



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione
e Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di laurea in Scienze e Tecniche Psicologiche

Tesi di Laurea Triennale

L'effetto SMARC: una rassegna bibliografica

The SMARC Effect: a Bibliographic Review

Relatore

Prof. Massimo Grassi

Laureando: Gabriele Montiglio

Matricola: 2047613

Anno Accademico 2024/2025

Sommario

| | |
|---|----|
| Sommario | 3 |
| Introduzione | 5 |
| Capitolo 1. Introduzione all'effetto SMARC | 6 |
| 1.1. Definizione dell'effetto SMARC | 6 |
| 1.2. Effetto SNARC e compatibilità stimolo-risposta | 6 |
| 1.3. L'effetto SMARC verticale ed orizzontale | 8 |
| 1.4. Conclusioni di capitolo | 11 |
| Capitolo 2. Effetto SMARC per intensità e timbro sonoro | 13 |
| 2.1. Interazioni tra effetto SMARC ed effetto Simon | 13 |
| 2.2. Effetto SMARC per l'intensità del suono | 15 |
| 2.3. Effetto SMARC associato al timbro sonoro | 17 |
| 2.4. Conclusioni di capitolo | 19 |
| Capitolo 3. Ipotesi sulle cause dell'effetto SMARC | 21 |
| 3.1. L'origine dell'effetto SMARC | 21 |
| 3.2. Ipotesi linguistica | 21 |
| 3.3. Ipotesi della codifica spaziale e della localizzazione illusoria | 22 |
| 3.4. Ipotesi dell'esposizione ambientale | 24 |
| 3.5. L'effetto SMARC in soggetti non vedenti | 25 |
| 3.6. Conclusioni di capitolo | 26 |
| Conclusioni generali | 27 |
| Bibliografia | 29 |

Introduzione

Negli ultimi anni, il campo della psicologia cognitiva ha visto un crescente interesse per gli effetti di orientamento spaziale sulle percezioni sensoriali e sulle risposte comportamentali. Tra questi fenomeni, l'effetto SMARC (Spatial-Musical Association of Response Codes) ha attirato l'attenzione degli studiosi per la sua capacità di dimostrare come le caratteristiche spaziali degli stimoli influenzino le nostre reazioni a stimoli di diversa natura, sia visivi che sonori. Questo fenomeno si inserisce in un contesto più ampio di studi dedicati all'interazione tra spazio e cognizione, dove l'effetto SNARC (Spatial-Numerical Association of Response Codes) gioca un ruolo fondamentale nel comprendere la compatibilità tra stimolo e risposta. Nel primo capitolo, viene fornita una panoramica dell'effetto SMARC, analizzando come è stato dimostrato sperimentalmente e confrontando le sue manifestazioni relative all'asse spaziale verticale ed orizzontale. Inoltre, viene introdotto l'effetto SNARC e trattato l'argomento della compatibilità stimolo-risposta: il paradigma sperimentale principalmente impiegato per lo studio dell'effetto SMARC. Il secondo capitolo si concentra sulle interazioni tra effetto SMARC ed effetto Simon, un fenomeno cognitivo noto nell'ambito della psicologia applicata, esaminando come questi due fenomeni si influenzano reciprocamente. Vengono inoltre discussi gli studi pubblicati a proposito di altre caratteristiche degli stimoli sonori, al di là dell'altezza della nota, in particolare viene trattato l'argomento dell'effetto SMARC legato all'intensità di un uno stimolo sonoro e al timbro di uno stimolo sonoro. Il terzo capitolo affronta gli studi più recenti relativi all'effetto SMARC, esplorando le sue manifestazioni in assenza di stimoli uditivi, nonché il suo impatto sulle persone non vedenti. Infine, vengono proposte varie ipotesi per spiegare l'origine dell'effetto SMARC, valutando se esso possa derivare da legami linguistici, esposizione a stimoli ambientali, o da un fenomeno percettivo illusorio. Questa Tesi si propone di offrire un'analisi approfondita dell'effetto SMARC, integrando i risultati di ricerche recenti e discutendo le implicazioni teoriche di tali scoperte per la comprensione dei processi cognitivi e delle interazioni tra stimoli e risposte nel contesto spaziale.

1 Introduzione all'effetto SMARC

1.1 Definizione dell'effetto SMARC

L'effetto SMARC, acronimo di "*Spatial-Musical Association of Response Codes*," rappresenta un fenomeno psicologico che descrive la relazione tra lo spazio fisico e l'elaborazione cognitiva delle informazioni musicali. In particolare, questo effetto riflette la tendenza delle persone ad associare altezze musicali con posizioni spaziali specifiche. L'effetto SMARC si basa sull'idea che il cervello umano utilizzi rappresentazioni spaziali per organizzare e processare le informazioni sonore. Nel contesto della percezione musicale, l'effetto SMARC suggerisce che note con frequenze alte vengono generalmente associate a posizioni elevate nello spazio, mentre note con frequenze basse vengono associate a posizioni più basse. L'effetto SMARC non riguarda esclusivamente la dimensione verticale, ma può estendersi anche ad altre coordinate spaziali, come quella orizzontale, dove suoni più acuti sono associati a risposte spaziali a destra e suoni più gravi a risposte a sinistra. Il fenomeno, osservato sia nei musicisti che nei non musicisti, suggerisce che l'effetto SMARC coinvolga processi automatici e universali. Questa associazione non è solo un riflesso di un'analogia naturale tra altezza e posizione spaziale, ma implica anche meccanismi cognitivi più profondi, come i modelli mentali e le mappe sensoriali integrate che il cervello utilizza per navigare attraverso esperienze multisensoriali.

1.2 Effetto SNARC e compatibilità stimolo-risposta

L'effetto SMARC può essere considerato una variante del più noto effetto SNARC (*Spatial-Numerical Association of Response Codes*), descritto per la prima volta da Dehaene et al. (1993). L'effetto SNARC prevede l'associazione automatica tra numeri e spazio, suggerendo la presenza di una rappresentazione mentale della "linea dei numeri". Questa rappresentazione mentale procede in ordine crescente da sinistra verso destra, in modo che i numeri più piccoli siano collocati a sinistra, ed i numeri più grandi a destra. L'effetto SNARC è inoltre legato al sistema di scrittura utilizzato, ovvero la linea dei numeri mentale procede da sinistra verso destra solo nelle popolazioni che scrivono da sinistra a destra. Infatti, è stato osservato anche un effetto SNARC inverso (Dehaene et al. 1993), ovvero caratterizzato da una linea dei numeri mentale che procede in ordine crescente da destra verso sinistra, all'interno di popolazioni che utilizzano un metodo di scrittura da destra verso sinistra (e.g. Iranian). Così come L'effetto SNARC indaga una associazione spaziale

automatica legata ai numeri, allo stesso modo l'effetto SMARC indaga l'esistenza di un'associazione spaziale automatica legata agli stimoli musicali.

Entrambi gli effetti SNARC e SMARC sono stati principalmente studiati mediante un paradigma di "compatibilità stimolo-risposta" (*Stimulus-Response Compatibility*). All'interno di un paradigma di compatibilità stimolo-risposta, viene solitamente richiesto ai soggetti sperimentali di mantenere lo sguardo su un punto fisso al centro di un monitor e di svolgere un determinato compito al computer. Il compito può essere di diverse tipologie, quello che rimane costante è la modalità di risposta dei partecipanti, che consiste nel selezionare tra due pulsanti possibili quello corretto e poi premere il pulsante corretto. Un esempio di utilizzo del paradigma di compatibilità stimolo-risposta riferito all'effetto SNARC è lo studio di Dehaene et al. (1993), uno dei primi ad aver indagato il fenomeno. Lo studio ha utilizzato un compito di giudizio di parità per investigare la rappresentazione spaziale dei numeri. I partecipanti dovevano quindi premere il pulsante destro se sullo schermo compariva un numero pari, mentre dovevano premere il pulsante sinistro se il numero comparso era dispari (in altre condizioni invece bisognava al contrario premere il pulsante destro per i numeri dispari ed il pulsante sinistro per i numeri pari). Il sample degli stimoli possibili comprendeva i numeri interi da 0 a 9. In questo compito i numeri pari "grandi" (ad esempio il numero 8) ed i numeri dispari "piccoli" (ad esempio il numero 1) rappresentano la condizione di prova valida (o congruente), questo perché i numeri grandi sono mentalmente rappresentati "a destra" e il pulsante da premere nel caso di un numero pari è il destro; allo stesso modo i numeri "piccoli" sono mentalmente rappresentati a sinistra e il pulsante da premere nel caso di numeri dispari è il sinistro. Viceversa, i numeri pari "piccoli" (ad esempio il numero 2) ed i numeri dispari "grandi" (ad esempio il numero 9) rappresentano la condizione di prova invalida. Le variabili dipendenti misurate sono la rapidità e l'accuratezza. La rapidità viene misurata in termini di tempo di risposta (TR), ovvero il tempo che intercorre tra la presentazione dello stimolo e la risposta da parte del partecipante. L'accuratezza viene misurata attraverso il calcolo della percentuale di risposte corrette rispetto alle risposte errate. Attraverso l'utilizzo di questo paradigma sperimentale è stato dimostrato che i soggetti sperimentali mostrano una maggiore rapidità ed una maggiore accuratezza nel caso di prove valide (stimoli congruenti), ed una minore rapidità ed accuratezza in caso di prove invalide (stimoli incongruenti).

