka, R. M. (2014). The extraction of neural strategies from the surface EMG: An update. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, *117*(11), 1215–1230. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00162.2014>
- Fassbender, C. (1996). Infants’ auditory sensitivity towards acoustic parameters of speech and music. In I. Deliège & J. Sloboda (A c. Di), *Musical Beginnings: Origins and Development of Musical Competence* (p. 0). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198523321.003.0003>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, *39*(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Fecteau, S., Carmant, L., Tremblay, C., Robert, M., Bouthillier, A., & Théoret, H. (2004). A motor resonance mechanism in children? Evidence from subdural electrodes in a 36-month-old child. *NeuroReport*, *15*(17), 2625.

- Ferri, F., Ebisch, S. J. H., Costantini, M., Salone, A., Arciero, G., Mazzola, V., Ferro, F. M., Romani, G. L., & Gallese, V. (2013). Binding Action and Emotion in Social Understanding. *PLOS ONE*, *8*(1), e54091. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054091>
- Filimon, F., Nelson, J. D., Hagler, D. J., & Sereno, M. I. (2007). Human cortical representations for reaching: Mirror neurons for execution, observation, and imagery. *NeuroImage*, *37*(4), 1315–1328. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.06.008>
- Fogassi, L., Ferrari, P. F., Gesierich, B., Rozzi, S., Chersi, F., & Rizzolatti, G. (2005). Parietal lobe: From action organization to intention understanding. *Science (New York, N.Y.)*, *308*(5722), 662–667. <https://doi.org/10.1126/science.1106138>
- Fox, J. (2003). Effect Displays in R for Generalised Linear Models. *Journal of Statistical Software*, *8*, 1–27. <https://doi.org/10.18637/jss.v008.i15>
- Gallese, V. (2002). Mirror Neurons and the Evolution of Brain and Language. *Mirror Neurons and the Evolution of Brain and Language*, 1–400.
- Gallese, V. (2009). Mirror Neurons, Embodied Simulation, and the Neural Basis of Social Identification. *Psychoanalytic Dialogues*, *19*(5), 519–536. <https://doi.org/10.1080/10481880903231910>
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., & Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, *119*(2), 593–609. <https://doi.org/10.1093/brain/119.2.593>
- Gallese, V., Keysers, C., & Rizzolatti, G. (2004). A unifying view of the basis of social cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(9), 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.07.002>
- Gallese, V., & Sinigaglia, C. (2011). What is so special about embodied simulation? *Trends in Cognitive Sciences*, *15*(11), 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.09.003>
- Gazzola, V., Aziz-Zadeh, L., & Keysers, C. (2006). Empathy and the somatotopic auditory mirror system in humans. *Current Biology: CB*, *16*(18), 1824–1829. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.07.072>
- Gazzola, V., van der Worp, H., Mulder, T., Wicker, B., Rizzolatti, G., & Keysers, C. (2007). Aphasics Born without Hands Mirror the Goal of Hand Actions with Their Feet. *Current Biology*, *17*(14), 1235–1240. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.06.045>
- Gerardin, E., Sirigu, A., Lehericy, S., Poline, J.-B., Gaymard, B., Marsault, C., Agid, Y., & Le Bihan, D. (2000). Partially Overlapping Neural Networks for Real and Imagined Hand Movements. *Cerebral Cortex*, *10*(11), 1093–1104. <https://doi.org/10.1093/cercor/10.11.1093>
- Gibson, J. J. (1966). The Problem of Temporal Order in Stimulation and Perception. *The Journal of Psychology*, *62*(2), 141–149. <https://doi.org/10.1080/00223980.1966.10543777>
- Gjerdingen, R. O. (1994). Apparent Motion in Music? *Music Perception*, *11*(4), 335–370. <https://doi.org/10.2307/40285631>
- Godøy, R. I., & Leman, M. (2010). *Musical Gestures: Sound, Movement, and Meaning*. Routledge.

- Grafton, S. T., Arbib, M. A., Fadiga, L., & Rizzolatti, G. (1996). Localization of grasp representations in humans by positron emission tomography. *Experimental Brain Research*, *112*(1), 103–111. <https://doi.org/10.1007/BF00227183>
- Hallett, M. (2007). Transcranial Magnetic Stimulation: A Primer. *Neuron*, *55*(2), 187–199. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.06.026>
- Halpern, A. R., & Zatorre, R. J. (1999). When that tune runs through your head: A PET investigation of auditory imagery for familiar melodies. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, *9*(7), 697–704. <https://doi.org/10.1093/cercor/9.7.697>
- Halpern, A. R., Zatorre, R. J., Bouffard, M., & Johnson, J. A. (2004). Behavioral and neural correlates of perceived and imagined musical timbre. *Neuropsychologia*, *42*(9), 1281–1292. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.12.017>
- Hamzei, F., Vry, M.-S., Saur, D., Glauche, V., Hoeren, M., Mader, I., Weiller, C., & Rijntjes, M. (2016). The Dual-Loop Model and the Human Mirror Neuron System: An Exploratory Combined fMRI and DTI Study of the Inferior Frontal Gyrus. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, *26*(5), 2215–2224. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhv066>
- Hansen, N. Chr., & Huron, D. (2019). Twirling Triplets: The Qualia of Rotation and Musical Rhythm. *Music & Science*, *2*, 2059204318812243. <https://doi.org/10.1177/2059204318812243>
- Hickok, G., Buchsbaum, B., Humphries, C., & Muftuler, T. (2003). Auditory-motor interaction revealed by fMRI: Speech, music, and working memory in area Spt. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *15*(5), 673–682. <https://doi.org/10.1162/089892903322307393>
- Iacoboni, M., Molnar-Szakacs, I., Gallese, V., Buccino, G., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (2005). Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLoS Biology*, *3*(3), e79. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0030079>
- Iacoboni, M., Woods, R. P., Brass, M., Bekkering, H., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (1999). Cortical mechanisms of human imitation. *Science (New York, N.Y.)*, *286*(5449), 2526–2528. <https://doi.org/10.1126/science.286.5449.2526>
- Jabbi, M., Bastiaansen, J., & Keysers, C. (2008). A common anterior insula representation of disgust observation, experience and imagination shows divergent functional connectivity pathways. *PloS One*, *3*(8), e2939. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002939>
- Janak, P. H., & Tye, K. M. (2015). From circuits to behaviour in the amygdala. *Nature*, *517*(7534), 284–292. <https://doi.org/10.1038/nature14188>
- Janata, P., & Grafton, S. T. (2003). Swinging in the brain: Shared neural substrates for behaviors related to sequencing and music. *Nature Neuroscience*, *6*(7), 682–687. <https://doi.org/10.1038/nn1081>
- Jastorff, J., Begliomini, C., Fabbri-Destro, M., Rizzolatti, G., & Orban, G. A. (2010). Coding Observed Motor Acts: Different Organizational Principles in the Parietal and Premotor Cortex of Humans. *Journal of Neurophysiology*, *104*(1), 128–140. <https://doi.org/10.1152/jn.00254.2010>
- Johnson, M., & Larson, S. (2003). «Something in the Way She Moves» Metaphors of Musical

Motion. *Metaphor and Symbol - METAPHOR SYMB*, 18, 63–84.
https://doi.org/10.1207/S15327868MS1802_1

Keysers, C., Wicker, B., Gazzola, V., Anton, J.-L., Fogassi, L., & Gallese, V. (2004). A Touching Sight: SII/PV Activation during the Observation and Experience of Touch. *Neuron*, 42(2), 335–346.
[https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(04\)00156-4](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(04)00156-4)

Kiš Žuvela, S., & Ostroški Anić, A. (2019). The embodied and the cultural in the conceptualization of pitch space in Croatian. *Jezikoslovlje*, 20.(2.), 199–219. <https://doi.org/10.29162/jez.2019.7>

Klapetek, A., Ngo, M. K., & Spence, C. (2012). Does crossmodal correspondence modulate the facilitatory effect of auditory cues on visual search? *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74(6), 1154–1167. <https://doi.org/10.3758/s13414-012-0317-9>

Kohler, E., Keysers, C., Umiltà, M. A., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2002). Hearing sounds, understanding actions: Action representation in mirror neurons. *Science (New York, N.Y.)*, 297(5582), 846–848. <https://doi.org/10.1126/science.1070311>

Kohn, D., & Eitan, Z. (2009a). *Musical Parameters and Children's Movement Responses*. ESCOM 2009 : 7th Triennial Conference of European Society for the Cognitive Sciences of Music. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/20885>

Kohn, D., & Eitan, Z. (2009b). *Musical Parameters and Children's Movement Responses*. ESCOM 2009 : 7th Triennial Conference of European Society for the Cognitive Sciences of Music. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/20885>

Kolesnikov, A., Bamford, J. S., Andrade, E., Montalti, M., Calbi, M., Langiulli, N., Parmar, M., Guerra, M., Gallese, V., & Umiltà, M. A. (2021). *Simulating musical rotation, contour and notes: Perception of (e)motion in nonmusicians*. PsyArXiv. <https://doi.org/10.31234/osf.io/nuzc9>

Kraskov, A., Dancause, N., Quallo, M. M., Shepherd, S., & Lemon, R. N. (2009). Corticospinal Neurons in Macaque Ventral Premotor Cortex with Mirror Properties: A Potential Mechanism for Action Suppression? *Neuron*, 64(6), 922–930. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.12.010>

Küssner, M., & Leech-Wilkinson, D. (2013). Investigating the influence of musical training on cross-modal correspondences and sensorimotor skills in a real-time drawing paradigm. *Psychology of Music*, 42, 448–469. <https://doi.org/10.1177/0305735613482022>

Leman, M. (2007). *Embodied Music Cognition and Mediation Technology*. MIT Press.

