

SINESTESIA: TEORIE E CONFRONTO TRA DIVERSI MODELLI NEUROFISIOLOGICI PER UNO STUDIO SULLA DISLESSIA

SYNESTHESIA: THEORIES AND COMPARISON OF DIFFERENT NEUROPHYSIOLOGICAL MODELS FOR A STUDY ON DYSLEXIA

- Danila Mancuso¹

RIASSUNTO

La sinestesia è presente in circa il 4% della popolazione. È il risultato della percezione sensoriale di uno o più sensi diversi da quelli normalmente utilizzati e richiama sensazioni di natura diversa da quella normalmente percepita. Il *feedback* potrebbe essere un'esperienza piacevole o potrebbe creare un disturbo nella percezione e elaborazione delle informazioni. La sinestesia più comune è la grafema-colore per uno studio che vuole accertare se questa sinestesia possa essere "confusa" con una "difficoltà di apprendimento".

PAROLE CHIAVE

Sinestesia, difficoltà di apprendimento, multisensoriale, percezione sensoriale, dislessia, connettoma.

¹ Dottoranda alla *International Post graduate School*, Università di Granada (Spagna); Indirizzo: Dottorato in Scienze umanistiche, scienze sociali e giuridiche Corso di studio in Scienze dell'educazione (B22.56.1); Linea di ricerca: Diagnosi, Valutazione e Intervento Psicoeducativo. Docente specializzato di sostegno presso I.I.S. Majorana a Cascino di Piazza Armerina.

ABSTRACT

Synesthesia is present in approximately 4% of the populace. It is the result of sensory perception by one or more senses other than those normally used, evoking different sensations from those normally perceived. *Feedback* could indicate a pleasurable experience, or it could create a disturbance in information perception and processing. The most common form is grapheme-color synesthesia, which is the basis for a study whose purpose is to determine whether this type of synesthesia can be confused with a learning disability or apparent dyslexia.

KEYWORD

Synesthesia, learning disability, multisensory, sensory perception, dyslexia, connectome.

RESUMEN

La sinestesia está presente aproximadamente en el 4% de la población. Es el resultado de la percepción sensorial de uno o más sentidos de aquellos que normalmente se utilizan y reclama sensaciones de naturaleza diversa de aquella normalmente percibida. El *feedback* podría ser una experiencia agradable o podría crear un trastorno en la percepción y en la elaboración de las informaciones. La sinestesia más común es la grafema-color por un estudio que quiere demostrar si esta sinestesia pudiera ser "confundida" con una "dificultad aprendizaje o dislexia aparente".

PALABRAS CLAVE

Sinestesia, dificultad de aprendizaje, multisensorial, percepción sensorial, dislexia, conectoma.

1. Sinestesia e apprendimento

La sinestesia è un fenomeno che incuriosisce molti neuroscienziati e psicologi, e significa percepire insieme sensazioni diverse. L'intera attività percettiva è intesa come attività sinestetica. Secondo studi medici scientifici, questo fenomeno può verificarsi in diverse occasioni: uso di determinate sostanze o farmaci, un disturbo neurologico o anche in condizioni normali.

La maggior parte delle teorie sulla sinestesia parla di ricollegamento o connessioni extra nel cervello. La materia bianca, che collega tra loro

diverse regioni, nel cervello delle persone con sinestesia è organizzata in modo diverso ed è più materia grigia in alcune regioni del cervello in relazione alla percezione e all'attenzione.²

Un altro studio di *imaging* del cervello ha dimostrato che, quando alcuni sinestetici ascoltano le parole pronunciate, vengono utilizzate le parti del cervello normalmente dedicate al colore.³

Le informazioni pervenute dai vari organi di senso sono diverse da sinestetico a sinestetico. Ciò potrebbe dipendere da una maggiore comunicazione o velocità di comunicazione diverse tra le varie aree cerebrali e gli organi sensoriali rispetto a ciò che avviene ad un cervello normale.

Per lo studio della sinestesia un gran numero di domande rimane aperto come, ad esempio, le conseguenze cognitive della sinestesia.⁴

Si rende opportuno intraprendere uno studio che comprenda tutti i sensi come un unico apparato più complesso, ma associate ad uno studio delle diverse percezioni sensoriali singolarmente con combinazioni sempre diverse.