1.3 L'effetto SMARC verticale ed orizzontale

Uno dei primi studi che ha indagato l'esistenza di effetto simile all'effetto SNARC, relativo agli stimoli musicali è stato il lavoro di Rusconi et al. (2006), intitolato: "*Spatial representation of pitch height: the SMARC effect*". Questo studio è partito dall'ipotesi che potesse esistere un'associazione automatica tra altezza (i.e. frequenza) del suono e spazio. L'ipotesi dei ricercatori era che suoni gravi fossero associati a risposte spaziali a sinistra (o in basso) e i suoni acuti a risposte spaziali a destra (o in alto). L'obiettivo dello studio consisteva nell'esplorare se questa associazione fosse presente in compiti di scelta manuale, mediante l'utilizzo di un paradigma di compatibilità stimolo-risposta. Rusconi et al. (2006) hanno progettato una serie composta da 3 esperimenti. Nei primi due esperimenti i partecipanti non avevano alcuna formazione musicale, mentre nel terzo esperimento i partecipanti erano musicisti. Le variabili dipendenti misurate in tutti gli esperimenti erano il tempo di risposta e l'accuratezza. Nel primo esperimento il compito dei partecipanti era di comparare la frequenza di due toni puri. Per rispondere i partecipanti dovevano premere o i tasti "Q" e "P" (per indagare la rappresentazione orizzontale) oppure i tasti "barra spaziatrice" e "6" (per indagare la rappresentazione verticale) di una tastiera QWERTY. La condizione di prova congruente si presentava quando i partecipanti dovevano premere il tasto "P" o il tasto "6" per indicare che il secondo suono presentato era più acuto rispetto al primo, oppure quando i partecipanti dovevano premere il tasto "Q" o il tasto "barra spaziatrice" per indicare che il secondo tono presentato era più grave rispetto al primo. Viceversa, la condizione di prova incongruente si presentava quando i partecipanti dovevano premere il tasto "P" o il tasto "6" per indicare che il secondo suono presentato era più grave rispetto al primo, oppure quando i partecipanti dovevano premere il tasto "Q" o il tasto "barra spaziatrice" per indicare che il secondo tono presentato era più acuto rispetto al primo. Nei successivi due esperimenti invece, il compito da eseguire consisteva nell'identificare se il suono presentato fosse prodotto da uno strumento a fiato o a percussione. I toni prodotti potevano essere di varie frequenze, in particolare il *sample* degli stimoli possibili comprendeva le note comprese tra Fa3# e La4#. La condizione di prova congruente si presentava quando i partecipanti dovevano premere il tasto "P" o il tasto "6" dopo aver ascoltato un suono acuto (ovvero le note da Mi4 a La4#), oppure quando i partecipanti dovevano premere il tasto "Q" o il tasto "barra spaziatrice" dopo aver ascoltato un suono grave (ovvero le note da Fa3# a La4#). La modalità di risposta era la stessa del primo esperimento.

I risultati dello studio di Rusconi et al. (2006) forniscono una chiara evidenza dell'esistenza dell'effetto SMARC rispetto all'asse spaziale verticale. La performance dei partecipanti è

stata migliore sia in termini di rapidità che in termini di accuratezza quando la risposta spaziale era compatibile con l'altezza del suono. Questo risultato è quindi un'evidenza a favore di un'associazione automatica tra altezza del suono e spazio, il che suggerisce l'esistenza di una "mappa mentale" per l'altezza degli stimoli sonori, simile alla linea mentale dei numeri proposta nell'effetto SNARC. Si è potuto misurare un effetto SMARC verticale in tutti gli esperimenti, ovvero è stata osservata una performance migliore da parte dei partecipanti nelle condizioni di prova valida, in cui stimoli acuti erano associati al tasto alto e gli stimoli gravi al tasto basso. Un effetto SMARC orizzontale invece è stato riscontrato solo in alcune condizioni. In particolare, nell'esperimento 1 (comparazione di frequenze) in cui l'altezza delle note era uno stimolo rilevante per l'esecuzione del compito (*task-relevant*), è stato misurato un effetto SMARC orizzontale nei partecipanti. Negli esperimenti 2 e 3 invece (discriminazione del timbro), l'altezza delle note era uno stimolo irrilevante per l'esecuzione del test (*task-irrelevant*). Nell'esperimento 2, condotto su partecipanti privi di formazione musicale, non è stato individuato un effetto SMARC orizzontale significativo, ma solo una tendenza che non ha raggiunto i livelli di significatività, mentre nell'esperimento 3, condotto su partecipanti con formazione musicale, è stato osservato un effetto SMARC orizzontale. Gli autori hanno perciò concluso che per comprendere meglio il fenomeno dell'effetto SMARC orizzontale fossero necessarie altre indagini.

Uno studio successivo che ha fornito ulteriori prove a favore di una associazione tra stimoli musicali e spazio è il lavoro di Lidji et al. (2007), intitolato: "*Spatial associations for musical stimuli: a piano in the head?*". Lo studio ha esplorato il fenomeno delle associazioni spaziali per stimoli musicali, indagando l'esistenza di rappresentazioni mentali che associano l'altezza del suono con lo spazio, inoltre, sono stati studiati stimoli sonori più complessi, ovvero intervalli melodici ascendenti e discendenti. L'obiettivo dello studio era di verificare l'esistenza di un effetto SMARC verticale ed orizzontale per stimoli semplici (i.e. legato all'altezza della nota) e per stimoli complessi (i.e. il contorno melodico). Lidji et al. (2007) hanno realizzato un disegno sperimentale composto da 6 esperimenti. Di questi 6, i primi 3 erano simili agli esperimenti realizzati da Rusconi et al. (2006) e prevedevano compiti di discriminazione del timbro di un suono ascoltato (utilizzando suoni registrati di pianoforte e violino) e di comparazione dell'altezza delle note. I successivi 3 esperimenti invece sono stati condotti utilizzando come stimoli degli intervalli melodici, ovvero sequenze di due note suonate in successione. Al pari dello studio di Rusconi et al. (2006), sono stati impiegati sia

partecipanti musicisti che partecipanti non-musicisti. Ed anche in questo caso è stato utilizzato un paradigma di compatibilità stimolo-risposta per indagare l'associazione automatica oggetto di studio.

I primi 3 esperimenti hanno confermato la presenza di un effetto SMARC verticale associato alla frequenza (altezza) degli stimoli musicali, sia per musicisti che per non-musicisti; i soggetti sperimentali hanno ottenuto quindi una performance migliore nel caso di prove valide, in cui lo stimolo era congruente con il tasto di risposta. Lo studio di Lidji et al. (2007) ha individuato anche un effetto SMARC orizzontale significativo nel caso di partecipanti musicisti, sia per compiti *task-relevant* che per compiti *task-irrelevant*. A differenza dello studio di Rusconi et al. (2006), i risultati mostrano un effetto SMARC orizzontale significativo anche nel caso di partecipanti non-musicisti per compiti *task-relevant*, mentre lo studio di Rusconi et al. (2006) aveva individuato solamente una tendenza non significativa. L'effetto SMARC orizzontale, secondo i risultati dello studio di Rusconi et al. (2006), si verifica per musicisti e non-musicisti in *compiti task-relevant*, mentre si verifica solo nei partecipanti musicisti nel caso di compiti *task-irrelevant*. Nei successivi 3 esperimenti, i quali si sono occupati di indagare l'effetto SMARC utilizzando intervalli melodici come stimoli, sono invece emerse evidenze molto limitate. In particolare, i ricercatori non hanno riscontrato alcun effetto significativo legato ad una associazione spaziale evocata dal contorno melodico in non-musicisti, mentre è emerso un significativo effetto SMARC solo in partecipanti musicisti, in un compito di discriminazione del timbro. Complessivamente lo studio di Lidji et al. (2007) ha fornito un'ulteriore evidenza a favore dell'esistenza di un effetto SMARC verticale ed orizzontale nelle rappresentazioni mentali degli stimoli musicali, suggerendo che l'associazione spaziale tra altezza del suono e spazio sia un meccanismo cognitivo generale che non dipende interamente dall'esperienza musicale. Al contrario, non sono state raccolte significative evidenze a favore della presenza di un effetto SMARC legato ad intervalli melodici ascendenti e discendenti.