Leman, M., & Maes, P.-J. (2014). Music perception and embodied music cognition. In *The Routledge handbook of embodied cognition* (pp. 81–89). Routledge/Taylor & Francis Group.

Lepage, J.-F., & Théoret, H. (2006). EEG evidence for the presence of an action observation-execution matching system in children. *The European Journal of Neuroscience*, 23(9), 2505–2510. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2006.04769.x>

Livi, A., Lanzilotto, M., Maranesi, M., Fogassi, L., Rizzolatti, G., & Bonini, L. (2019). Agent-based representations of objects and actions in the monkey pre-supplementary motor area. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(7), 2691–2700. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810890116>

- Lui, F., Buccino, G., Duzzi, D., Benuzzi, F., Crisi, G., Baraldi, P., Nichelli, P., Porro, C. A., & Rizzolatti, G. (2008). Neural substrates for observing and imagining non-object-directed actions. *Social Neuroscience*, 3(3–4), 261–275. <https://doi.org/10.1080/17470910701458551>
- Maes, P.-J., Leman, M., Palmer, C., & Wanderley, M. (2014). Action-based effects on music perception. *Frontiers in Psychology*, 4. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2013.01008>
- Mazzola, V., Latorre, V., Petito, A., Gentili, N., Fazio, L., Popolizio, T., Blasi, G., Arciero, G., & Bondolfi, G. (2010). Affective Response to a Loved One's Pain: Insula Activity as a Function of Individual Differences. *PLOS ONE*, 5(12), e15268. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015268>
- McGarry, L. M., Russo, F. A., Schalles, M. D., & Pineda, J. A. (2012). Audio-visual facilitation of the mu rhythm. *Experimental Brain Research*, 218(4), 527–538. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3046-3>
- Melara, R. D., & Mounts, J. R. W. (1994). Contextual influences on interactive processing: Effects of discriminability, quantity, and uncertainty. *Perception & Psychophysics*, 56(1), 73–90. <https://doi.org/10.3758/BF03211692>
- Mesulam, M.-M., & Mufson, E. J. (1982). Insula of the old world monkey. III: Efferent cortical output and comments on function. *Journal of Comparative Neurology*, 212(1), 38–52. <https://doi.org/10.1002/cne.902120104>
- Mondloch, C. J., & Maurer, D. (2004). Do small white balls squeak? Pitch-object correspondences in young children. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 4(2), 133–136. <https://doi.org/10.3758/cabn.4.2.133>
- Muthukumaraswamy, S. D., Johnson, B. W., & McNair, N. A. (2004). Mu rhythm modulation during observation of an object-directed grasp. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 19(2), 195–201. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2003.12.001>
- Ndebele, P. (2013). The Declaration of Helsinki, 50 years later. *JAMA*, 310(20), 2145–2146. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281316>
- Nishitani, N., & Hari, R. (2000). Temporal dynamics of cortical representation for action. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(2), 913–918. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.2.913>
- Oberman, L. M., Hubbard, E. M., McCleery, J. P., Altschuler, E. L., Ramachandran, V. S., & Pineda, J. A. (2005). EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Cognitive Brain Research*, 24(2), 190–198. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.01.014>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97–113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Overy, K., & Molnar-Szakacs, I. (2009). Being Together in Time: Musical Experience and the Mirror Neuron System. *Music Perception*, 26(5), 489–504. <https://doi.org/10.1525/mp.2009.26.5.489>
- Parise, C. V. (2016). Crossmodal Correspondences: Standing Issues and Experimental Guidelines.

Multisensory Research, 29(1–3), 7–28. <https://doi.org/10.1163/22134808-00002502>

Peeters, R., Simone, L., Nelissen, K., Fabbri-Destro, M., Vanduffel, W., Rizzolatti, G., & Orban, G. A. (2009). The representation of tool use in humans and monkeys: Common and uniquely human features. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 29(37), 11523–11539. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2040-09.2009>

Peeva, D., Baird, B., Izmirlı, O., & Blevins, D. (2004). Haptic and sound correlations: Pitch, loudness and texture. *Proceedings. Eighth International Conference on Information Visualisation, 2004. IV 2004.*, 659–664. <https://doi.org/10.1109/IV.2004.1320212>

Peirce, J., Gray, J. R., Simpson, S., MacAskill, M., Höchenberger, R., Sogo, H., Kastman, E., & Lindeløv, J. K. (2019). PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. *Behavior Research Methods*, 51(1), 195–203. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-01193-y>

Ricciardi, E., Bonino, D., Sani, L., Vecchi, T., Guazzelli, M., Haxby, J. V., Fadiga, L., & Pietrini, P. (2009). Do we really need vision? How blind people «see» the actions of others. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 29(31), 9719–9724. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0274-09.2009>

Rizzolatti, G., Camarda, R., Fogassi, L., Gentilucci, M., Luppino, G., & Matelli, M. (1988). Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey. *Experimental Brain Research*, 71(3), 491–507. <https://doi.org/10.1007/BF00248742>

Rizzolatti, G., Fadiga, L., Matelli, M., Bettinardi, V., Paulesu, E., Perani, D., & Fazio, F. (1996). Localization of grasp representations in humans by PET: 1. Observation versus execution. *Experimental Brain Research*, 111(2), 246–252. <https://doi.org/10.1007/BF00227301>

Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2002). Motor and cognitive functions of the ventral premotor cortex. *Current Opinion in Neurobiology*, 12(2), 149–154. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(02\)00308-2](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(02)00308-2)

Rizzolatti, G., & Luppino, G. (2001). The Cortical Motor System. *Neuron*, 31(6), 889–901. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(01\)00423-8](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(01)00423-8)

Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2010). The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: Interpretations and misinterpretations. *Nature Reviews. Neuroscience*, 11(4), 264–274. <https://doi.org/10.1038/nrn2805>

Roberts, R., Callow, N., Hardy, L., Markland, D., & Bringer, J. (2008). Movement imagery ability: Development and assessment of a revised version of the vividness of movement imagery questionnaire. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 30(2), 200–221. <https://doi.org/10.1123/jsep.30.2.200>

Royet, J.-P., Plailly, J., Delon-Martin, C., Kareken, D. A., & Segebarth, C. (2003). fMRI of emotional responses to odors: Influence of hedonic valence and judgment, handedness, and gender. *NeuroImage*, 20(2), 713–728. [https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00388-4](https://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00388-4)

Rozzi, S., Marzio, G., & Rizzolatti, G. (2018). *Action observation and execution network: An extended view*. <https://doi.org/10.7423/XJENZA.2018.2.03>

- Scherer, K. R., & Zentner, M. R. (2001). Emotional effects of music: Production rules. In *Music and emotion: Theory and research* (pp. 361–392). Oxford University Press.
- Schieber, M. H. (2001). Constraints on Somatotopic Organization in the Primary Motor Cortex. *Journal of Neurophysiology*, *86*(5), 2125–2143. <https://doi.org/10.1152/jn.2001.86.5.2125>
- Schienze, A., Stark, R., Walter, B., Blecker, C., Ott, U., Kirsch, P., Sammer, G., & Vaitl, D. (2002). The insula is not specifically involved in disgust processing: An fMRI study. *Neuroreport*, *13*(16), 2023–2026. <https://doi.org/10.1097/00001756-200211150-00006>
- Soufneyestani, M., Dowling, D., & Khan, A. (2020). Electroencephalography (EEG) Technology Applications and Available Devices. *Applied Sciences*, *10*(21), Art. 21. <https://doi.org/10.3390/app10217453>
- Stewart, L., Walsh, V., & Frith, U. (2004). Reading music modifies spatial mapping in pianists. *Perception & Psychophysics*, *66*(2), 183–195. <https://doi.org/10.3758/bf03194871>
- Tai, Y., & Piccini, P. (2004). Applications of positron emission tomography (PET) in neurology. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *75*(5), 669–676. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2003.028175>
- Tunik, E., Rice, N. J., Hamilton, A., & Grafton, S. T. (2007). Beyond grasping: Representation of action in human anterior intraparietal sulcus. *NeuroImage*, *36 Suppl 2*(Suppl 2), T77-86. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.03.026>
- Umiltà, M. A., Escola, L., Intskirveli, I., Grammont, F., Rochat, M., Caruana, F., Jezzini, A., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2008). When pliers become fingers in the monkey motor system. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *105*(6), 2209–2213. <https://doi.org/10.1073/pnas.0705985105>
- Umiltà, M. A., Kohler, E., Gallese, V., Fogassi, L., Fadiga, L., Keysers, C., & Rizzolatti, G. (2001). I know what you are doing. A neurophysiological study. *Neuron*, *31*(1), 155–165. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(01\)00337-3](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(01)00337-3)
- Vigneswaran, G., Philipp, R., Lemon, R. N., & Kraskov, A. (2013). M1 Corticospinal Mirror Neurons and Their Role in Movement Suppression during Action Observation. *Current Biology*, *23*(3), 236–243. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.12.006>
- Walker, P., Bremner, J. G., Mason, U., Spring, J., Mattock, K., Slater, A., & Johnson, S. P. (2010). Preverbal infants' sensitivity to synaesthetic cross-modality correspondences. *Psychological Science*, *21*(1), 21–25. <https://doi.org/10.1177/0956797609354734>
- Wallmark, Z., Deblieck, C., & Iacoboni, M. (2018). Neurophysiological Effects of Trait Empathy in Music Listening. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *12*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnbeh.2018.00066>
- Werner, P. D., Swope, A. J., & Heide, F. J. (2006). The Music Experience Questionnaire: Development and correlates. *The Journal of Psychology*, *140*(4), 329–345. <https://doi.org/10.3200/JRLP.140.4.329-345>
- Whiten, A., McGuigan, N., Marshall-Pescini, S., & Hopper, L. M. (2009). Emulation, imitation,

over-imitation and the scope of culture for child and chimpanzee. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1528), 2417–2428.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0069>