Si può supporre che attivazioni cerebrali simultanee tra diverse aree del cervello potrebbero spiegare le altre forme di sinestesia; ad esempio, la sinestesia *uditivo-gustativa* (associare l'ascolto di una parola a un gusto particolare) può dipendere dall'attivazione dell'insula (area implicata nel gusto) e delle regioni temporo-frontali associate alla comprensione e produzione delle parole.

Essendo la sinestesia correlata ai fenomeni di integrazione multisensoriale tra stimoli di diversa natura, l'interazione e la sovrapposizione spontanea e incontrollata di più sensi genera un'esperienza automatica e involontaria di una modalità che evoca sensazioni atipiche in una seconda modalità e può esprimersi in svariate forme.

1.1. Le forme più comuni della sinestesia

Risulta interessante conoscere come il cervello dei sinestetici sia organizzato anatomicamente in modo diverso, con una più alta interconnessione neurale rispetto ai non sinestetici.

Dalla semplice combinazione di sfere sensoriali diverse tra loro, dunque, risulterebbe un potenziamento delle capacità percettive e di quelle legate alla memoria e alla creatività. Un ulteriore interessante risultato è

² Cf ROUW Romke - SCHOLTE H. Steven, *Increased structural connectivity in Grapheme-Color Synesthesia*, in *Nature Neuroscience* 10(2007)6, 792-797.

³ Cf HÄNGGI Jürgen - WOTRUBA Diana - JÄNCK Lutz, *Globally Altered Structural Brain Network Topology in Grapheme-Color Synesthesia*, in *Journal of Neuroscience* 31(2011)15, 5816-5828.

⁴ Cf ROBERTSON Lynn C. - SAGIV Noam, *Synesthesia: Perspectives from Cognitive Neuroscience. Binding of Graphemes and Synesthetic colors in color-graphemic synesthesia*, Oxford, Oxford University Press 2004, 74-89.

che i processi percettivi e i processi cognitivi sono differenti nella sinestesia.

Lo scopo principale di alcuni studi è proprio quello di capire se l'alterazione di uno o di tutti e due i processi provochi la sinestesia. Tre sono le forme più comuni: la sinestesia grafema-colore (lettere o numeri), la sinestesia audio-visiva e la sinestesia *mirror-touch*.

Vedere suoni, avere la percezione della proiezione del tempo nello spazio, sentire una sensazione tattile, assaggiare certe parole o sentire il suono di un colore sono alcune delle condizioni della sinestetica. Alcuni sinestetici possono sentire suoni mentre contemporaneamente vedono colori o lettere o numeri, altri sentono sapori in bocca quando sentono certe parole. L'obiettivo principale è quello di indagare il fenomeno della sinestesia, trovare un'applicazione per sviluppare le capacità di acquisizione multisensoriale contemporanea per utilizzarle al meglio nella metodologia e nell'apprendimento.

Cosa succede se una persona con abilità mnemoniche e cognitive nella media, con un cervello molto più "interconnesso" rispetto alla norma, non riesca a decifrare o si sente disturbato e confuso dalla iper percezione sensoriale mista in fase di apprendimento?

Generalmente le persone sinestetiche hanno un cervello molto più "interconnesso" rispetto alla norma e risulterebbero capaci di correlare fra loro idee e concetti apparentemente distanti. Oltre ad avere anche un'ottima memoria, le persone con sinestesia sarebbero quindi anche più creative, ma se il fenomeno sensoriale-percettivo della persona è costituito dall'elaborazione di determinati stimoli che ricordano sensazioni di natura diversa da quella normalmente percepita e se questa elaborazione risultasse lenta e complessa, il feedback sarebbe una esperienza non piacevole.

Quando la percezione avviene attraverso uno stimolo, che eccita più di un canale sensoriale, al momento in cui si "percepiscono insieme" sapori, colori, suoni e odori, avviene la sinestesia.