L'effetto SMARC orizzontale è stato ulteriormente indagato all'interno di uno studio di Cho, Bae e Proctor (2012) esplorando in che modo la codifica referenziale (*referential coding*) contribuisca all'effetto SMARC. Gli autori hanno cercato di chiarire se la presenza di un tono di riferimento possa facilitare la presenza d'effetto SMARC in partecipanti musicisti e non-musicisti e hanno analizzato come i musicisti e i non musicisti rispondono a compiti in cui la tonalità del suono è rilevante o irrilevante. Il termine codifica referenziale si riferisce a un

meccanismo cognitivo in cui uno stimolo viene codificato o rappresentato in relazione a un altro stimolo o a un riferimento esterno. In altre parole, la codifica referenziale si verifica quando il cervello interpreta e mappa un'informazione sulla base di un confronto o di una relazione con un punto di riferimento. I ricercatori hanno realizzato 3 esperimenti. Il primo esperimento consisteva in un compito di discriminazione dell'altezza della nota (i.e. stabilire se una nota fosse acuta o grave). L'altezza della nota era perciò rilevante per lo svolgimento del compito. Metà dei partecipanti realizzava il compito in presenza di un tono di riferimento. I risultati, in accordo con studi precedenti (Lidij et al. 2007; Rusconi et al. 2006) mostrano la presenza di un effetto SMARC per compiti *task-relevant*, la presenza del tono di riferimento non porta ad una differenza significativa tra i due gruppi. Il secondo e terzo esperimento consistevano rispettivamente in un compito di giudizio del timbro musicale e in un compito di giudizio di colori. In entrambi i compiti quindi, l'altezza della nota era irrilevante per lo svolgimento del compito. Anche in questo caso, metà dei partecipanti hanno svolto l'esperimento con la presenza di un tono di riferimento e l'altra metà senza. I risultati di questi ultimi due esperimenti mostrano che per i non musicisti, l'effetto SMARC è emerso solo quando il tono di riferimento era presente, suggerendo che la codifica referenziale è cruciale quando la tonalità non è rilevante. Al contrario, i musicisti hanno mostrato l'effetto SMARC indipendentemente dalla presenza del riferimento, indicando che i musicisti formano codici spaziali automaticamente, senza necessità di un confronto. In assenza di un tono di riferimento quindi, il presente studio replica i risultati di Lidij et al. (2007) e Rusconi et al. (2006), ovvero mostra che per compiti *task-irrelevant* è presente un effetto SMARC orizzontale solo per partecipanti musicisti, in aggiunta a ciò, il presente studio dimostra che anche partecipanti non-musicisti possono mostrare un effetto SMARC significativo se viene presentato un tono di riferimento.

1.4 Conclusioni di capitolo

In questo primo capitolo è stato introdotto l'effetto SMARC, ovvero il fenomeno secondo cui l'altezza (i.e. la frequenza) di uno stimolo musicale risulta essere automaticamente associata a determinate posizioni spaziali. L'effetto SMARC è una variante del più noto effetto SNARC, che prevede una associazione tra numeri e spazio. All'interno del capitolo è stato discusso il paradigma sperimentale di compatibilità stimolo risposta, principale metodo di studio dell'effetto SMARC. Inoltre, sono stati riassunti i primi studi riguardanti questo campo di indagine, i quali hanno dimostrato l'esistenza di un effetto SMARC relativo all'asse

verticale, che si manifesta indipendentemente del livello di formazione musicale dei soggetti sperimentali, sia per compiti *task-relevant* che per compiti *task-irrelevant*. Gli studi riportati in questo capitolo hanno inoltre dimostrato l'esistenza di un effetto SMARC relativo all'asse orizzontale, il quale si verifica sia in partecipanti musicisti che in partecipanti non-musicisti quando il compito richiede esplicitamente di codificare lo stimolo dell'altezza di un suono (i.e. *task-relevant*), mentre si verifica solo nei partecipanti musicisti quando non viene richiesto esplicitamente di codificare lo stimolo dell'altezza di uno stimolo sonoro (i.e. *task-irrelevant*).

2 Effetto SMARC per intensità e timbro sonoro

2.1 Interazioni tra effetto SMARC ed effetto Simon

Un fenomeno classico della psicologia cognitiva è il cosiddetto effetto Simon. In particolare, esso dimostra come la compatibilità spaziale tra uno stimolo e la risposta motoria possa influenzare i tempi di reazione e la precisione delle risposte, anche quando la posizione dello stimolo è irrilevante per il compito da svolgere. Scoperto nel 1969 dallo psicologo J. R. Simon, questo effetto ha aperto nuove prospettive sul modo in cui il cervello elabora simultaneamente informazioni rilevanti e irrilevanti. Così come gli effetti SNARC e SMARC, anche l'effetto Simon viene tipicamente studiato utilizzando un paradigma di compatibilità stimolo-risposta. Un esperimento tipico relativo all'effetto Simon può essere un compito svolto al computer, in cui i partecipanti sono istruiti a premere un pulsante con la mano destra alla comparsa di un cerchio rosso sul monitor, ed un pulsante con la mano sinistra alla comparsa di un cerchio blu. Gli stimoli possono presentarsi a destra o a sinistra rispetto al centro dello schermo. In questo caso, il colore dello stimolo è l'informazione rilevante per prendere la decisione, e la posizione dello stimolo (a destra o a sinistra dello schermo) è invece irrilevante al fine del compito. Tuttavia, l'effetto Simon mostra che le persone rispondono più velocemente e con meno errori quando lo stimolo appare nella stessa posizione del pulsante da premere (compatibilità spaziale), per esempio un cerchio rosso a destra con la mano destra, o un cerchio blu a sinistra con la mano sinistra. Viceversa, se lo stimolo appare nella posizione opposta (incompatibilità spaziale), i tempi di reazione sono più lenti e gli errori sono più frequenti.

Uno studio di Nishimura e Yokosawa (2009), ha esplorato le interazioni tra l'effetto SMARC orizzontale e l'effetto Simon, entrambi fenomeni che riguardano l'influenza delle rappresentazioni spaziali su compiti di scelta mediante risposta motoria. L'obiettivo dello studio era investigare come la posizione spaziale di comparsa degli stimoli (sinistra/destra) e l'altezza del suono (grave/acuto) influenzassero la selezione della risposta orizzontale, indagando in che modo i due effetti possano sovrapporsi o interagire tra loro. Lo studio si proponeva di approfondire la comprensione dell'effetto SMARC in contesti in cui sono coinvolte anche le associazioni spaziali esplicitate dall'effetto Simon, in modo da capire se queste due associazioni spaziali agissero in modo indipendente o se potessero interferire tra loro. Ai partecipanti veniva presentato uno stimolo visivo rosso o verde al centro del monitor di un computer. I partecipanti dovevano premere un pulsante con la mano destra alla

comparsa dello stimolo verde, e premere un pulsante con la mano sinistra alla comparsa di uno stimolo rosso (o viceversa). Contemporaneamente uno stimolo sonoro acuto o grave veniva presentato nell'orecchio destro o sinistro dei partecipanti. Per l'effetto Simon la condizione compatibile corrispondeva alla pressione del tasto destro dopo aver udito un suono nell'orecchio destro o tasto sinistro dopo aver udito un suono nell'orecchio sinistro. Mentre per l'effetto SMARC la condizione compatibile corrispondeva alla pressione del tasto a destra dopo aver udito il suono acuto, o alla pressione del tasto a sinistra dopo aver udito il suono grave. Le variabili dipendenti misurate erano i tempi di reazione e l'accuratezza delle risposte.