Wicker, B., Keysers, C., Plailly, J., Royet, J. P., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2003). Both of us disgusted in My insula: The common neural basis of seeing and feeling disgust. *Neuron*, 40(3), 655–664. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(03\)00679-2](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(03)00679-2)

Wickham, H. (2016). Programming with ggplot2. In H. Wickham (A c. Di), *Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis* (pp. 241–253). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4_12

Wohlschläger, A., & Bekkering, H. (2002). Is human imitation based on a mirror-neurone system? Some behavioural evidence. *Experimental Brain Research*, 143(3), 335–341.
<https://doi.org/10.1007/s00221-001-0993-5>

Zatorre, R. J., Meyer, E., Gjedde, A., & Evans, A. C. (1996). PET studies of phonetic processing of speech: Review, replication, and reanalysis. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 6(1), 21–30.
<https://doi.org/10.1093/cercor/6.1.21>

Materiale Supplementare

Sezione 1: Decision Letter di “Music & Science Journal”, scritta da revisore anonimo/a

Comments to the Author

Review of MNS-21-0041.R1: " Felt and perceived kinetic cross-modal correspondences in music: a stimuli validation study"

This manuscript continues a line of studies dealing with perceived (real or metaphoric) motion in music stimuli varying along various musical dimensions. As presented in the title and introduction the aim is to create a set of validated stimuli and test a number of hypotheses based on various models or theories of music and motion such as the "mimetic subvocalisation" theory (Cox,2017), the ecological motion explanation of rotational musical patterns of Hansen and Huron (2017) and the relationship between physical and emotional involvement suggested by the mirror neurons based in general on Molnar-Szakacs & Overy, 2006.

At the present form, the paper is written well and the study nicely motivated. YET the musical stimuli are extremely problematic as the authors themselves acknowledge in the discussion, and possibly even more than that, as described below. This makes it impossible, unfortunately, to draw any clear conclusions from the study as is. The only way I see how to "save" the study is by running an additional study in order to understand how participants perceive the stimuli. This may help reduce some of the ambiguities created by the many confounds in the stimuli.

First I will reiterate and add some notes about these confounds, and why they are so problematic. Then I will try to suggest a way "out".

1. The high complexity level includes an upper voice with many high notes (as noted by the authors). Hence, most of the effects related to complexity maybe related to perception of pitch height which has been shown to be associated with higher energy, faster motion, high location in space – all of which can influence the ratings of most scales used in this study (direction – and through direction on rotation; and amount of motion and through amount of motion also physical involvement). Note also that higher vertical density (more notes) may result in perceived higher loudness which could also contribute to any of the above mentioned effects. As a minor point I would definitely not call the manipulation "change in complexity" as this term is defined in the music cognition literature very differently. I would use the term vertical density.
2. The change in pattern grouping includes a clear change in horizontal density and possible tempo perception. Faster = more energy and could also be perceived as rising, hence one cannot know what are the effects of the original question of duple, triple or quaternary groupings.
3. An additional unnoticed complicating factor is the presence of the flat contour. In theory, this could be a nice control, but looking at the data it is evident that listeners diverged extremely in how they perceived the repetitive pattern (what comes through more is repetition and not necessarily a flat contour). This can be seen especially in figures 2A (where I believe the red circles denote outliers) and 3D 3E. For this condition the average maybe meaningless. As stated above, I believe these confounds prevent reaching any significant conclusions without some additional data. This data should address the hypothesized effects of the stimuli on the way participants perceive these patterns. The simplest design would use another group of participants who would be asked to rate the 27 stimuli on pitch height, loudness or energy level, tempo, and only then one could attempt to dissociate some of the confounding effects.

Sezione 2: Spartiti degli stimoli musicali somministrati nel compito sperimentale

Compositore: Eduardo Andrade

Intellectual Property of University of Parma ©

Etichette: Contorno della Composizione, Note Pattern, Complessità dell Composizione

$\text{♩} = 120$, tutti gli estratti e le dinamiche sono stati eseguiti a *mf* come media

Track 1 | Ascending, Binary, Low

Musical score for Track 1: Ascending, Binary, Low. The score is in G major (one sharp) and 2/4 time. The melody in the treble clef ascends stepwise from G4 to G5. The bass clef has whole notes: G2, B1, D2, F2, G2, B1, D2, F2. The piece ends with a quarter rest followed by a quarter note G5.

Track 2 | Ascending, Binary, Middle

Musical score for Track 2: Ascending, Binary, Middle. The score is in G major (one sharp) and 2/4 time. The melody in the treble clef ascends stepwise from G4 to G5. The bass clef has whole notes: G2, B1, D2, F2, G2, B1, D2, F2. The piece ends with a quarter rest followed by a quarter note G5.

Track 3 | Ascending, Binary, High

Musical score for Track 3: Ascending, Binary, High. The score is in G major (one sharp) and 2/4 time. The melody in the treble clef ascends stepwise from G4 to G5. The bass clef has whole notes: G2, B1, D2, F2, G2, B1, D2, F2. The piece ends with a quarter rest followed by a quarter note G5.

Track 4 | Ascending, Ternary Low

Musical score for Track 4: Ascending, Ternary Low. The score is in G major (one sharp) and 2/4 time. The melody in the treble clef consists of ascending eighth-note triplets from G4 to G5. The bass clef has whole notes: G2, B1, D2, F2, G2, B1, D2, F2. The piece ends with a quarter rest followed by a quarter note G5.

Track 5 | Ascending, Ternary, Middle

Musical score for Track 5: Ascending, Ternary, Middle. The score is in G major (one sharp) and 2/4 time. The melody in the treble clef consists of ascending eighth-note triplets from G4 to G5. The bass clef has whole notes: G2, B1, D2, F2, G2, B1, D2, F2. The piece ends with a quarter rest followed by a quarter note G5.

Track 6 | Ascending, Ternary, High

Musical score for Track 6, Ascending, Ternary, High. The score consists of two systems of piano accompaniment. The first system has a treble clef staff with a melodic line and a bass clef staff with a simple accompaniment. The second system continues the melodic line with some trills and ornaments, ending with a fermata. The bass clef staff has a simple accompaniment. There are some markings above the treble clef staff in the first system, possibly indicating fingerings or ornaments.

Track 7 | Ascending, Quaternary, Low

Track 8 | Ascending, Quaternary, Middle

Musical score for Track 8, Ascending, Quaternary, Middle. The score consists of two systems of piano accompaniment. The first system has a treble clef staff with a melodic line and a bass clef staff with a simple accompaniment. The second system continues the melodic line with some trills and ornaments, ending with a fermata. The bass clef staff has a simple accompaniment. There are some markings above the treble clef staff in the first system, possibly indicating fingerings or ornaments.

Track 9 | Ascending, Quaternary, High

Musical score for Track 9, Ascending, Quaternary, High. The score consists of two systems of piano accompaniment. The first system has a treble clef staff with a melodic line and a bass clef staff with a simple accompaniment. The second system continues the melodic line with some trills and ornaments, ending with a fermata. The bass clef staff has a simple accompaniment. There are some markings above the treble clef staff in the first system, possibly indicating fingerings or ornaments.

Track 10 | Descending, Binary, Low

Track 10 musical score showing a descending binary pattern in the right hand and a simple harmonic accompaniment in the left hand.

Track 11 | Descending Binary, Middle

Track 11 musical score showing a descending binary pattern in the right hand and a simple harmonic accompaniment in the left hand.

Track 12 | Descending, Binary, High

Track 12 musical score showing a descending binary pattern in the right hand and a simple harmonic accompaniment in the left hand.

Track 13 | Descending, Ternary, Low

Track 13 musical score showing a descending ternary pattern in the right hand and a simple harmonic accompaniment in the left hand.

Track 14 | Descending, Ternary, Middle

Track 14 musical score showing a descending ternary pattern in the right hand and a simple harmonic accompaniment in the left hand.

Track 15 | Descending, Ternary, High

Track 15 musical score showing a descending ternary pattern in the right hand and a simple harmonic accompaniment in the left hand.