Le percezioni sinestetiche si manifestano automaticamente come fenomeno percettivo e non cognitivo, cioè l'evocazione non consapevole di un suono, immagine, parola o numeri, può causare nella persona che le sperimenta, reazioni emotive spesso associate a sensazioni sgradevoli che inducono irascibilità, fastidio e necessità di movimento come nell'autismo.⁵ Ad avvalorare questa tesi uno studio di scansione dell'intero genoma e di collegamento di mappatura fine della sinestesia ha evidenziato una prevalenza potenzialmente elevata di sinestesia tra le persone con

⁵ Cf MILLER Lucy Jane - ANZALONE Marie E. - LANE Shelly J. - CERMAK Sharon - OSTEN Beth, *Concept evolution in sensory integration: A proposed nosology for diagnosis*, in *American Journal of Occupational Therapy* 61(2007)2, 135-140.

disturbi dello spettro autistico, nonché un sovraccarico sensoriale simile a quello riportato dai sinestetici infatti, la sinestesia è talvolta segnalata come sintomo nei disturbi dello spettro autistico.⁶

1.2. Sinestesia e Dislessia

La dislessia altera la capacità di associare le lettere dell'alfabeto a un determinato suono e dipende da fattori congeniti non modificabili. Nel DNA dei dislessici, sono stati riscontrati almeno una quindicina di geni, che possono contribuire alla causa del disturbo: questi geni sono localizzati soprattutto nei cromosomi 2, 6 e 15 i quali si occupano di stabilire le regole dell'organizzazione cerebrale.⁷

La sinestesia è un processo percettivo, non cognitivo, che consiste nell'interazione e sovrapposizione spontanea e incontrollata di più sensi. Anche nel DNA dei sinestetici, sono stati riscontrati dei geni che contribuiscono a questo fenomeno soprattutto nel cromosoma 2. L'alunno che apprende potrebbe essere sinestetico.⁸ In questo caso all'udito di una lettera dell'alfabeto o di un numero, percepisce in sovrapposizione al suono della voce una nota musicale che ne altera l'apprendimento.

Nella capacità di decodifica di un testo è essenziale riuscire a dare un senso alle parole del testo stesso, ma se il senso di un insieme di parole (anche una frase molto semplice) può risultare assai complesso in quanto in un alunno sinestetico la visione di una parola gli provoca una sensazione di dolore, difficilmente sarà propenso alla lettura della stessa.

Lo stesso può avvenire con la capacità di riconoscere alla vista parole composte da altre che provocano sensazioni sinestetiche; di conseguenza la capacità di una lettura fluente dipende molto dall'elaborazione di determinati stimoli che ricordano sensazioni di natura diversa da quella normalmente percepita.

La dislessia è con molta probabilità correlata a un'attività cerebrale insolita; da diversi studi scientifici sull'attività del cervello è emerso che l'emisfero sinistro, che è quello che comanda la capacità di scrittura e lettura, è meno attivo dell'emisfero destro, che è quello specializzato nell'elaborazione visiva e nella percezione delle immagini, nella loro organizzazione

⁶ Cf ASHER Julian E. - LAMB Janine A. - BROCKLEBANK Denise - CAZIER Jean-Baptiste - MAESTRINI Elena - ADDIS Laura - SEN Mallika - BARON-COHEN Simon - MONACO ANTHONY P., *A whole-genome scan and fine-mapping linkage study of auditory-visual synesthesia reveals evidence of linkage to chromosomes 2q24, 5q33, 6p12, and 12p12*, in *The American Journal of Human Genetics* 84(2009)2, 279-285.

⁷ Cf PENNINGTON Bruce F., *The genetics of dyslexia*, in *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 31(1990)2, 193-201.

⁸ Cf ASHER - LAMB - BROCKLEBANK - CAZIER - MAESTRINI - ADDIS - SEN - BARON-COHEN - MONACO, *A whole-genome scan and fine-mapping linkage study of auditory-visual synesthesia*.

spaziale e nell'interpretazione emotiva. A questo spetta la percezione globale e complessiva degli stimoli ed è più attivo.

Nell'alunno dislessico il lobo frontale è più attivo che nelle altre persone e questo per sopperire alla minor attività dell'emisfero sinistro del cervello. Il lobo frontale, infatti, ha la funzione fondamentale del controllo dei movimenti volontari, nella produzione del linguaggio parlato e scritto, nella gestione dell'attenzione, nella capacità di pianificazione, nella programmazione di comportamenti e nella capacità di classificare gli oggetti.