I risultati dello studio hanno confermato la presenza di entrambi gli effetti, sia l'effetto Simon che l'effetto SMARC, che sono stati osservati come fenomeni separati. I partecipanti rispondevano più velocemente e accuratamente quando la posizione spaziale dello stimolo visivo era compatibile con la risposta (effetto Simon), così come quando l'altezza del suono era compatibile con la direzione della risposta (effetto SMARC). Tuttavia, contrariamente alle aspettative, non sono emerse significative interazioni tra i due effetti, la presenza di un tono congruente in una condizione di compatibilità spaziale non ha perciò aumentato l'intensità dell'effetto Simon misurato, così come l'orecchio in cui veniva presentato il suono non ha influito sull'intensità dell'effetto SMARC misurato. Una ipotesi degli autori è che questi risultati potrebbero suggerire che i due effetti sono determinati da meccanismi cognitivi differenti, per questo motivo non interagiscono tra di loro. Inoltre, precedenti esperimenti sull'effetto SMARC (Lidji et al., 2007; Rusconi et al., 2006) non hanno riscontrato la presenza di un effetto SMARC significativo sul piano orizzontale, quando i partecipanti erano non-musicisti ed il compito non richiedeva la codifica esplicita dell'altezza della nota (*task-irrelevant*). Secondo i ricercatori questo potrebbe essere spiegato dalla tipologia degli stimoli sonori utilizzati. In questo studio, infatti, solo due stimoli sonori differenti sono stati impiegati, un suono grave (300 Hz) ed uno acuto (500 Hz). Questo potrebbe aver quindi reso possibile la presenza dell'effetto SMARC anche in partecipanti con una formazione musicale minima, come erano i soggetti di questo studio. Per comprendere meglio la possibile interazione tra effetto Simon e SMARC ulteriori approfondimenti sono necessari, indagando per esempio la possibile interazione tra i due effetti, mediante la partecipazione di soggetti sperimentali con formazione musicale, oppure indagando l'interazione relativa all'asse verticale, in cui la presenza dell'effetto SMARC è stata dimostrata in modo più consistente.

2.2 Effetto SMARC per l'intensità del suono

Alcuni studi si sono occupati di indagare l'esistenza di un'associazione spaziale, automatica, riguardante l'aspetto dell'intensità (i.e. il volume) di un suono. Tra gli studi che hanno affrontato questo argomento vengono presi in considerazione in questo capitolo i seguenti: Chang & Cho, 2015; Hartmann & Mast, 2017; Fernandez-Prieto, Spence, Pons, & Navarra, 2017; Bruzzi, Talamini, Priftis & Grassi, 2017.

Lo studio di Chang & Cho (2015) ha indagato l'esistenza di un effetto SMARC orizzontale per l'intensità di un suono. Sono stati realizzati 4 esperimenti che si differenziavano in base a due tipologie di compiti. La prima tipologia di compito consisteva nel giudizio dell'intensità dello stimolo sonoro (*loudness-judgement task*), ai partecipanti veniva presentato un tono puro, preceduto da un tono di riferimento. I soggetti sperimentali dovevano stabilire quale tono, fra i due presentati, fosse il più intenso (i.e. avesse un volume più elevato). In questo caso quindi, l'intensità dello stimolo sonoro era rilevante per il compito (*task relevant*). La seconda tipologia di compito invece si trattava di un compito di discriminazione del timbro (*timbre-judgment task*), ai soggetti sperimentali veniva richiesto di riconoscere se il timbro del suono ascoltato fosse prodotto da un violino o da un pianoforte. In questa seconda tipologia di esperimento, l'intensità dello stimolo non era quindi rilevante per il compito da svolgere (*task irrelevant*). I risultati emersi da questo studio suggeriscono la presenza di effetto SMARC orizzontale per l'intensità del suono, sia quando l'intensità dello stimolo sonoro è rilevante, così come quando l'intensità dello stimolo è irrilevante per lo svolgimento del compito. Tuttavia, l'effetto si presenta in modo asimmetrico, mostrando una magnitudine maggiore per stimoli intensi associati a risposte a destra, rispetto che stimoli deboli associati a risposte a sinistra.

Lo studio Hartmann & Mast (2017) si è occupato di indagare principalmente l'esistenza di una associazione tra intensità dello stimolo sonoro e magnitudine numerica, relativa all'asse orizzontale. Ad ogni modo, all'interno dello studio è stato condotto anche un esperimento di giudizio dell'intensità dello stimolo sonoro, con l'obiettivo di verificare l'esistenza di una associazione spaziale legata all'intensità degli stimoli sonori. Gli stimoli presentati consistevano in numeri, letti ad alta voce utilizzando varie intensità di suono. I risultati di questo esperimento, oltre che aver individuato una associazione tra l'intensità dello stimolo sonoro e la magnitudine numerica, hanno riportato un'associazione tra l'intensità dello stimolo sonoro e la posizione spaziale, relativa all'asse orizzontale.

Lo studio di Fernandez-Prieto, Spence, Pons, & Navarra (2017) ha indagato anch'esso l'esistenza di un'associazione tra intensità di un suono e posizione spaziale. In particolare, è stata misurata l'associazione con l'asse verticale. L'ipotesi formulata dai ricercatori era che, in un compito di compatibilità stimolo-risposta, vi fosse un'associazione tra suoni intensi e posizioni spaziali elevate, così come una associazione tra stimoli deboli e posizioni spaziali basse. Questa ipotesi deriva dall'osservazione che in diverse lingue, tra cui l'italiano e l'inglese, l'intensità dello stimolo sonoro e determinate posizioni spaziali vengono descritte utilizzando gli stessi termini. In italiano, ad esempio, si utilizza l'aggettivo "alto" per riferirsi ad un suono forte, intenso. Una ipotesi analoga è stata formulata relativamente all'associazione tra l'altezza di un suono e la sua posizione spaziale (e.g. Rusconi et al 2006); è infatti possibile utilizzare l'aggettivo "alto", per riferirsi ad un suono acuto. Per verificare questa ipotesi è stato utilizzato un paradigma di compatibilità stimolo-risposta. L'esperimento consisteva nel sottoporre i partecipanti ad un compito di *loudness-comparison*. Ai soggetti sperimentali è stato chiesto di comparare un tono di riferimento, con un serie di stimoli di uguale frequenza ma che variavano per intensità. Il compito era di stabilire se il tono presentato fosse più o meno intenso rispetto ad un tono di riferimento, premendo uno tra due pulsanti collocati verticalmente. Nella condizione congruente i partecipanti premevano il pulsante in alto ed il pulsante in basso, per indicare che il suono udito fosse più intenso o meno intenso, rispettivamente. I risultati emersi indicano la presenza di un'associazione tra l'asse spaziale verticale e l'intensità degli stimoli uditivi, come ipotizzato dai ricercatori.

Lo studio di Bruzzi, Talamini, Priftis e Grassi (2017) ha anch'esso esaminato l'esistenza di un'associazione tra intensità dello stimolo uditivo e posizioni spaziali lungo l'asse verticale, denominando questa associazione: "*loudness-SMARC effect*", ovvero effetto SMARC per l'intensità sonora. La differenza maggiore dello studio di Bruzzi et al. (2017) rispetto a Fernandez-Prieto et al. (2017), riguarda l'utilizzo di un intervallo di 500 ms, che separa l'ascolto del tono di riferimento dal *probe tone*, ovvero il tono che il partecipante deve valutare. Questo accorgimento è stato impiegato per evitare che si verificasse un fenomeno di *forward masking*, ovvero il fenomeno per cui il secondo tono presentato risulta essere in parte mascherato dal primo tono udito, il che, come sottolineato dai ricercatori, potrebbe introdurre un fattore non controllabile, in grado potenzialmente di ridurre la validità dell'esperimento. La validità statistica dello studio di Bruzzi et al. (2017) è inoltre maggiore rispetto ai precedenti studi che hanno indagato il fenomeno dell'effetto SMARC per l'intensità sonora, in quanto il numero di soggetti sperimentali impiegato è maggiore. In

questo esperimento è stato utilizzato un paradigma di compatibilità stimolo-risposta. I partecipanti dovevano effettuare un compito di comparazione dell'intensità di stimoli sonori. Ai soggetti sperimentali veniva quindi sottoposto uno stimolo sonoro di riferimento, dopo un intervallo di 500ms compariva poi un secondo stimolo sonoro che i partecipanti dovevano giudicare come più o meno intenso. Per rispondere era necessario premere uno di due pulsanti collocati verticalmente su una *response box*. Nella condizione valida o congruente i partecipanti dovevano premere il pulsante in alto per indicare che il secondo suono udito era più intenso rispetto al primo, oppure premere un pulsante in basso per indicare che il secondo suono udito era meno intenso rispetto al primo. Al contrario, nella condizione invalida i partecipanti dovevano premere il pulsante in alto per indicare che il secondo suono udito era meno intenso rispetto al primo, oppure premere un pulsante in basso per indicare che il secondo suono udito era più intenso rispetto al primo. I risultati emersi dallo studio di Bruzzi et al. (2017) mostrano una performance significativamente superiore all'interno delle prove valide rispetto alle prove invalide confermando l'esistenza di un'associazione spaziale-verticale legata all'intensità degli stimoli sonori, allineandosi con i risultati di Fernando-Prieto et al. (2017).