Track 16 | Descending, Quaternary, Low

Track 17 | Descending, Quaternary, Middle

Track 18 | Descending, Quaternary, High

Track 19 | Flat, Binary, Low

Track 20 | Flat, Binary, Middle

Track 21 | Flat, Binary, High

Track 22 | Flat, Ternary, Low

Track 23 | Flat, Ternary, Middle

Track 24 | Flat, Ternary, High

Track 25 | Flat, Quaternary, Low

Track 26 | Flat, Quaternary, Middle

Musical score for Track 26, Flat, Quaternary, Middle. The score is written for piano in a flat key signature and 4/4 time. It consists of five measures. The first four measures feature a steady eighth-note accompaniment in the right hand and a bass line in the left hand. The fifth measure concludes with a final chord and a fermata over the bass line.

Track 27 | Flat, Quaternary, High

Musical score for Track 27, Flat, Quaternary, High. The score is written for piano in a flat key signature and 4/4 time. It consists of two systems of five measures each. The first system features a steady eighth-note accompaniment in the right hand and a bass line in the left hand. The second system features a steady eighth-note accompaniment in the right hand and a bass line in the left hand. The second system concludes with a final chord and a fermata over the bass line.

Sezione 3: Questionario per valutare la preferenza manuale: Edinburgh Inventory (Oldfield, 1971)

Edinburgh Inventory

Indicare la preferenza manuale nelle seguenti attività indicandola nella colonna appropriata. Quando la preferenza è così forte da non poter utilizzare l'altra mano seleziona la casella "Destra" o "Sinistra". Se non c'è preferenza e utilizzi indifferentemente la mano destra o sinistra nella tua quotidianità, allora seleziona "Entrambe".

* Required

1. E-mail *

2. Nome e Cognome *

3. Azioni *

Mark only one oval per row.

	Destra	Sinistra	Entrambe
1) Scrivere	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) Disegnare	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) Lanciare un oggetto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4) Forbici	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5) Pettine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6) Spazzolino da denti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7) Coltello senza forchetta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8) Cucchiaino	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9) Martello	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10) Cacciavite	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11) Racchetta da tennis	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12) Coltello con forchetta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13) Impugnare una scopa (mano superiore)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14) Impugnare un rastrello (mano superiore)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15) Accendere un fiammifero	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16) Aprire una scatola (svitare il coperchio)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17) Distribuire le carte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
18) Infilare un ago (mano che si muove)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
19) Calciare un pallone	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

This content is neither created nor endorsed by Google.

Google Forms

Sezione 4: Questionario Esperienza Musicale Studio 2 (è stato ideato dagli sperimentatori)

Questionario Esperienza Musicale

* Required

1. E-mail *

2. Nome e Cognome *

3. 1) Attualmente, suoni uno strumento musicale (incluso il canto)? *

Mark only one oval.

- Sì
 No

4. 2) Hai mai suonato uno strumento musicale in passato (incluso il canto)? *

Mark only one oval.

- Sì
 No

5. 3) Se sì, quale?

6. 4) Se hai risposto 'Sì' alla domanda 1, da quanti anni suoni (incluso il canto)?

Mark only one oval.

- 0 1 2 3 4 5 6
 o più

7. 5) Quante ore a settimana suoni attualmente (incluso il canto)? *

Mark only one oval.

- 0 1 2 3 4 5 6
 o più

8. 6) Se hai risposto 'Sì' alla domanda 2, per quanti anni hai suonato in passato (incluso il canto)?

Mark only one oval.

- 0 1 2 3 4 5 6
 o più

9. 7) Se hai risposto 'Sì' alla domanda 2, quante ore di musica praticavi in una settimana durante le scuole medie o privatamente?

Mark only one oval.

- 0 1 2 3 4 5 6
 o più

10. 8) Quanti corsi di teoria della musica hai seguito alle scuole medie o successivamente? *

Mark only one oval.

- 0 1 2 3 4 5 6
 o più

11. 9) Qual'è il genere musicale che più preferisci? *

Mark only one oval.

- Classica
 Rock
 Blues
 Jazz
 Pop
 R & B
 Metal

12. 10) Quante ore a settimana ascolti la musica? *

Mark only one oval.

- 0 1 2 3 4 5 6
 o più

13. 11) Attualmente fai danza? *

Mark only one oval.

- Sì
 No

14. 12) In passato hai mai fatto danza? *

Mark only one oval.

- Sì
 No

15. 13) Se sì, che tipi di danza hai fatto?

16. 14) Se hai risposto 'Sì' alla domanda 11, da quanti anni pratici danza?

Mark only one oval.

- 0 1 2 3 4 5 6
 o più

17. 15) Se hai risposto 'Sì' alla domanda 12, per quanti anni hai praticato danza in passato?

Mark only one oval.

- 0 1 2 3 4 5 6
 o più

18. 16) Hai mai suonato in gruppo musicale? *

Mark only one oval.

- Sì
 No

19. 17) Componi/produci la musica? *

Mark only one oval.

- Sì
 No

20. 18) In media, partecipi a eventi musicali live/concerti ogni? *

Mark only one oval.

- Quasi mai
 Anno
 6 mesi
 2 mesi
 Mese
 Settimana

21. 19) Quanto ti consideri esperto/a di musica? *

Mark only one oval.

- 0 1 2 3 4 5 6
Per Molto

This content is neither created nor endorsed by Google

Google Forms

Sezione 5: Debriefing funzionale a valutare l'esperienza del partecipante

Debriefing

* Required

1. ID Soggetto *

2. 1) Secondo te, qual era lo scopo dell'esperimento? *

3. 2) Hai avuto problemi di qualità audio o di connessione internet? *

4. 3) Quanto era difficile il compito? *

5. 4) Perché hai scelto di partecipare a questo esperimento? *

6. 5) Altri commenti/feedback?

This content is neither created nor endorsed by Google.

Google Forms

Sezione 6: Medie marginali del linear effects model.

Table A | Effetti Principali

		Mean	SE	<i>df</i>	<i>Lower CI</i>	<i>Upper CI</i>
Loudness	Contour					
	Ascending	49.5	1.09	82.9	47.4	51.7
	Flat	54.9	1.09	82.9	52.8	57.1
	Descending	50.3	1.09	82.9	48.1	52.5
	Vertical Density					
	High	57.1	1.09	82.9	54.9	59.3
	Medium	50.0	1.09	82.9	47.8	52.1
	Low	47.7	1.09	82.9	45.5	49.9
	Note Pattern					
	Binary	43.6	1.09	82.9	41.4	45.7
Ternary	52.6	1.09	82.9	50.4	54.8	
Quaternary	58.6	1.09	82.9	56.4	60.8	
Pitch	Contour					
	Ascending	60.6	1.12	87.0	58.4	62.8
	Flat	56.9	1.12	87.0	54.7	59.2
	Descending	47.8	1.12	86.8	45.6	50.0
	Vertical Density					
	High	61.2	1.12	87.0	59.0	63.5
	Medium	47.9	1.12	86.9	45.7	50.1
	Low	56.2	1.12	86.9	54.0	58.4
	Note Pattern					
	Binary	51.0	1.12	86.8	48.8	53.2
Ternary	55.4	1.12	86.9	53.1	57.6	
Quaternary	59.0	1.12	87.2	56.7	61.2	
Repetitiveness	Contour					
	Ascending	39.4	1.94	63.8	35.6	43.3
	Flat	79.0	1.94	63.8	75.1	82.9
	Descending	41.7	1.94	63.7	37.9	45.6
	Vertical Density					
	High	48.9	1.94	63.8	45.0	52.8
	Medium	54.4	1.94	63.8	50.5	58.2
	Low	56.9	1.94	63.8	53.1	60.8
	Note Pattern					
	Binary	50.7	1.94	63.8	46.8	54.5
Ternary	54.4	1.94	63.7	50.5	58.2	
Quaternary	55.2	1.94	63.8	51.3	59.0	
Speed	Contour					
	Ascending	51.0	1.43	69.2	48.1	53.8
	Flat	59.9	1.43	69.2	57.0	62.7
	Descending	48.8	1.43	69.3	45.9	51.7
	Vertical Density					
	High	58.1	1.43	69.2	55.2	60.9
Medium	49.1	1.43	69.3	46.3	52.0	

Low	52.4	1.43	69.2	49.6	55.3
Note Pattern					
Binary	38.0	1.43	69.3	35.1	40.8
Ternary	52.0	1.43	69.2	49.1	54.9
Quaternary	69.7	1.43	69.2	66.8	72.5