Il lobo temporale è l'area cerebrale che controlla la percezione e interpretazione dei suoni e l'elaborazione fonologica. Ha un ruolo chiave nella comprensione del linguaggio parlato e scritto, nei processi di percezione, nel riconoscimento e interpretazione dei suoni, nella memoria verbale, nel riconoscimento visivo degli oggetti, nell'interpretazione degli stimoli visivi, in certi tipi di reazioni emotive e nella memoria a lungo termine.

Il lobo temporale dell'alunno dislessico è meno attivo rispetto agli altri. In un alunno sinestetico è anche vero che ciò che potrebbe essere "identificato" con una diagnosi di dislessia, potrebbe essere individuato semplicemente come "sinestesia". La funzione principale del "Corpo Calloso" è di permettere lo scambio di informazioni motorie, sensitive e cognitive tra i vari lobi dei due emisferi cerebrali. All'alunno sinestetico la stimolazione di una percezione sensoriale induce perciò, automaticamente una percezione sensoriale diversa da un organo diverso anche senza una effettiva stimolazione di quest'ultimo; gli stimoli vengono percepiti non come distinti, ma come contaminati.

La maggior parte delle teorie della sinestesia parla di riconnessione o connessioni extra nel cervello. La sostanza bianca, che collega le diverse regioni cerebrali delle persone con sinestesia, è organizzata in modo diverso.⁹

Diversi importanti studi di *imaging* cerebrale sono quelli relativi al tipo di sinestesia del grafema-colore. Alcuni sinestetici hanno dimostrato di utilizzare parti del cervello che sono normalmente dedicate al colore quando si ascoltano o si guardano lettere, parole o numeri. Le informazioni ricevute dai vari organi di senso sono diverse da sinestetiche a sinestetiche. Ciò potrebbe essere dovuto a una maggiore comunicazione o a diverse velocità di comunicazione tra le varie aree cerebrali e gli organi sensoriali rispetto a ciò che accade a un cervello normale.

Sebbene lo studio della sinestesia abbia recentemente chiarito molte domande ad esso correlate, un gran numero di domande rimangono aperte come, ad esempio, le conseguenze cognitive della sinestesia. È consigliabile intraprendere uno studio che includa tutti i sensi come un unico, più complesso apparato, ma allo stesso tempo associato a uno studio delle diverse percezioni sensoriali in modo singolare, ma con combinazioni sempre diverse.

⁹ Cf ROUW - SCHOLTE, *Increased structural connectivity in Grapheme-Color Synesthesia*.

La maggior parte delle ricerche svolte fino ad oggi si è concentrata sulla sinestesia grafema-colore. È chiaro che molte altre forme di sinestesia devono ancora essere studiate. Diverse aree del cervello potrebbero attivarsi contemporaneamente e questo potrebbe spiegare le altre diverse forme di sinestesia. Associare l'ascolto di una parola a un gusto, ad esempio, sembrerebbe e potrebbe dipendere dall'attivazione dell'area coinvolta nel gusto e dall'attivazione simultanea delle regioni che elaborano la comprensione e la produzione delle parole.

Poiché la sinestesia è legata ai fenomeni di integrazione multisensoriale tra stimoli di diversa natura, l'interazione spontanea e incontrollata e la sovrapposizione di più sensi genera un'esperienza automatica e involontaria di una modalità che evoca sensazioni atipiche in una seconda modalità e può essere espressa in varie forme. È interessante sapere come il cervello dei sinestetici sia organizzato anatomicamente in modo diverso, con un'interconnessione neurale superiore rispetto ai non sinestetici.

La semplice combinazione di diverse sfere sensoriali, quindi, si tradurrebbe in un potenziamento delle capacità percettive e di quelle legate alla memoria e alla creatività.¹⁰

Un ulteriore risultato interessante è che i processi percettivi e i processi cognitivi sono diversi nella sinestesia. Lo scopo principale di alcuni studi è proprio quello di capire se l'alterazione di uno o entrambi i processi provoca sinestesia. I sinestetici costituirebbero una parte importante della popolazione per lo studio di queste connessioni se fossero diverse e anomale.