2.3 Effetto SMARC associato al timbro sonoro

Oltre alla frequenza ed all'intensità, una delle caratteristiche più rilevanti per descrivere uno stimolo sonoro è il timbro. Il timbro determina la qualità di un suono, ed è ciò che ci permette di distinguere il suono di un pianoforte da quello di un violino, nonostante la nota suonata (in termini di frequenza), possa essere la stessa. Il concetto di timbro fa riferimento ad una moltitudine di caratteristiche, tra cui gli aspetti temporali di un suono: l'attacco, la tenuta ed il decadimento. Inoltre, una componente fondamentale facente parte del timbro è il contenuto spettrale o centro spettrale di un suono (*spectral centroid*). Il centro spettrale di un suono è una misura che descrive il "baricentro" dello spettro delle frequenze del suono. Esprime la media pesata delle frequenze, determinata dall'intensità dei vari armonici, presenti nello spettro sonoro, con i valori più alti indicanti una maggiore presenza di alte frequenze. Un centro spettrale più elevato è associato a suoni più brillanti e uno più basso a suoni più cupi. Il suono di un oboe ha tipicamente un centro spettrale più alto rispetto ad un corno francese, nonostante la nota suonata sia la stessa (McAdams, 2013). Per descrivere il contenuto spettrale di un suono vengono spesso utilizzati degli aggettivi legati al campo visivo: si parla spesso di colore di un suono, oppure un suono può essere descritto

come più chiaro, brillante, piuttosto che scuro, cupo. La chiarezza sonora è perciò una qualità timbrica che dipende dal centro spettrale e si riferisce alla percezione di un suono come brillante o cupo. Suoni con alte frequenze predominanti (centro spettrale alto) sono percepiti come brillanti, mentre suoni con basse frequenze predominanti (centro spettrale basso) vengono percepiti come cupi.

Lo studio di Pitteri, Marchetti, Priftis e Grassi (2017), intitolato *“Naturally together: pitch-height and brightness as coupled factors for eliciting the SMARC effect in non-musicians”*, esamina come le due dimensioni uditive: altezza del suono e luminosità sonora si combinano per evocare l'effetto SMARC in soggetti sperimentali senza formazione musicale formale. L'obiettivo dello studio era di separare queste due caratteristiche sonore, spesso percepite insieme, e comprendere in che modo altezza e luminosità del suono contribuiscano a formare la rappresentazione spaziale degli stimoli sonori, definita dall'effetto SMARC. Lo studio consisteva in tre esperimenti, ciascuno progettato per esaminare in modo specifico come altezza e luminosità del suono influenzassero i tempi di reazione e la presenza dell'effetto SMARC. Nel primo esperimento l'altezza delle note e il centro spettrale variavano in modo coerente. Nel secondo esperimento l'altezza della nota variava, mentre rimaneva costante il centro spettrale. Infine, nel terzo esperimento l'altezza della nota rimaneva costante e variava il centro spettrale. I partecipanti dovevano ascoltare gli stimoli sonori presentati e stabilire se fossero prodotti utilizzando la tecnica del “vibrato” oppure no, e rispondere in alcuni casi con due pulsanti collocati orizzontalmente, oppure con due pulsanti collocati verticalmente. Il compito da svolgere non richiedeva quindi di valutare esplicitamente le caratteristiche di chiarezza e di altezza sonora.

Si è riscontrato un effetto SMARC solo nell'esperimento 1, ovvero solo nel caso in cui i due parametri variavano coerentemente. Questo suggerisce che, utilizzando stimoli sonori complessi (invece che toni puri), l'effetto SMARC non è provocato solo dall'associazione spaziale con l'altezza delle note, bensì anche la luminosità sonora e quindi il timbro del suono, svolgono una funzione fondamentale nel provocare l'effetto SMARC. Complessivamente gli esperimenti suggeriscono che altezza del suono e centro spettrale sono dimensioni naturalmente accoppiate che influenzano congiuntamente la percezione spaziale. Inoltre, è stato riscontrato un effetto SMARC solo relativo all'asse verticale; questo dato è in linea con i risultati emersi dagli studi precedenti (e.g. Rusconi et al. 2006; Lidij et al. 2006). Infatti, quando l'altezza della nota è irrilevante per lo svolgimento del compito

(*task-irrelevant*) e viene quindi processata solo in modo non intenzionale, i partecipanti non musicisti non mostrano solitamente alcun effetto SMARC orizzontale.

Questo studio è stato successivamente replicato (Pitteri et al. 2021) con partecipanti musicisti. Il disegno sperimentale e le procedure utilizzate sono rimasti invariati rispetto al lavoro precedente. I risultati di questo secondo studio si allineano con i risultati già ottenuti con i partecipanti non musicisti. Secondo gli autori questa è una prova del fatto che l'effetto SMARC è prevalentemente indipendente della formazione musicale. Tuttavia, mentre in Pitteri et al. (2017) è stato riscontrato un effetto SMARC significativo solo nella condizione in cui sia l'altezza che lo stimolo sonoro variavano, in questo studio è stato individuato un effetto significativo in altre due condizioni. Si è riscontrato un effetto significativo sull'asse verticale nella condizione in cui l'altezza della nota variava, mentre la luminosità sonora era fissa. Inoltre, si è riscontrato un effetto significativo sull'asse orizzontale nella condizione in cui l'altezza della nota era fissa, mentre variava la luminosità sonora. Secondo i ricercatori questi valori significativi sono dovuti al maggiore potere statistico dello studio di Pitteri et al. (2021). L'effetto maggiore riscontrato è comunque relativo alla condizione in cui entrambi i parametri variano coerentemente (relativo all'asse verticale), confermando che l'effetto SMARC per stimoli sonori complessi è legato non solo all'altezza della nota, ma all'unione tra l'altezza e la luminosità dello stimolo sonoro.

2.4 Conclusioni di capitolo

In questo secondo capitolo è stato introdotto l'effetto Simon, un fenomeno classico che riguarda la compatibilità spaziale tra stimolo e risposta motoria. Effetto SMARC ed effetto Simon sono entrambi fenomeni studiati mediante un paradigma di compatibilità stimolo-risposta. Uno studio di Nishimura e Yokosawa (2009) si è occupato di verificare l'esistenza di una possibile interazione tra questi due effetti. I risultati dell'esperimento mostrano, tuttavia che non è presente interazione tra effetto Simon ed effetto SMARC. Inoltre, sono stati riportati diversi studi che indagano vari aspetti dello stimolo sonoro, in particolare l'intensità e il timbro, in relazione con l'effetto SMARC. Dagli studi analizzati è stato possibile osservata l'esistenza di un fenomeno di compatibilità spaziale riguardante l'intensità sonora, simile all'ormai nota associazione relativa all'altezza dello stimolo musicale. È perciò possibile parlare di un effetto SMARC legato all'intensità sonora. Gli studi rilevativi al timbro sonoro hanno invece mostrato che il contenuto spettrale di un suono è strettamente legato

alla manifestazione dell'effetto SMARC, il quale si manifesta con la massima intensità quando l'altezza della nota varia in modo congruente con il contenuto spettrale.