Tabella B | Interazioni

			Mean	SE	df	Lower CI	Upper CI	
Loudness	Note Pattern	Vertical Density						
	Binary	High	47.8	1.36	195	45.2	50.5	
	Quaternary	High	63.5	1.36	195	60.9	66.2	
	Ternary	High	60.0	1.36	195	57.3	62.6	
	Binary	Low	39.6	1.36	195	36.9	42.3	
	Quaternary	Low	55.9	1.36	195	53.2	58.6	
	Ternary	Low	47.6	1.36	195	44.9	50.3	
	Binary	Medium	43.3	1.36	195	40.6	45.9	
	Quaternary	Medium	56.4	1.36	195	53.7	59.1	
	Ternary	Medium	50.2	1.36	195	47.6	52.9	
		Contour	Vertical Density					
		Ascending	High	55.9	1.36	195	53.2	58.6
		Descending	High	57.7	1.36	195	55.0	60.3
		Flat	High	57.8	1.36	195	55.1	60.5
		Ascending	Low	43.8	1.36	195	41.1	46.5
	Descending	Low	46.2	1.36	195	43.5	48.8	
	Flat	Low	53.2	1.36	195	50.5	55.9	
	Ascending	Medium	49.0	1.36	195	46.3	51.6	
	Descending	Medium	47.1	1.36	195	44.4	49.8	
	Flat	Medium	53.8	1.36	195	51.1	56.5	
Pitch	Vertical Density	Contour						
	High	Ascending	68.3	1.43	220	65.5	71.1	
	Low	Ascending	58.0	1.43	220	55.1	60.8	
	Medium	Ascending	55.6	1.43	218	52.8	58.4	
	High	Descending	56.5	1.43	218	53.7	59.3	
	Low	Descending	46.5	1.43	218	43.7	49.3	
	Medium	Descending	40.5	1.43	218	37.7	43.3	
	High	Flat	59.0	1.43	220	56.2	61.8	
	Low	Flat	64.2	1.43	218	61.4	67.0	
	Medium	Flat	47.6	1.43	220	44.8	50.4	
		Vertical Density	Note Pattern					
		High	Binary	53.8	1.43	218	51.0	56.6
		Low	Binary	54.3	1.43	218	51.5	57.1
		Medium	Binary	44.9	1.43	218	42.1	47.8
		High	Quaternary	65.8	1.43	221	63.0	68.6

Low	Quaternary	58.9	1.43	218	56.0	61.7
Medium	Quaternary	52.3	1.43	220	49.4	55.1
High	Ternary	64.1	1.43	218	61.3	66.9
Low	Ternary	55.5	1.43	220	52.7	58.3
Medium	Ternary	46.5	1.43	218	43.7	49.3

Contour	Note Pattern					
Ascending	Binary	60.0	1.43	218	57.2	62.8
Descending	Binary	44.3	1.43	218	41.5	47.1
Flat	Binary	48.7	1.43	218	45.9	51.5
Ascending	Quaternary	61.7	1.43	220	58.9	64.5
Descending	Quaternary	51.1	1.43	218	48.3	53.9
Flat	Quaternary	64.2	1.43	221	61.3	67.0
Ascending	Ternary	60.1	1.43	220	57.3	63.0
Descending	Ternary	48.0	1.43	218	45.2	50.8
Flat	Ternary	57.9	1.43	218	55.1	60.7

Repetitiveness	Note Pattern	Vertical Density				
	Binary	High	40.5	2.13	93.8	44.8
	Quaternary	High	53.5	2.13	93.5	57.7
	Ternary	High	52.7	2.13	93.5	56.9
	Binary	Low	57.3	2.13	93.5	61.6
	Quaternary	Low	57.7	2.13	93.8	62.0
	Ternary	Low	55.7	2.13	93.5	60.0
	Binary	Medium	54.1	2.13	93.8	58.4
	Quaternary	Medium	54.3	2.13	93.5	58.5
	Ternary	Medium	54.7	2.13	93.5	58.9
	Note Pattern	Contour				
	Binary	Ascending	39.4	2.13	93.8	43.6
	Quaternary	Ascending	38.9	2.13	93.8	43.1
	Ternary	Ascending	40.0	2.13	93.5	44.2
	Binary	Descending	42.9	2.13	93.5	47.1
	Quaternary	Descending	41.4	2.13	93.5	45.6
	Ternary	Descending	41.0	2.13	93.5	45.2
	Binary	Flat	69.7	2.13	93.8	74.0
	Quaternary	Flat	85.2	2.13	93.5	89.4
	Ternary	Flat	82.1	2.13	93.5	86.4
	Vertical Density	Contour				
	High	Ascending	37.7	2.13	93.8	42.0
	Low	Ascending	40.3	2.13	93.8	44.5
	Medium	Ascending	40.3	2.13	93.5	44.5
	High	Descending	41.0	2.13	93.5	45.3
	Low	Descending	42.7	2.13	93.5	46.9
	Medium	Descending	41.5	2.13	93.5	45.8
	High	Flat	67.9	2.13	93.5	72.1
	Low	Flat	87.9	2.13	93.5	92.1
	Medium	Flat	81.4	2.13	93.8	85.5

Speed	Vertical Density	Contour				
	High	Ascending	59.6	1.65	121	62.8
	Low	Ascending	46.4	1.65	121	49.6
	Medium	Ascending	46.9	1.65	121	50.2
	High	Descending	56.5	1.65	121	59.8

Low	Descending	46.4	1.65	121	43.1	49.6
Medium	Descending	43.5	1.65	121	40.3	46.8
High	Flat	58.1	1.65	121	54.9	61.4
Low	Flat	64.5	1.65	121	61.4	67.8
Medium	Flat	56.9	1.65	121	53.6	60.2
Note Pattern	Vertical Density					
Binary	High	39.6	1.65	121	36.3	42.9
Quaternary	High	75.0	1.65	121	71.8	78.3
Ternary	High	59.6	1.65	121	56.3	62.8
Binary	Low	38.1	1.65	121	34.8	41.4
Quaternary	Low	68.8	1.65	121	65.5	72.1
Ternary	Low	50.4	1.65	121	47.1	53.6
Binary	Medium	36.1	1.65	121	32.9	39.4
Quaternary	Medium	65.2	1.65	121	61.9	68.4
Ternary	Medium	46.1	1.65	121	42.8	49.3

Sezione 7: confronti post hoc di Tukey per gli effetti di interazione per il linear mixed effect model

Tabella C | Effetto della Densità Verticale * Pattern di Note sulla Loudness percepita.

		Mean Difference	SE	t₍₁₄₃₀₎	p
Binary High	Quaternary High	-15.69	1.41	-11.11	<.0001 ***
Binary High	Ternary High	-12.11	1.41	-8.57	<.0001 ***
Binary High	Binary Low	8.24	1.41	5.83	<.0001 ***
Binary High	Quaternary Low	-8.07	1.41	-5.72	<.0001 ***
Binary High	Ternary Low	0.24	1.41	0.17	1.000
Binary High	Binary Medium	4.59	1.41	3.25	0.032
Binary High	Quaternary Medium	-8.52	1.41	-6.03	<.0001 ***
Binary High	Ternary Medium	-2.39	1.41	-1.69	0.751
Quaternary High	Ternary High	3.58	1.41	2.54	0.215
Quaternary High	Binary Low	23.93	1.41	16.94	<.0001 ***
Quaternary High	Quaternary Low	7.62	1.41	5.39	<.0001 ***
Quaternary High	Ternary Low	15.93	1.41	11.28	<.0001 ***
Quaternary High	Binary Medium	20.29	1.41	14.36	<.0001 ***
Quaternary High	Quaternary Medium	7.17	1.41	5.08	<.0001 ***
Quaternary High	Ternary Medium	13.30	1.41	9.42	<.0001 ***
Ternary High	Binary Low	20.35	1.41	14.41	<.0001 ***
Ternary High	Quaternary Low	4.04	1.41	2.86	0.100
Ternary High	Ternary Low	12.35	1.41	8.75	<.0001 ***
Ternary High	Binary Medium	16.71	1.41	11.83	<.0001 ***
Ternary High	Quaternary Medium	3.59	1.41	2.54	0.212
Ternary High	Ternary Medium	9.72	1.41	6.88	<.0001 ***
Binary Low	Quaternary Low	-16.31	1.41	-11.55	<.0001 ***
Binary Low	Ternary Low	-8.00	1.41	-5.66	<.0001 ***
Binary Low	Binary Medium	-3.64	1.41	-2.58	0.195
Binary Low	Quaternary Medium	-16.76	1.41	-11.87	<.0001 ***
Binary Low	Ternary Medium	-10.63	1.41	-7.53	<.0001 ***
Quaternary Low	Ternary Low	8.31	1.41	5.89	<.0001 ***
Quaternary Low	Binary Medium	12.67	1.41	8.97	<.0001 ***
Quaternary Low	Quaternary Medium	-0.45	1.41	-0.32	1.000
Quaternary Low	Ternary Medium	5.68	1.41	4.02	0.002
Ternary Low	Binary Medium	4.35	1.41	3.08	0.053
Ternary Low	Quaternary Medium	-8.76	1.41	-6.20	<.0001 ***
Ternary Low	Ternary Medium	-2.63	1.41	-1.86	0.639
Binary Medium	Quaternary Medium	-13.11	1.41	-9.28	<.0001 ***
Binary Medium	Ternary Medium	-6.98	1.41	-4.94	<.0001 ***
Quaternary Medium	Ternary Medium	6.13	1.41	4.34	0.0005

$p < .05 = *$, $p < .01 = **$, $p < .001 = ***$

Tabella D | Effetto della Densità Verticale * Contorno sulla Loudness percepita.