2. Strumenti e metodi di ricerca per lo studio neurocognitivo della sinestesia

Solo dopo l'avvento dei moderni metodi di *imaging* cerebrale e delle tecniche per studiare le basi neurofisiologiche dei fenomeni psicologici, un numero crescente di neuroscienziati ha sviluppato un interesse per lo studio della sinestesia.¹¹ Attraverso diversi metodi di sperimentazione, è stato scoperto che i sinestetici hanno differenze funzionali e anatomiche nelle aree del cervello che probabilmente generano sinestesia. Sono le aree note per il suo controllo. Oggi il cervello della sinestesia può essere esaminato con grande precisione grazie allo studio dell'elaborazione dei dati e dell'*imaging* cerebrale con:

- Tomografia a emissione di positroni (PET);

¹⁰ Cf MORGESSE Marina, *Che sapore avrà questo articolo? Un viaggio alla scoperta della Sinestesia*, in *State of Mind* (5 giugno 2015), in <https://www.stateofmind.it/2015/06/fenomeno-sinestesia> (22-01-2022).

¹¹ Cf ELIAS Lorin J. - SAUCIER Deborah M. - HARDIE Colleen - SARTY Gordon E., *Dissociazione delle componenti semantiche e percettive della sinestesia: indagini neuroanatomiche comportamentali e funzionali*, in *Ricerca cognitiva sul cervello* 16(2003)2, 232-237.

- Elettro Encefalogramma (EEG);
- Magneto EncefaloGrafia (MEG);
- Risonanza Funzionale Magnetica (fMRI);
- *Diffusion Tensor Imaging* (DTI).

Il primo grande studio di *brain imaging* è stato quello di Paulesu e collaboratori, che hanno testato sei sinestetiche grafema-colore, sia durante l'ascolto delle parole (che quindi suscitavano la visione dei colori), sia durante l'ascolto dei toni (che invece non suscitavano colori), attraverso la tomografia a emissione di positroni (PET).¹² È stato quindi possibile controllare l'attività cerebrale misurando le risposte emodinamiche nell'estetica durante la percezione sinestetica. EEG e MEG sono stati utilizzati per seguire la linea temporale dell'attivazione del processo neurologico durante le percezioni sinestetiche. L'EEG e il MEG permettono di misurare i tempi di attivazione corticale nell'intervallo dei millisecondi.¹³

La maggior parte di questi studi ha rivelato che i sinestetici abbastanza presto mostrano diverse reazioni neurofisiologiche nell'elaborazione attraverso uno stimolo induttivo.¹⁴ Gli studi hanno avuto un punto di svolta con l'uso della risonanza magnetica funzionale (fMRI) in cui si possono osservare risposte emodinamiche in sinestesia.¹⁵

La risonanza magnetica funzionale ha avuto alcuni vantaggi rispetto alla PET. Tra i due test strumentali c'è quello non invasivo. Infatti, per la PET è necessario utilizzare traccianti radioattivi che iniettati sono dannosi per la salute del paziente, mentre il segnale fMRI dipende dalle naturali proprietà magnetiche delle molecole di emoglobina nel sangue.¹⁶ Il *Diffusion Tensor Imaging* (DTI) è un tipo di risonanza magnetica (fMRI) che misura la diffusione delle molecole d'acqua. Nel cervello, l'acqua tende a diffondersi più facilmente lungo gli assoni che sono avvolti dalla mielina che isola le fibre nervose. È una tecnica che permette la visualizzazione e la caratterizzazione di fasci di sostanza bianca in due e tre dimensioni.¹⁷ È

¹² Cf BARNETT Kylie J. - FINUCANE Ciara - ASHER Julien E. - BARGARY Gary - CORVIN Aiden P - NEWELL Fiona N. - MITCHELL Kevin J., *Familial patterns and the origins of individual differences*, in *Synaesthesia Cognition* 106(2008)2, 871-893.

¹³ Cf PAULESU Eraldo - HARRISON John - BARON-COHN Simon - WATSON John Douglas Glenton - GOLDSTEIN Laura H. - HEATHER J. - FRACKOWIAK Richard S. - FRITH Chris D., *The Physiology of Colored Hearing in A Pet Activation Study of Color-Word Synesthesia*, in *Brain. Una rivista di neurologia* 118(1995)3, 661-676.

¹⁴ Cf BEELI Gian - ESSLEN Michaela - JÄNCKE Lutz, *Time course of neural activity correlated with colour-hearing synesthesia*, in *Cerebral Cortex* 18(2008)2, 379-385.