3 Ipotesi sulle cause dell'effetto SMARC

3.1 L'origine dell'effetto SMARC

L'esistenza di un fenomeno associativo che lega l'altezza di uno stimolo sonoro e determinate posizioni spaziale (i.e. l'effetto SMARC) è stata ampiamente dimostrata empiricamente; tuttavia, quello che rimane invece ancora oggi un punto interrogativo è il quesito relativo all'origine dell'effetto SMARC: quali sono le cause, da cosa è prodotto l'effetto SMARC. Diverse ipotesi sono state formulate relativamente a quali possano essere i meccanismi che provocano l'associazione stimolo-risposta osservabile con l'effetto SMARC. In questo capitolo sono discusse queste ipotesi, così come gli studi che cercano di dimostrarne la validità.

3.2 Ipotesi linguistica

Una prima ipotesi è la cosiddetta "ipotesi linguistica". Essa nasce dalla considerazione che nella maggior parte delle lingue del mondo, i termini che vengono utilizzati per descrivere l'altezza di un suono hanno una connotazione di tipo spaziale. Un suono acuto viene spesso definito come alto, mentre un suono grave viene spesso definito basso, analogamente questo avviene anche nella lingua inglese (high/ low) ed in molte altre lingue. Diversi studi che si sono occupati di indagare l'effetto SMARC hanno notato questo aspetto, ed hanno ipotizzato che l'effetto SMARC possa essere derivato proprio da questa associazione verbale (Lidji et al. 2007; Rusconi et al. 2006). Uno studio in particolare (Fernandez-prieto et al. 2017) ha indagato nello specifico il ruolo dell'influenza del linguaggio sulla rappresentazione dell'altezza del suono rispetto all'asse spaziale verticale. Lo studio ha confrontato la performance di un gruppo di partecipanti inglesi e di un gruppo di partecipanti spagnoli/catalani in un compito di *pitch-comparison*, ovvero di comparazione dell'altezza della nota di due stimoli sonori. Mentre per la lingua inglese i termini utilizzati per indicare l'altezza di una nota hanno una connotazione spaziale (i.e. high/low), nella lingua spagnola e catalana per indicare l'altezza di una nota si utilizzano parole non connotate spazialmente (i.e. "agut/agudo"; "greu/grave"). I risultati di questo studio hanno mostrato che nonostante entrambi i gruppi, ovvero sia il gruppo di parlanti inglesi, sia il gruppo di parlanti spagnolo/catalano, abbiamo mostrato la presenza di un effetto SMARC, il gruppo di parlanti inglese ha mostrato un effetto più pronunciato. Questo secondo i ricercatori costituisce una prova del fatto che l'associazione linguistica tra altezza della nota ed altezza spaziale è presente con una maggiore intensità nei parlanti inglesi. Tuttavia, i ricercatori hanno specificato che,

mentre nella lingua spagnola e nella lingua catalana i termini comunemente utilizzati per indicare l'altezza di un suono non hanno una connotazione spaziale, è comunque possibile utilizzare i termini "alto/alt" e "bajo/baix" che, anche se meno frequentemente, vengono comunque utilizzati per indicare l'altezza di un suono, ed hanno una connotazione spaziale.

3.3 Ipotesi della codifica spaziale e della localizzazione illusoria

L'ipotesi più diffusa, che tenta di spiegare l'origine dell'effetto SMARC è la cosiddetta ipotesi della codifica spaziale (*spatial-coding hypothesis*). Secondo questa ipotesi l'effetto SMARC è il risultato di una mappatura spaziale automatica e intrinseca tra l'altezza del suono e lo spazio, una rappresentazione cognitiva interna del suono nello spazio. La codifica spaziale potrebbe essere innata o appresa tramite l'esperienza sensoriale. Nel caso in cui la codifica spaziale sia appresa, essa potrebbe derivare dall'utilizzo di metafore linguistiche e concettuali (l'ipotesi linguistica, approfondita nel paragrafo precedente), per cui i termini come "alto" e "basso" usati in riferimento all'altezza della nota, potrebbero determinare l'associazione tra altezza del suono e spazio. Il paradigma di compatibilità stimolo-risposta, che viene impiegato per la maggior parte degli studi relativi all'effetto SMARC si basa sul principio della codifica spaziale, ovvero si ritiene che l'utilizzo di questo paradigma sperimentale permetta di esaminare in che modo uno stimolo risulta essere codificato spazialmente (Proctor & Reeve, 1990).

Un'ipotesi alternativa che tenta di spiegare l'effetto SMARC con un meccanismo differente è l'ipotesi della localizzazione illusoria (*illusory sound localization*), una teoria che cerca di spiegare l'effetto SMARC in termini di percezione spaziale errata o "illusoria" della provenienza del suono. In particolare, questa ipotesi deriva da un fenomeno osservato per la prima volta da Pratt (1930) e successivamente replicato da altri ricercatori (e.g. Roffler et al. 1968). Pratt ha scoperto che gli individui tendono a percepire i suoni di frequenza elevata, come provenienti da una locazione spaziale elevata ed allo stesso modo, percepire i suoni gravi come provenire da una locazione bassa, anche se la sorgente del suono non si trova realmente in quelle posizioni. Questa illusione spaziale potrebbe spiegare l'associazione automatica tra altezza del suono e spazio che caratterizza l'effetto SMARC. Secondo questa ipotesi, la relazione tra altezza del suono e spazio non deriverebbe quindi da un meccanismo cognitivo astratto o simbolico, ma piuttosto da un'illusione percettiva per cui il cervello "localizza" i suoni acuti come provenienti dall'alto e i suoni gravi come provenienti dal basso. Nel loro studio del 2020, Jiang e Ariga hanno esaminato direttamente questa

ipotesi nell'ambito dell'effetto SMARC. Nella loro ricerca, hanno testato se l'effetto SMARC possa manifestarsi anche in assenza di suoni reali, utilizzando soltanto l'immaginazione uditiva. I ricercatori hanno cercato di determinare se l'effetto SMARC sia legato alla localizzazione illusoria dei suoni (dove i suoni acuti sembrano provenire dall'alto e quelli gravi dal basso), oppure se si tratti di una codifica spaziale dell'altezza dei suoni, come solitamente ipotizzato nell'ambito degli studi che indagano l'effetto SMARC.

Il primo esperimento prevedeva una fase iniziale di *training* e una fase successiva di *test*. All'interno della fase di *training*, due forme geometriche nuove: forma A e forma B, venivano associate rispettivamente a un tono acuto (4.000 Hz) e a un tono grave (1.000 Hz). Le forme erano state scelte in un esperimento preliminare per garantire che non evocassero naturalmente associazioni di altezza del suono. Durante la fase di *test*, consistente in un compito di discriminazione, ai partecipanti venivano mostrate le forme A e B (senza i toni associati), essi dovevano premere un tasto in base alla forma visualizzata (un tasto superiore per la forma A e uno inferiore per la forma B). Le risposte erano misurate sia in condizioni congruenti (forma A associata alla risposta superiore, forma B alla risposta inferiore) sia in condizioni incongruenti (forma A associata alla risposta inferiore). Sono stati misurati tempi di reazione significativamente più rapidi nelle condizioni congruenti rispetto a quelle incongruenti. Questo dimostra che l'associazione tra altezza del suono e spazio può essere attivata anche solo tramite la presentazione visiva delle forme, senza suoni reali. Pertanto, l'effetto SMARC è stato osservato basandosi sull'immaginazione uditiva evocata dai simboli visivi.

Per dimostrare che i risultati ottenuti dal primo esperimento fossero legati all'associazione tra le forme A e B e i suoni uditi durante la fase di *training*, un secondo esperimento è stato condotto. Il metodo è rimasto invariato rispetto all'esperimento 1, la sola differenza è che questa volta i partecipanti non ricevevano alcun *training* (associazione tra forme e stimoli sonori) ed eseguivano la sola fase di *test*. In questo secondo esperimento, non è stata rilevata alcuna differenza significativa tra le condizioni congruenti e incongruenti. Questo risultato ha confermato che l'effetto SMARC osservato nell'Esperimento 1 era dovuto alla presenza di una fase di *training*, che aveva creato un'associazione tra le forme visive e gli stimoli sonori acuti e gravi. I risultati dello studio condotto da Jiang e Ariga hanno mostrato che l'effetto SMARC può emergere anche in assenza di stimoli sonori, utilizzando solo stimoli visivi, precedentemente associati a stimoli sonori gravi o acuti. Questo risultato funge da prova a favore dell'ipotesi della codifica spaziale. Il fenomeno della localizzazione

illusoria non avrebbe potuto infatti verificarsi all'interno del paradigma sperimentale utilizzato, poiché i partecipanti non hanno dovuto ascoltare alcun suono durante la fase sperimentale, affinché si verificasse l'effetto SMARC. Questo indica che l'effetto SMARC potrebbe dipendere piuttosto da una mappatura cognitiva tra l'altezza del suono e lo spazio, come suggerito dall'ipotesi della codifica spaziale.