		Mean Difference	SE	t₍₁₄₃₀₎	p
Ascending High	Descending High	-1.75	1.41	-1.24	0.947
Ascending High	Flat High	-1.90	1.41	-1.35	0.917
Ascending High	Ascending Low	12.11	1.41	8.57	<.0001 ***
Ascending High	Descending Low	9.73	1.41	6.89	<.0001 ***
Ascending High	Flat Low	2.71	1.41	1.92	0.599
Ascending High	Ascending Medium	6.94	1.41	4.91	<.0001 ***
Ascending High	Descending Medium	8.78	1.41	6.22	<.0001 ***
Ascending High	Flat Medium	2.11	1.41	1.49	0.859
Descending High	Flat High	-0.15	1.41	-0.10	1.000
Descending High	Ascending Low	13.86	1.41	9.82	<.0001 ***
Descending High	Descending Low	11.49	1.41	8.13	<.0001 ***
Descending High	Flat Low	4.47	1.41	3.16	0.042
Descending High	Ascending Medium	8.70	1.41	6.16	<.0001 ***
Descending High	Descending Medium	10.53	1.41	7.46	<.0001 ***
Descending High	Flat Medium	3.86	1.41	2.73	0.137
Flat High	Ascending Low	14.01	1.41	9.92	<.0001 ***
Flat High	Descending Low	11.63	1.41	8.24	<.0001 ***
Flat High	Flat Low	4.62	1.41	3.27	0.030
Flat High	Ascending Medium	8.85	1.41	6.26	<.0001 ***
Flat High	Descending Medium	10.68	1.41	7.56	<.0001 ***
Flat High	Flat Medium	4.01	1.41	2.84	0.105
Ascending Low	Descending Low	-2.38	1.41	-1.68	0.757
Ascending Low	Flat Low	-9.40	1.41	-6.65	<.0001 ***
Ascending Low	Ascending Medium	-5.17	1.41	-3.66	0.008
Ascending Low	Descending Medium	-3.33	1.41	-2.36	0.308
Ascending Low	Flat Medium	-10.00	1.41	-7.08	<.0001 ***
Descending Low	Flat Low	-7.02	1.41	-4.97	<.0001 ***
Descending Low	Ascending Medium	-2.79	1.41	-1.98	0.562
Descending Low	Descending Medium	-0.95	1.41	-0.67	0.999
Descending Low	Flat Medium	-7.62	1.41	-5.40	<.0001 ***
Flat Low	Ascending Medium	4.23	1.41	3.00	0.069
Flat Low	Descending Medium	6.07	1.41	4.30	0.001
Flat Low	Flat Medium	-0.60	1.41	-0.43	1.000
Ascending Medium	Descending Medium	1.83	1.41	1.30	0.931
Ascending Medium	Flat Medium	-4.84	1.41	-3.42	0.018
Descending Medium	Flat Medium	-6.67	1.41	-4.72	0.0001

$p < .05 = *$, $p < .01 = **$, $p < .001 = ***$

Tabella E | Effetto della Densità Verticale * Contorno sul Pitch percepito.

		Mean Difference	SE	t₍₁₄₂₆₎	p
High Ascending	Low Ascending	10.32	1.53	6.74	<.0001 ***
High Ascending	Medium Ascending	12.68	1.53	8.30	<.0001 ***
High Ascending	High Descending	11.81	1.53	7.73	<.0001 ***
High Ascending	Low Descending	21.81	1.53	14.27	<.0001 ***
High Ascending	Medium Descending	27.77	1.53	18.17	<.0001 ***
High Ascending	High Flat	9.28	1.53	6.06	<.0001 ***
High Ascending	Low Flat	4.07	1.53	2.67	0.161
High Ascending	Medium Flat	20.69	1.53	13.52	<.0001 ***
Low Ascending	Medium Ascending	2.36	1.53	1.54	0.835
Low Ascending	High Descending	1.48	1.53	0.97	0.988
Low Ascending	Low Descending	11.49	1.53	7.52	<.0001 ***
Low Ascending	Medium Descending	17.45	1.53	11.42	<.0001 ***
Low Ascending	High Flat	-1.04	1.53	-0.68	0.999
Low Ascending	Low Flat	-6.25	1.53	-4.09	0.001
Low Ascending	Medium Flat	10.37	1.53	6.78	<.0001 ***
Medium Ascending	High Descending	-0.87	1.53	-0.57	1.000
Medium Ascending	Low Descending	9.13	1.53	5.98	<.0001 ***
Medium Ascending	Medium Descending	15.09	1.53	9.89	<.0001 ***
Medium Ascending	High Flat	-3.40	1.53	-2.23	0.389
Medium Ascending	Low Flat	-8.60	1.53	-5.64	<.0001 ***
Medium Ascending	Medium Flat	8.01	1.53	5.24	<.0001 ***
High Descending	Low Descending	10.00	1.53	6.55	<.0001 ***
High Descending	Medium Descending	15.96	1.53	10.46	<.0001 ***
High Descending	High Flat	-2.53	1.53	-1.65	0.774
High Descending	Low Flat	-7.73	1.53	-5.07	<.0001 ***
High Descending	Medium Flat	8.88	1.53	5.81	<.0001 ***
Low Descending	Medium Descending	5.96	1.53	3.91	0.003
Low Descending	High Flat	-12.53	1.53	-8.20	<.0001 ***
Low Descending	Low Flat	-17.73	1.53	-11.63	<.0001 ***
Low Descending	Medium Flat	-1.12	1.53	-0.73	0.998
Medium Descending	High Flat	-18.49	1.53	-12.10	<.0001 ***
Medium Descending	Low Flat	-23.70	1.53	-15.53	<.0001 ***
Medium Descending	Medium Flat	-7.08	1.53	-4.63	0.000
High Flat	Low Flat	-5.20	1.53	-3.40	0.019
High Flat	Medium Flat	11.41	1.53	7.46	<.0001 ***
Low Flat	Medium Flat	16.62	1.53	10.87	<.0001 ***

$p < .05 = *$, $p < .01 = **$, $p < .001 = ***$

Tabella F | Effetto della Densità Verticale * Pattern di Note sul Pitch percepito.

		Mean Difference	SE	<i>t</i>₍₁₄₂₆₎	<i>p</i>
High Binary	Low Binary	-0.47	1.53	-0.31	1.000
High Binary	Medium Binary	8.87	1.53	5.81	<.0001 ***
High Binary	High Quaternary	-11.99	1.53	-7.83	<.0001 ***
High Binary	Low Quaternary	-5.05	1.53	-3.31	0.027
High Binary	Medium Quaternary	1.55	1.53	1.02	0.984
High Binary	High Ternary	-10.31	1.53	-6.76	<.0001 ***
High Binary	Low Ternary	-1.66	1.53	-1.08	0.977
High Binary	Medium Ternary	7.34	1.53	4.81	0.000
Low Binary	Medium Binary	9.34	1.53	6.12	<.0001 ***
Low Binary	High Quaternary	-11.51	1.53	-7.52	<.0001 ***
Low Binary	Low Quaternary	-4.58	1.53	-3.00	0.068
Low Binary	Medium Quaternary	2.02	1.53	1.32	0.924
Low Binary	High Quaternary	-11.51	1.53	-7.52	<.0001 ***
Low Binary	Low Quaternary	-4.58	1.53	-3.00	0.068
Low Binary	Medium Quaternary	2.02	1.53	1.32	0.924
Low Binary	High Ternary	-9.84	1.53	-6.45	<.0001 ***
Low Binary	Low Ternary	-1.18	1.53	-0.77	0.997
Low Binary	Medium Ternary	7.81	1.53	5.12	<.0001 ***
Medium Binary	High Quaternary	-20.85	1.53	-13.62	<.0001 ***
Medium Binary	Low Quaternary	-13.92	1.53	-9.12	<.0001 ***
Medium Binary	Medium Quaternary	-7.31	1.53	-4.78	0.0001
Medium Binary	High Ternary	-19.18	1.53	-12.57	<.0001 ***
Medium Binary	Low Ternary	-10.52	1.53	-6.88	<.0001 ***
Medium Binary	Medium Ternary	-1.52	1.53	-1.00	0.986
High Quaternary	Low Quaternary	6.94	1.53	4.53	0.0002
High Quaternary	Medium Quaternary	13.54	1.53	8.83	<.0001 ***
High Quaternary	High Ternary	1.67	1.53	1.09	0.975
High Quaternary	Low Ternary	10.33	1.53	6.74	<.0001 ***
High Quaternary	Medium Ternary	19.33	1.53	12.63	<.0001 ***
Low Quaternary	Medium Quaternary	6.60	1.53	4.32	0.001
Low Quaternary	High Ternary	-5.26	1.53	-3.45	0.016
Low Quaternary	Low Ternary	3.39	1.53	2.22	0.392
Low Quaternary	Medium Ternary	12.39	1.53	8.12	<.0001 ***
Medium Quaternary	High Ternary	-11.87	1.53	-7.76	<.0001 ***
Medium Quaternary	Low Ternary	-3.21	1.53	-2.10	0.476
Medium Quaternary	Medium Ternary	5.79	1.53	3.79	0.005
High Ternary	Low Ternary	8.66	1.53	5.66	<.0001 ***
High Ternary	Medium Ternary	17.65	1.53	11.57	<.0001 ***
Low Ternary	Medium Ternary	9.00	1.53	5.89	<.0001 ***

$p < .05 = *$, $p < .01 = **$, $p < .001 = ***$

Tabella G | Effetto del Contorno * Pattern di Note sul Pitch percepito.