¹⁵ Cf BRANG David - HUBBARD Edward M. - COULSON Seana - HUANG M. - RAMACHANDRAN Vilayanur S., *La magnetoencefalografia rivela l'attivazione precoce di V4 nella sinestesia grafema-colore*, in *Neuroimage* 53(2010)1, 268-274.

¹⁶ Cf GOLLER AVIVA I. - OTTEN Leun J. - WARD Jamie, *Seeing Sounds and Hearing Colors: An Event-related Potential Study of Auditory-Visual Synesthesia*, in *Journal of Cognitive Neuroscience* 21(2009)10, 1869-1881.

¹⁷ Cf GORE John C., *Principles and practice of functional magnetic resonance of the human brain*, in *The Journal of Clinical Investigation* 112(2003)1, 4-9.

stato usato per studiare l'architettura del cervello. La visualizzazione 3D dei percorsi neuronali è resa possibile grazie allo sviluppo dell'elaborazione delle immagini, dell'analisi e dell'interpretazione dei dati acquisiti. Diventa così uno strumento efficace per la mappatura completa, non invasiva e funzionale dell'anatomia del cervello umano.¹⁸

In generale, questi studi dimostrano che la percezione sinestetica è associata alla possibile connettività della rete di flussi sanguigni nelle aree cerebrali che normalmente elaborano gli stimoli della loro area. Sulla base di questi esperimenti, ci sono numerose teorie che tentano di spiegare la sinestesia. Le basi neurofisiologiche della sinestesia possono ora essere descritte e discusse secondo alcuni modelli neurofisiologici fondamentalmente diversi.

2.1. Il modello di attivazione incrociata

Il modello di attivazione incrociata di Hubbard e Ramachandran,¹⁹ è stato proposto sulla base di studi fMRI nel grafema-sinestetico del colore di Hubbard.²⁰

Durante i primi anni di sviluppo cerebrale avviene un processo definito potatura o sfoltoimento in cui alcuni collegamenti formati nella fase prenatale vengono eliminati. Le connessioni non più funzionali si sfaldano in modo da affinare la connettività neurale. Se una mutazione genetica portasse ad un fallimento nel processo definito potatura o sfoltoimento, le connessioni tra l'area che elabora la forma dei grafemi, e l'area specifica per i colori potrebbero mantenersi integre fino all'età adulta, quindi provocare una sinestesia producendo una percezione di un colore durante la vista di numeri o lettere.

L'importanza della presenza delle interconnessioni tra diverse aree evidenzia il concetto di attivazione incrociata, quindi, può estendersi anche alle altre forme di sinestesia, senza tener conto se le aree siano adiacenti o meno.

Secondo questo modello, le aree cerebrali in cui vengono elaborati grafemi e colori sono particolarmente collegate. Gli stimoli che entrano in un sistema sensoriale generano attività in un altro sistema sensoriale, e l'attività in quest'ultimo sistema evocerà sensazioni sinestetiche nonostante l'assenza degli stimoli appropriati per quella modalità.²¹

¹⁸ Cf MORI Susumu - TOURNIER Jacques Donald - LEEMANS Alexander, *Diffusion Tensor Imaging (DTI) e oltre*, in *Risonanza magnetica in medicina* 65(2011)6, 1532-1556.

¹⁹ Cf HUBBARD Edward M. - RAMACHANDRAN Vilayanur S., *Neurocognitive Mechanisms of Synesthesia*, in *Science Direct* 48(2005)3, 509-520.

²⁰ Cf HUBBARD Edward M., *Neurofisiologia della sinestesia*, in *Curr Psychiatry Rep* 9(2007)3, 193-199.

²¹ Cf *l. cit.*

2.2. Il modello di disinibizione delle connessioni di retroazione (*feedback*)

Il modello di disinibizione delle connessioni di retroazione (*feedback*) diverge da quello dell'attivazione incrociata. Secondo questo modello, la sinestesia non è innescata dalla vicinanza delle aree cerebrali, ma dalla rete di connessioni neuronali. Grossenbacher e Lovelace, con il loro modello di disinibizione delle connessioni di *feedback*, affermano che nel cervello gli stimoli sensoriali vengono elaborati all'interno di diversi percorsi neurali verso le aree cerebrali che, ricevendoli, li integrano.