3.4 Ipotesi dell'esposizione ambientale

Un'ulteriore ipotesi relativa all'origine dell'effetto SMARC riguarda l'idea che l'associazione tra l'altezza di una nota e l'asse spaziale verticale si formi in seguito all'esposizione a stimoli sonori ambientali, in cui la relazione tra la frequenza del suono (bassa o alta) e la sua posizione nello spazio (bassa o alta) è riflessa dalle statistiche naturali dell'ambiente. Questo avviene perché, secondo l'ipotesi, stimoli sonori gravi provengono più spesso dal basso, mentre stimoli sonori acuti provengono più spesso dall'alto. Questo potrebbe essere sia legato al modo in cui il suono viene riflesso e assorbito (e.g. il terreno assorbe maggiormente le frequenze elevate) oppure potrebbe essere legato al fatto che suoni con frequenza maggiore vengano prodotti ad elevazioni maggiori (e.g. il canto degli uccelli in alto, il rimbombo dei passi sul pavimento in basso). Nel tempo, l'esposizione ripetuta a queste relazioni potrebbe portare il cervello umano a sviluppare una rappresentazione spaziale del suono che mappa automaticamente le frequenze sonore su posizioni spaziali

Lo studio di Parise et al. del 2014 ha testato questa ipotesi esplorando il legame tra statistiche naturali dell'ambiente sonoro e percezione spaziale umana. Utilizzando registrazioni reali di ambienti sonori naturali e analizzando come il sistema uditivo umano filtra i suoni, i ricercatori hanno dimostrato che i suoni acuti tendono a provenire da posizioni elevate nello spazio e i suoni gravi da posizioni più basse. I ricercatori hanno registrato suoni in ambienti naturali e hanno trovato una chiara mappatura tra la frequenza sonora e la posizione spaziale. Suoni ad alta frequenza tendevano a provenire da posizioni sopraelevate, mentre suoni a bassa frequenza erano spesso localizzati più in basso. Inoltre, è stato esaminato come il nostro sistema uditivo elabora queste frequenze in termini di percezione spaziale, scoprendo che l'anatomia dell'orecchio umano è ottimizzata per sfruttare questa relazione naturale tra frequenza ed elevazione. La relazione tra altezza degli stimoli sonori ed elevazione spaziale risulta quindi essere una caratteristica statisticamente rilevabile nelle scene sonore naturali.

I risultati dello studio di Parise et al. (2014) forniscono un importante contributo riguardo all'indagine sull'origine dell'effetto SMARC. Le statistiche naturali del suono potrebbero aver influenzato lo sviluppo delle associazioni cognitive, portando il cervello umano a mappare le frequenze sonore su posizioni spaziali attraverso l'esposizione ripetuta a situazioni in cui suoni acuti provengono dall'alto e suoni gravi dal basso. L'ipotesi che l'effetto SMARC sia legato all'esposizione a stimoli ambientali trova supporto nello studio di Parise et al. (2014), il quale dimostra che esiste una correlazione naturale tra frequenza del suono e posizione spaziale. Il cervello umano potrebbe quindi aver sviluppato una tendenza a mappare automaticamente le frequenze su coordinate spaziali, in risposta all'esposizione ripetuta a scene sonore naturali. Questo spiegherebbe perché l'effetto SMARC sia un fenomeno universale e automatico, potenzialmente derivato da processi di apprendimento basati sull'esperienza con l'ambiente acustico.

3.5 L'effetto SMARC in soggetti non vedenti

Un aspetto fondamentale nello studio delle associazioni spaziali indotte da stimoli musicali riguarda l'origine e lo sviluppo di tali mappature cognitive. Alcune ricerche hanno suggerito che l'effetto SMARC potrebbe derivare da esperienze multisensoriali, in particolare dall'integrazione tra il sistema uditivo e quello visivo. Tuttavia, rimane da stabilire se l'associazione tra altezza del suono e spazio, tipica dell'effetto SMARC, sia strettamente legata all'esperienza visiva o se possa svilupparsi anche in assenza di essa. A tal proposito, lo studio condotto da Cattaneo et al. (2018) ha esplorato la manifestazione dell'effetto SMARC in individui ciechi dalla nascita. Analizzando le risposte di partecipanti non vedenti mediante un paradigma di compatibilità stimolo-risposta, questo studio ha permesso di determinare se la mappatura suono-spazio possa svilupparsi attraverso modalità sensoriali diverse dalla vista. L'obiettivo dello studio era verificare se lo sviluppo della mappatura tra altezza del suono e spazio verticale, tipica dell'effetto SMARC, dipenda da un'esperienza visiva normale. Gli autori hanno ipotizzato che, se tale mappatura richiedesse la vista, i partecipanti ciechi non mostrerebbero l'effetto SMARC. Al contrario, se l'associazione fosse legata ad altre esperienze sensoriali e motorie, anche i ciechi dalla nascita dovrebbero mostrare un effetto SMARC.

I partecipanti dovevano svolgere un compito di discriminazione del timbro, premendo uno di due tasti allineati verticalmente su una tastiera: un tasto in basso (la barra spaziatrice) e un tasto in alto (il numero 6). L'altezza del suono era irrilevante per lo svolgimento del compito

(*task-irrelevant*). Il disegno sperimentale prevedeva anche la presenza di un gruppo di controllo, composto da partecipanti normovedenti. I partecipanti di entrambi i gruppi, sia non vedenti che normovedenti, hanno risposto più velocemente quando i toni gravi erano associati al tasto in basso e i toni acuti al tasto in alto. Questa associazione era evidente in tutti i partecipanti, dimostrando che l'effetto SMARC si manifesta anche in assenza di esperienza visiva. I risultati dello studio dimostrano che la corrispondenza tra altezza del suono e spazio verticale, caratteristica dell'effetto SMARC, si sviluppa anche senza l'esperienza visiva. I partecipanti ciechi dalla nascita hanno mostrato un chiaro effetto SMARC, suggerendo che questa mappatura spaziale si basa su esperienze sensoriali e motorie diverse dalla vista, come le esperienze uditive e verbali. Un'ipotesi è che l'associazione spaziale legata all'altezza della nota, si legata all'utilizzo espressioni verbali che descrivono l'altezza del suono in termini spaziali (ad esempio, "alto" e "basso"), il che potrebbe aver contribuito alla formazione tale mappatura.

3.6 Conclusioni di capitolo

In questo terzo capitolo sono state discusse varia ipotesi relative alle cause possibili che provocano il fenomeno dell'effetto SMARC. In particolare, l'ipotesi linguistica si basa sull'idea che l'associazione spaziale alla base dell'effetto SMARC sia legata all'utilizzo di termini con una connotazione spaziale, usati in riferimento alla caratteristica dell'altezza degli stimoli sonori. L'ipotesi della localizzazione illusoria del suono, che prevede che l'effetto SMARC sia il risultato di un fenomeno illusorio che porta a percepire erroneamente i suoni acuti come provenienti da posizioni spaziali elevate è stata scartata in favore dell'ipotesi della codifica spaziale. Quest'ultima prevede che l'effetto SMARC sia il risultato di una associazione che riguarda la codifica spaziale relativa altezza della nota. È stato poi indagata l'ipotesi dell'esposizione ambientale che prevede che l'associazione spaziale rilevata mediante il paradigma di compatibilità stimolo-risposta sia dovuta alle statistiche naturali ambientali, per cui suoni acuti provengono più spesso da posizioni elevate, rispetto a stimoli gravi. Infine, è stato dimostrato che l'effetto SMARC è presente anche in soggetti ciechi dalla nascita, suggerendo che la mappatura suono-spazio possa svilupparsi attraverso modalità sensoriali diverse dalla vista.

Conclusioni generali

In questa tesi, è stato esaminato in dettaglio il fenomeno dell'effetto SMARC (Spatial-Musical Association of Response Codes) e le sue diverse manifestazioni, mediante una rassegna della letteratura. L'effetto SMARC descrive l'associazione automatica tra la frequenza dei suoni e lo spazio fisico, mediante cui suoni acuti risultano essere associati a risposte spaziali in alto (o a destra) e suoni gravi a risposte in basso (o a sinistra). Questo effetto è stato osservato sia lungo l'asse verticale che lungo quello orizzontale, con un'influenza più marcata sull'asse verticale. La presenza di questo fenomeno suggerisce l'esistenza di una rappresentazione mentale spaziale collegata alla percezione uditiva.