		Mean Difference	SE	<i>t</i>₍₁₄₂₆₎	<i>p</i>
Ascending Binary	Descending Binary	15.67	1.53	10.27	<.0001 ***
Ascending Binary	Flat Binary	11.29	1.53	7.40	<.0001 ***
Ascending Binary	Ascending Quaternary	-1.67	1.53	-1.10	0.975
Ascending Binary	Descending Quaternary	8.92	1.53	5.85	<.0001 ***
Ascending Binary	Flat Quaternary	-4.16	1.53	-2.72	0.143
Ascending Binary	Ascending Ternary	-0.14	1.53	-0.09	1.000
Ascending Binary	Descending Ternary	11.99	1.53	7.86	<.0001 ***
Ascending Binary	Flat Ternary	2.09	1.53	1.37	0.908
Descending Binary	Flat Binary	-4.37	1.53	-2.86	0.098
Descending Binary	Ascending Quaternary	-17.34	1.53	-11.35	<.0001 ***
Descending Binary	Descending Quaternary	-6.75	1.53	-4.42	0.0004
Descending Binary	Flat Quaternary	-19.83	1.53	-12.95	<.0001 ***
Descending Binary	Ascending Ternary	-15.80	1.53	-10.34	<.0001 ***
Descending Binary	Descending Ternary	-3.68	1.53	-2.41	0.278
Descending Binary	Flat Ternary	-13.57	1.53	-8.89	<.0001 ***
Flat Binary	Ascending Quaternary	-12.97	1.53	-8.49	<.0001 ***
Flat Binary	Descending Quaternary	-2.37	1.53	-1.56	0.828
Flat Binary	Flat Quaternary	-15.45	1.53	-10.10	<.0001 ***
Flat Binary	Ascending Ternary	-11.43	1.53	-7.48	<.0001 ***
Flat Binary	Descending Ternary	0.69	1.53	0.45	1.000
Flat Binary	Flat Ternary	-9.20	1.53	-6.03	<.0001 ***
Ascending Quaternary	Descending Quaternary	10.59	1.53	6.93	<.0001 ***
Ascending Quaternary	Flat Quaternary	-2.48	1.53	-1.62	0.793
Ascending Quaternary	Ascending Ternary	1.54	1.53	1.00	0.986
Ascending Quaternary	Descending Ternary	13.66	1.53	8.94	<.0001 ***
Ascending Quaternary	Flat Ternary	3.77	1.53	2.47	0.249
Descending Quaternary	Flat Quaternary	-13.08	1.53	-8.54	<.0001 ***
Descending Quaternary	Ascending Ternary	-9.06	1.53	-5.93	<.0001 ***
Descending Quaternary	Descending Ternary	3.07	1.53	2.01	0.536
Descending Quaternary	Flat Ternary	-6.83	1.53	-4.48	0.0003
Flat Quaternary	Ascending Ternary	4.02	1.53	2.62	0.178
Flat Quaternary	Descending Ternary	16.15	1.53	10.55	<.0001 ***
Flat Quaternary	Flat Ternary	6.25	1.53	4.08	0.001
Ascending Ternary	Descending Ternary	12.12	1.53	7.93	<.0001 ***
Ascending Ternary	Flat Ternary	2.23	1.53	1.46	0.873
Descending Ternary	Flat Ternary	-9.89	1.53	-6.48	<.0001 ***

$p < .05 = *$, $p < .01 = **$, $p < .001 = ***$

Tabella H | Effetto Densità Verticale * Contorno sulla Ripetibilità percepita.

		Mean	SE	$t_{(1427)}$	p
		Difference			
High Ascending	Low Ascending	-2.55	1.55	-1.64	0.781
High Ascending	Medium Ascending	-2.54	1.55	-1.64	0.784
High Ascending	High Descending	-3.29	1.55	-2.12	0.458
High Ascending	Low Descending	-4.91	1.55	-3.17	0.041
High Ascending	Medium Descending	-3.77	1.55	-2.43	0.268
High Ascending	High Flat	-30.16	1.55	-19.44	<.0001 ***
High Ascending	Low Flat	-50.12	1.55	-32.31	<.0001 ***
High Ascending	Medium Flat	-43.52	1.55	-28.01	<.0001 ***
Low Ascending	Medium Ascending	0.01	1.55	0.01	1.000
Low Ascending	High Flat	-27.60	1.55	-17.79	<.0001 ***
Low Ascending	Low Flat	-47.57	1.55	-30.66	<.0001 ***
Low Ascending	Medium Flat	-40.97	1.55	-26.37	<.0001 ***
Medium Ascending	High Descending	-0.75	1.55	-0.49	1.000
Medium Ascending	Low Descending	-2.38	1.55	-1.53	0.839
Medium Ascending	Medium Descending	-1.23	1.55	-0.79	0.997
Medium Ascending	High Flat	-27.62	1.55	-17.83	<.0001 ***
Medium Ascending	Low Flat	-47.58	1.55	-30.72	<.0001 ***
Medium Ascending	Medium Flat	-40.98	1.55	-26.41	<.0001 ***
High Descending	Low Descending	-1.62	1.55	-1.05	0.981
High Descending	Medium Descending	-0.48	1.55	-0.31	1.000
High Descending	High Flat	-26.86	1.55	-17.34	<.0001 ***
High Descending	Low Flat	-46.83	1.55	-30.23	<.0001 ***
High Descending	Medium Flat	-40.22	1.55	-25.93	<.0001 ***
Low Descending	Medium Descending	1.14	1.55	0.74	0.998
Low Descending	High Flat	-25.24	1.55	-16.29	<.0001 ***
Low Descending	Low Flat	-45.21	1.55	-29.18	<.0001 ***
Low Descending	Medium Flat	-38.60	1.55	-24.88	<.0001 ***
Medium Descending	High Flat	-26.38	1.55	-17.03	<.0001 ***
Medium Descending	Low Flat	-46.35	1.55	-29.92	<.0001 ***
Medium Descending	Medium Flat	-39.75	1.55	-25.62	<.0001 ***
High Flat	Low Flat	-19.97	1.55	12.89	<.0001 ***
High Flat	Medium Flat	-13.36	1.55	-8.61	<.0001 ***
Low Flat	Medium Flat	6.60	1.55	4.26	0.0007

$p < .05 = *$, $p < .01 = **$, $p < .001 = ***$

Tabella I | Effetto della Densità Verticale * Pattern di Note sulla Ripetitività percepita.

		Mean Difference	SE	<i>t</i>₍₁₄₂₇₎	<i>p</i>
Binary High	Quaternary High	-12.91	1.55	-8.32	<.0001 ***
Binary High	Ternary High	-12.14	1.55	-7.83	<.0001 ***
Binary High	Binary Low	-16.79	1.55	-10.82	<.0001 ***
Binary High	Quaternary Low	-17.19	1.55	-11.07	<.0001 ***
Binary High	Ternary Low	-15.20	1.55	-9.80	<.0001 ***
Binary High	Binary Medium	-13.59	1.55	-8.75	<.0001 ***
Binary High	Quaternary Medium	-13.72	1.55	-8.84	<.0001 ***
Binary High	Ternary Medium	-14.13	1.55	-9.10	<.0001 ***
Quaternary High	Ternary High	0.77	1.55	0.49	1.000
Quaternary High	Binary Low	-3.88	1.55	-2.51	0.229
Quaternary High	Quaternary Low	-4.28	1.55	-2.76	0.128
Quaternary High	Ternary Low	-2.29	1.55	-1.48	0.865
Quaternary High	Binary Medium	-0.68	1.55	-0.44	1.000
Quaternary High	Quaternary Medium	-0.81	1.55	-0.52	1.000
Quaternary High	Ternary Medium	-1.22	1.55	-0.78	0.997
Ternary High	Binary Low	-4.65	1.55	-3.00	0.067
Ternary High	Quaternary Low	-5.05	1.55	-3.25	0.032
Ternary High	Ternary Low	-3.06	1.55	-1.98	0.560
Ternary High	Binary Medium	-1.45	1.55	-0.93	0.991
Ternary High	Quaternary medium	-1.57	1.55	-1.02	0.984
Ternary High	Ternary Medium	-1.98	1.55	-1.28	0.937
Binary Low	Quaternary Low	-0.40	1.55	-0.26	1.000
Binary Low	Ternary Low	1.59	1.55	1.03	0.983
Binary Low	Binary Medium	3.20	1.55	2.06	0.498
Binary Low	Quaternary Medium	3.08	1.55	1.99	0.553
Binary Low	Ternary Medium	2.67	1.55	1.72	0.732
Quaternary low	Ternary Low	1.99	1.55	1.29	0.937
Quaternary Low	Binary Medium	3.60	1.55	2.32	0.331
Quaternary Low	Quaternary Medium	3.47	1.55	2.24	0.380
Quaternary Low	Ternary Medium	3.07	1.55	1.98	0.560
Ternary Low	Binary Medium	1.61	1.55	1.04	0.982
Ternary Low	Quaternary Medium	1.49	1.55	0.96	0.989
Ternary Low	Ternary Medium	1.08	1.55	0.70	0.999
Binary Medium	Quaternary Medium	-0.13	1.55	-0.08	1.000
Binary Medium	Ternary Medium	-0.53	1.55	-0.34	1.000
Quaternary Medium	Ternary Medium	-0.41	1.55	-0.26	1.000

$p < .05 = *$, $p < .01 = **$, $p < .001 = ***$

Tabella J | Effetto del Pattern di Note * Contorno sulla Ripetitività percepita.