Ciò che cambia nel cervello dei sinestetici è che, quando viene processato lo stimolo induttore, il segnale raggiunge come previsto le aree di convergenza, dette aree multimodali, ma da lì, tramite connessioni a *feedback*, si propaga all'indietro lungo un altro percorso neurale, quello dello stimolo concorrente, dando origine all'esperienza sinestetica.²²

Nella maggior parte delle persone questo non succede in quanto i segnali attraverso queste connessioni sono inibiti, in modo da evitare l'induzione sinestetica.

Nel cervello dei soggetti con sinestesia il processo cambia tra lo stimolo induttore e il punto di arrivo del segnale che, attraverso connessioni di *feedback*, si propaga all'indietro lungo un altro percorso neurale, quello dello stimolo concorrente, dando origine all'esperienza sinestetica.

La sinestesia si verifica a causa di una scarsa inibizione tra i circuiti corticali coinvolti producendo un *feedback* anomalo nell'area di elaborazione del colore (giro temporale inferiore) e la regione immediatamente anteriore che è quella della percezione della forma delle parole. Nella maggior parte delle persone questo non accade in quanto i segnali attraverso queste connessioni sono inibiti, evitando così l'induzione sinestetica.

2.3. Il modello dell'elaborazione rientrante

Il *modello dell'elaborazione rientrante* è una miscela tra i due modelli precedenti, proposto nel 2001 da Smilek, e nel 2003 da Myles, che divide l'iper-connettività tra l'area fusiforme e l'elaborazione del colore e della forma. Secondo quest'ultimo modello, la percezione non si verifica tutta in una volta, ma matura dopo interazioni successive e cicliche. Le aree ai livelli inferiori comunicano con le aree superiori utilizzando connessioni *feedforward* che è una comunicazione sulle azioni future per ottenere risultati. Le aree ai livelli superiori comunicano con le aree inferiori attraverso connessioni di *feedback* che è una comunicazione del risultato ottenuto che influenzerà il passo successivo da compiere, con segnali in uscita e in ritorno continuamente. Data l'elevata variabilità delle esperien-

²² Cf GROSSENBACHER P. G. - LOVELACE Christopher T., *Mechanisms of synesthesia: cognitive and physiological constraints*, in *Trends in Cognitive Sciences* 5(2001)1, 36-41.

ze sinestetiche, i tre modelli non si escludono a vicenda.²³

Le diverse forme di sinestesia possono essere validate da diversi modelli. Infatti, le diverse teorie si riferiscono a diversi tipi di sinestesia. Il modello di attivazione incrociata e il modello di elaborazione rientrante sono stati sviluppati sulla base di studi di sinestesia grafema-colore, mentre il modello di disinibizione a *feedback* si basa sulla sinestesia parola-colore e tono-colore.

È probabile, visto che grafemi, fonemi, musica e colori, vengono processati da differenti regioni del cervello, che anche le forme di sinestesia abbiano diversi substrati neurali.

Il fatto che i sinestetici all'interno della stessa famiglia possano ereditare forme diverse di sinestesia fa presupporre che esista un meccanismo neurofisiologico comune alle differenti tipologie.

La conoscenza del substrato neurale della sinestesia può chiarirci numerose questioni legate all'integrazione multisensoriale. Se la sinestesia comporta connessioni neurali anormali, allora i sinestetici costituiscono un'importante popolazione da studiare, con riferimento alle cause (e agli effetti) di queste connessioni diverse. Se la sinestesia comporta solo normali connessioni neurali, allora la scoperta del meccanismo alla base della sinestesia può migliorare la nostra conoscenza riguardo la multisensorialità nella percezione normale, non sinestetica. L'"integrazione multisensoriale" consiste nell'interazione e nei i processi neurali tra i sensi e nella fusione del loro contenuto informativo. È necessario quindi analizzare più a fondo il tema dell'integrazione multisensoriale e come esso si relaziona con la sinestesia.

2.4. *Connectome mapping*

Con il progetto di ricerca *connectome mapping*, Sebastian Seung pubblica *La nuova geografia della mente*.

Il "connettoma" è un nuovo modello di mappa del cervello, in cui il cervello è rappresentato come una rete di neuroni. Lo studio si concentra sulla rappresentazione di tutti i circuiti neurali, evidenziando i percorsi e la ramificazione della rete di connessioni tra i neuroni.²⁴ Da questo è possibile osservare e comprendere i percorsi dell'attività neurale. I neuroni comunicano tra loro attraverso impulsi elettrici. Le combinazioni di neuroni attivi e inattivi cambiano continuamente risultando in una codifica e relativa connettività delle diverse percezioni.