La ricerca ha dimostrato che l'effetto SMARC non si limita all'altezza del suono, ma si estende anche ad altre dimensioni sonore come l'intensità e il timbro. In particolare, l'associazione tra suoni forti e risposte spaziali superiori, o suoni deboli e risposte inferiori, evidenzia come l'intensità sonora possa anch'essa seguire un meccanismo di codifica spaziale. Anche il timbro, definito dal contenuto spettrale (i.e. distribuzione degli armonici) di un suono, che determina la "chiarezza" del suono, contribuisce a provocare l'effetto SMARC, in particolare quando è congruente con l'altezza del suono. Questo dimostra che le associazioni spaziali musicali non sono limitate a una sola dimensione percettiva, ma coinvolgono una varietà di parametri sonori.

Uno degli aspetti più interessanti emersi da questa rassegna bibliografica riguarda le ipotesi sull'origine dell'effetto SMARC. Diverse teorie sono state proposte, tra cui l'ipotesi linguistica, l'ipotesi della codifica spaziale e dell'esposizione a statistiche naturali ambientali. Dopo aver analizzato le prove a favore di ciascuna ipotesi, ritengo che sia improbabile che una singola spiegazione possa giustificare l'intero fenomeno. È più plausibile che diverse ipotesi concorrano insieme a spiegare l'effetto SMARC. Ad esempio, l'ipotesi dell'esposizione ambientale, che suggerisce che l'associazione suono-spazio si sviluppi attraverso la ripetuta esposizione a situazioni in cui suoni gravi provengono dal basso e suoni acuti dall'alto, potrebbe essere strettamente collegata all'ipotesi linguistica, in cui termini spaziali come "alto" e "basso" sono usati per descrivere le note. Le statistiche sonore presenti nell'ambiente potrebbero aver favorito l'adozione di termini linguistici come "alto" e "basso", che descrivono l'altezza dello stimolo sonoro utilizzando una connotazione spaziale. A sua volta, l'utilizzo di questi termini rafforza l'associazione spaziale legata all'altezza degli stimoli sonori. Allo stesso modo, il fenomeno scoperto da Pratt (1930) riguardante la localizzazione sonora illusoria, per cui suoni acuti sembrano provenire da

posizioni elevate e i suoni gravi da posizioni basse, potrebbe ulteriormente contribuire a rafforzare questa mappatura mentale tra altezza del suono e spazio.

Infine, vale la pena considerare le possibili applicazioni dell'effetto SMARC. Sebbene questo fenomeno provochi solo piccole variazioni nei tempi di risposta, dell'ordine dei millisecondi, potrebbe comunque avere implicazioni pratiche in contesti di ergonomia. Ad esempio, potrebbe essere sfruttato durante la fase di progettazione di interfacce uomo-macchina automobilistiche, al fine di migliorare la reattività del conducente ed aumentare la sicurezza della vettura. Ad esempio, un segnale acustico impiegato per indicare al conducente di rivolgere lo sguardo verso una parte bassa del cruscotto, dovrebbe utilizzare un suono grave, in modo da sfruttare l'associazione spaziale dell'effetto SMARC per diminuire il tempo di risposta in situazioni critiche. Se integrato con altre conoscenze relative all'ergonomia ed alla progettazione di interfacce uomo-macchina, l'effetto SMARC potrebbe portare a miglioramenti tangibili in termini di prestazioni e sicurezza.

L'effetto SMARC rappresenta quindi un fenomeno interessante e complesso, che coinvolge più dimensioni percettive e cognitive. Le sue radici sembrano affondare sia nell'esperienza sensoriale che nei meccanismi di rappresentazione mentale. Le future ricerche dovrebbero continuare a esplorare come queste diverse componenti interagiscano, in modo da poter migliorare l'attuale conoscenza dei meccanismi percettivi degli stimoli sonori, aprendo in futuro la strada a nuove applicazioni pratiche nell'ambito dell'ergonomia e della progettazione tecnologica.

Bibliografia

- Bruzzi, E., Talamini, F., Priftis, K., & Grassi, M. (2017). A SMARC effect for loudness. *i-Perception*, 8(6), Article 2041669517742175. <https://doi.org/10.1177/2041669517742175>
- Cattaneo, Z., Lega, C., Rinaldi, L., Fantino, M., Ferrari, C., Merabet, L. B., & Vecchi, T. (2018). The Spatial Musical Association of Response Codes does not depend on a normal visual experience: A study with early blind individuals. *Attention, perception & psychophysics*, 80(4), 813–821. <https://doi.org/10.3758/s13414-018-1495-x>
- Chang, S., & Cho, Y. S. (2015). Polarity correspondence effect between loudness and lateralized response set. *Frontiers in Psychology*, 06. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00683>
- Cho, Y. S., Bae, G. Y., & Proctor, R. W. (2012). Referential coding contributes to the horizontal SMARC effect. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 38(3), 726–734. <https://doi.org/10.1037/a0026157>
- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122(3), 371–396. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.122.3.371>
- Fernandez-Prieto, I., Spence, C., Pons, F., & Navarra, J. (2017). Does Language Influence the Vertical Representation of Auditory Pitch and Loudness? *i-Perception*, 8(3). <https://doi.org/10.1177/2041669517716183>
- Hartmann, M., & Mast, F. W. (2017). Loudness Counts: Interactions between Loudness, Number Magnitude, and Space. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 70(7), 1305–1322. <https://doi.org/10.1080/17470218.2016.1182194>
- Jiang, Q., Ariga, A. The sound-free SMARC effect: The spatial-musical association of response codes using only sound imagery. *Psychon Bull Rev* 27, 974–980 (2020). <https://doi.org/10.3758/s13423-020-01756-1>
- Lidji, P., Kolinsky, R., Lochy, A., & Morais, J. (2007). Spatial associations for musical stimuli: a piano in the head?. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 33(5), 1189–1207. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.33.5.1189>
- McAdams, S. (2013). Musical timbre perception. In D. Deutsch (Ed.), *The psychology of music* (3rd ed., pp. 35–67). Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381460-9.00002-X>
- Nishimura, A., & Yokosawa, K. (2009). Effects of laterality and pitch height of an auditory accessory stimulus on horizontal response selection: The Simon effect and the SMARC effect. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(4), 666–670. <https://doi.org/10.3758/PBR.16.4.666>
- Parise, C. V., Knorre, K., & Ernst, M. O. (2014). Natural auditory scene statistics shapes human spatial hearing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(16), 6104–6108. <https://doi.org/10.1073/pnas.1322705111>
- Pitteri, M., Marchetti, M., Grassi, M., & Priftis, K. (2020). Pitch height and brightness both contribute to elicit the SMARC effect: a replication study with expert musicians. *Psychological Research*. <https://doi.org/10.1007/s00426-020-01395-0>
- Pitteri, M., Marchetti, M., Priftis, K., & Grassi, M. (2015). Naturally together: pitch-height and brightness as coupled factors for eliciting the SMARC effect in non-musicians. *Psychological Research*, 81(1), 243–254. <https://doi.org/10.1007/s00426-015-0713-6>

*Pratt, C. C. (1930). The spatial character of high and low tones. *Journal of Experimental Psychology*, 13(3), 278–285. <https://doi.org/10.1037/h0072651>

*Proctor, R. W., & Reeve, T. G. (Eds.). (1990). *Stimulus-response compatibility: An integrated perspective*. North-Holland.

*Roffler, S. K., & Butler, R. A. (1968). Localization of tonal stimuli in the vertical plane. *Journal of the Acoustical Society of America*, 43(6), 1260–1266. <https://doi.org/10.1121/1.1910977>

Rusconi, E., Kwan, B., Giordano, B., Umiltà, C., & Butterworth, B. (2006). Spatial representation of pitch height: the SMARC effect. *Cognition*, 99(2), 113–129. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.01.004>

Tomita, S. (1955). An experimental study on the spatial character of high and low tones. *The Japanese Journal of Psychology*, 26(3), 172–177. <https://doi.org/10.4992/jjpsy.26.172>

* = opere non direttamente consultate