		Mean	SE	$t_{(1427)}$	p
		Difference			
Binary Ascending	Quaternary Ascending	0.50	1.55	0.32	1.000
Binary Ascending	Ternary Ascending	-0.60	1.55	-0.39	1.000
Binary Ascending	Binary Descending	-3.46	1.55	-2.23	0.384
Binary Ascending	Quaternary Descending	-1.96	1.55	-1.26	0.942
Binary Ascending	Ternary Descending	-1.57	1.55	-1.01	0.985
Binary Ascending	Binary Flat	-30.33	1.55	-19.52	<.0001 ***
Binary Ascending	Quaternary Flat	-45.77	1.55	-29.50	<.0001 ***
Binary Ascending	Ternary Flat	-42.71	1.55	-27.53	<.0001 ***
Quaternary Ascending	Ternary Ascending	-1.10	1.55	-0.71	0.999
Quaternary Ascending	Binary Descending	-3.96	1.55	-2.55	0.207
Quaternary Ascending	Quaternary Descending	-2.45	1.55	-1.58	0.815
Quaternary Ascending	Ternary Descending	-2.07	1.55	-1.33	0.921
Quaternary Ascending	Binary Flat	-30.83	1.55	-19.84	<.0001 ***
Quaternary Ascending	Quaternary Flat	-46.27	1.55	-29.82	<.0001 ***
Quaternary Ascending	Ternary Flat	-43.20	1.55	-27.85	<.0001 ***
Ternary Ascending	Binary Descending	-2.86	1.55	-1.85	0.649
Ternary Ascending	Quaternary Descending	-1.35	1.55	-0.87	0.994
Ternary Ascending	Ternary Descending	-0.97	1.55	-0.63	0.999
Ternary Ascending	Binary Flat	-29.73	1.55	-19.16	<.0001 ***
Ternary Ascending	Quaternary Flat	-45.17	1.55	-29.16	<.0001 ***
Ternary Ascending	Ternary Flat	-42.11	1.55	-27.18	<.0001 ***
Binary Descending	Quaternary Descending	1.51	1.55	0.97	0.988
Binary Descending	Ternary Descending	1.89	1.55	1.22	0.952
Binary Descending	Binary Flat	-26.87	1.55	-17.32	<.0001 ***
Binary Descending	Quaternary Flat	-42.31	1.55	-27.31	<.0001 ***
Binary Descending	Ternary Flat	-39.24	1.55	-25.33	<.0001 ***
Quaternary Descending	Ternary Descending	0.38	1.55	0.25	1.000
Quaternary Descending	Binary Flat	-28.37	1.55	-18.29	<.0001 ***
Quaternary Descending	Quaternary Flat	-43.82	1.55	-28.29	<.0001 ***
Quaternary Descending	Ternary Flat	-40.75	1.55	-26.31	<.0001 ***
Ternary Descending	Binary Flat	-28.76	1.55	-18.54	<.0001 ***
Ternary Descending	Quaternary Flat	-44.20	1.55	-28.53	<.0001 ***
Ternary Descending	Ternary Flat	-41.13	1.55	-26.55	<.0001 ***
Binary Flat	Quaternary Flat	-15.44	1.55	-9.95	<.0001 ***
Binary Flat	Ternary Flat	-12.38	1.55	-7.98	<.0001 ***
Quaternary Flat	Ternary Flat	3.06	1.55	1.98	0.559

$p < .05 = *$, $p < .01 = **$, $p < .001 = ***$

Tabella K | Effetto della Densità Verticale * Contorno sulla velocità percepita.

		Mean Difference	SE	$t_{(1429)}$	p
High Ascending	Low Ascending	13.20	1.42	9.32	<.0001 ***
High Ascending	Medium Ascending	12.63	1.42	8.91	<.0001 ***
High Ascending	High Descending	3.07	1.42	2.17	0.428
High Ascending	Low Descending	13.20	1.42	9.32	<.0001 ***
High Ascending	Medium Descending	16.05	1.42	11.31	<.0001 ***
High Ascending	High Flat	1.45	1.42	1.03	0.983
High Ascending	Low Flat	-4.96	1.42	-3.50	0.014
High Ascending	Medium Flat	2.67	1.42	1.89	0.623
Low Ascending	Medium Ascending	-0.57	1.42	-0.40	1.000
Low Ascending	High Descending	-10.13	1.42	-7.15	<.0001 ***
Low Ascending	Low Descending	-0.001	1.42	-0.001	1.000
Low Ascending	Medium Descending	2.85	1.42	2.01	0.538
Low Ascending	High Flat	-11.75	1.42	-8.30	<.0001 ***
Low Ascending	Low Flat	-18.17	1.42	-12.82	<.0001 ***
Low Ascending	Medium Flat	-10.53	1.42	-7.43	<.0001 ***
Medium Ascending	High Descending	-9.56	1.42	-6.75	<.0001 ***
Medium Ascending	Low Descending	0.57	1.42	-0.40	1.000
Medium Ascending	Medium Descending	3.42	1.42	2.41	0.278
Medium Ascending	High Flat	-11.18	1.42	-7.89	<.0001 ***
Medium Ascending	Low Flat	-17.59	1.42	-12.42	<.0001 ***
Medium Ascending	Medium Flat	-9.96	1.42	-7.03	<.0001 ***
High Descending	Low Descending	10.13	1.42	7.15	<.0001 ***
High Descending	Medium Descending	12.98	1.42	9.15	<.0001 ***
High Descending	High Flat	-1.62	1.42	-1.14	0.968
High Descending	Low Flat	-8.03	1.42	-5.67	<.0001 ***
High Descending	Medium Flat	-0.40	1.42	-0.28	1.000
Low Descending	Medium Descending	2.85	1.42	2.01	0.537
Low Descending	High Flat	-11.75	1.42	-8.29	<.0001 ***
Low Descending	Low Flat	-18.17	1.42	-12.82	<.0001 ***
Low Descending	Medium Flat	-10.53	1.42	-7.43	<.0001 ***
Medium Descending	High Flat	-14.60	1.42	-4.53	0.0002
Medium Descending	Low Flat	-21.02	1.42	0.86	0.995
Medium Descending	Medium Flat	-13.38	1.42	5.39	<.0001 ***

$p < .05 = *$, $p < .01 = **$, $p < .001 = ***$

Tabella L | Effetto della Densità Verticale * Pattern di Note sulla velocità percepita.

		Mean Difference	SE	<i>t</i>₍₁₄₂₉₎	<i>p</i>
Binary High	Quaternary High	-35.44	1.42	-25.01	<.0001 ***
Binary High	Ternary High	-19.94	1.42	-14.07	<.0001 ***
Binary High	Binary Low	1.51	1.42	1.07	0.979
Binary High	Quaternary Low	-29.22	1.42	-20.62	<.0001 ***
Binary High	Ternary Low	-10.75	1.42	-7.59	<.0001 ***
Binary High	Binary Medium	3.47	1.42	2.44	0.262
Binary High	Quaternary Medium	-25.54	1.42	-18.02	<.0001 ***
Binary High	Ternary Medium	-6.47	1.42	-4.57	0.0002
Quaternary High	Ternary High	15.49	1.42	10.93	<.0001 ***
Quaternary High	Binary Low	36.95	1.42	26.07	<.0001 ***
Quaternary High	Quaternary Low	6.22	1.42	4.39	0.0004
Quaternary High	Ternary Low	24.68	1.42	17.42	<.0001 ***
Quaternary High	Binary Medium	38.90	1.42	27.41	<.0001 ***
Quaternary High	Quaternary Medium	9.90	1.42	6.98	<.0001 ***
Quaternary High	Ternary Medium	28.96	1.42	20.44	<.0001 ***
Ternary High	Binary Low	21.46	1.42	15.14	<.0001 ***
Ternary High	Quaternary Low	-9.28	1.42	-6.55	<.0001 ***
Ternary High	Ternary Low	9.19	1.42	6.49	<.0001 ***
Ternary High	Binary Medium	23.41	1.42	16.49	<.0001 ***
Ternary High	Quaternary Medium	-5.60	1.42	-3.95	0.003
Ternary High	Ternary Medium	13.47	1.42	9.51	<.0001 ***
Binary Low	Quaternary Low	-30.73	1.42	21.69	<.0001 ***
Binary Low	Ternary Low	-12.26	1.42	-8.65	<.0001 ***
Binary Low	Binary Medium	1.95	1.42	1.38	0.906
Binary Low	Quaternary Medium	-27.05	1.42	-19.09	<.0001 ***
Binary Low	Ternary Medium	-7.98	1.42	-5.63	<.0001 ***
Binary Low	Ternary Low	18.47	1.42	13.03	<.0001 ***
Quaternary Low	Binary Medium	32.69	1.42	23.03	<.0001 ***
Quaternary Low	Quaternary Medium	3.68	1.42	2.60	0.189
Quaternary Low	Ternary Medium	22.75	1.42	16.05	<.0001 ***
Ternary Low	Binary Medium	14.22	1.42	10.02	<.0001 ***
Ternary Low	Quaternary Medium	-14.79	1.42	-10.44	<.0001 ***
Ternary Low	Ternary Medium	4.28	1.42	3.02	0.064
Binary Medium	Quaternary Medium	-29.01	1.42	-20.44	<.0001 ***
Binary Medium	Ternary Medium	-9.94	1.42	-7.00	<.0001 ***
Quaternary Medium	Ternary Medium	19.07	1.42	13.46	<.0001 ***

$p < .05 = *$, $p < .01 = **$, $p < .001 = ***$