²³ Cf SMILEK Daniel - DIXON Mike J. - CUDAHY Cera - MERIKLE Philip M., *Synesthetic photisms affect visual perception*, in *Journal of Cognitive Neuroscience* 13(2001)7, 930-936.

²⁴ Cf SEBASTIAN Seung, *Connettoma. La nuova geografia della mente*, in *Le scienze.it* (01 agosto 2013), in https://www.lescienze.it/edicola/2013/08/01/news/connettoma_la_nuova_geografia_della_mente_1761453 (22-01-2022).

Geneticamente, durante lo sviluppo, si forma una rete neuronale che è la caratteristica unica del modo in cui la mente è influenzata. Ci sono più connessioni alla nascita che in un cervello adulto. Nei primi mesi di vita, viene attivato un processo di assottigliamento delle connessioni cerebrali. Durante la crescita, le esperienze modificano la connettività neurale e secondo gli studiosi questo è il meccanismo principale che ci permette di imparare dall'esperienza.²⁵

Il "connettoma" prende forma dall'incontro tra la struttura biologica e l'esperienza. L'ipotesi di Ramachandran è che nelle persone sinestetiche quel processo di assottigliamento delle connessioni cerebrali non è attivato. L'ipotesi di Sebastian Seung è che i neuroni sono sani, ma sono collegati insieme in modo anormale. Romke Rouw e Steven Scholte dell'Università di Amsterdam hanno usato la tecnica (DTI) per confrontare la connettività cerebrale nei grafemi di colore nei soggetti sinestetici e non sinestetici durante la visualizzazione di lettere e numeri che evocavano sensazioni di colore. Attraverso la tecnica DTI, hanno dimostrato che ci sono più connessioni tra le due aree adiacenti nel giro fusiforme che in quelle non sinestetiche.²⁶

Conclusione

La sinestesia ha una componente genetica. L'esperienza sinestetica è composta da due elementi: un evento inducente, cioè l'evento che stimola un organo sensoriale e un evento concorrente, cioè la sensazione che viene contemporaneamente ricordata senza stimolazione efficace, generando un'esperienza di sovrapposizione sensoriale involontaria e automatica proveniente dallo stimolo e non dall'immaginazione. Si riproducono identicamente nel tempo e sono unidirezionali in quanto si verificano tra l'associazione di una percezione sensoriale con un'altra modalità sensoriale e si manifestano come fenomeno percettivo e non cognitivo.

Il mio articolo di revisione mira a identificare una forma di sinestesia che possa "fondersi o sovrapporsi" con la "dislessia". La capacità di decodificare un testo è fondamentale per dare significato alle parole del testo stesso. È il pieno significato di tutte le parole in una frase molto semplice che può essere complessa. In una persona sinestetica, la visione di una parola potrebbe anche causare una sensazione di dolore, quindi, difficilmente sarà incline a leggerla. Ciò si traduce in una difficoltà nella capacità di leggere fluentemente.

L'emisfero sinistro è quello che controlla le capacità di scrittura e lettura, l'emisfero destro è quello specializzato nell'elaborazione visiva, nella

²⁵ Cf ID., *Connettoma. La nuova geografia della mente*, Torino, Codice Edizioni 2013.

²⁶ Cf ROUW - SCHOLTE, *Increased structural connectivity in Grapheme-Color Synesthesia*.

percezione delle immagini, nella loro organizzazione spaziale e quindi nella percezione globale e complessiva degli stimoli. Nella persona dislessica l'emisfero sinistro è meno attivo ed è emerso che per compensare la minore attività dell'emisfero sinistro c'è una maggiore attività nel lobo frontale rispetto agli altri. Il lobo frontale, infatti, ha la funzione fondamentale del controllo dei movimenti volontari, nella produzione della lingua parlata e scritta, nella gestione dell'attenzione, nella capacità di pianificare, nella programmazione dei comportamenti e nella capacità di classificazione. La dislessia è molto probabilmente correlata all'attività cerebrale insolita e alla sinestesia.