



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

**Corso di laurea in Scienze Psicologiche Cognitive
e Psicobiologiche**

Elaborato finale

**Studio degli effetti del
condizionamento aversivo sulla
discriminazione dell'orientazione di
stimoli visivi**

**Effects of aversive conditioning on discrimination
of the orientation of visual stimuli**

Relatore

Prof. Gianluca Campana

Correlatore:

Dott. Marco Roccatò

Laureando:

Davide Bortolotti

Matricola: 1191754

Anno Accademico 2021-2022

Indice

1. Introduzione	3
1.1 La corteccia visiva primaria (V1)	5
1.1.1 L'elaborazione dell'orientazione di stimoli visivi in V1	6
1.2 Il condizionamento classico	8
1.2.1 Il condizionamento aversivo e le basi neurali	9
1.2.2 Il condizionamento aversivo e l'alterazione della percezione sensoriale	12
2. Metodo	15
2.1 Partecipanti	15
2.2 Apparato sperimentale	15
2.3 Stimoli	16
2.4 Procedura	18
3. Risultati	21
4. Discussione	27
Bibliografia	29

1 Introduzione

La realtà fisica che ci circonda è percettibile grazie ai sistemi sensoriali, che si sono evoluti per rispondere al meglio ai continui stimoli con cui si interagisce nell'arco dell'esistenza. Ad oggi sappiamo che, quando si percepisce uno stimolo, i sistemi sensoriali, a livello corticale del cervello, vengono anche modulati dall'esperienza (McTeague, Forest Gruss & Keil, 2015) e, di conseguenza, dall'attenzione e gli stati emotivi al momento della percezione (Li, Yan, Guo & Li, 2019). Questa modulazione, dovuta a integrazioni di informazioni a livello corticale, sembrerebbe utile per la sopravvivenza, in quanto semplificherebbe il processo di risposta a stimoli simili; ciò è sicuramente più rilevante quando si tratta di rispondere a stimoli che evocano emozioni spiacevoli, come la paura, e quindi a potenziali minacce. Numerosi studi hanno dimostrato che l'attivazione emotiva (*arousal*), in generale, gioca un ruolo importante nella modulazione di molti processi cerebrali e che il condizionamento aversivo, in particolare, può modulare anche la percezione sensoriale; nonostante ciò, non è ancora del tutto chiaro come avvenga tale modulazione sulle soglie percettive di discriminazione del sistema visivo, considerato il sistema sensoriale prominente nell'essere umano (Shalev, Paz & Avidan 2018).

Questo elaborato ha l'obiettivo di spiegare le modalità con cui è stato condotto uno studio pilota inerente agli effetti del condizionamento aversivo sulla discriminazione dell'orientazione di stimoli visivi, consistente in una parziale replica dello studio di Shalev et al. (2018), e di riportarne i risultati ottenuti. L'ipotesi iniziale, che abbiamo voluto verificare, è che il condizionamento aversivo, suscitante dunque paura o, comunque, un'emozione di valenza negativa, riduca la capacità discriminativa dell'orientazione di stimoli visivi. Lo studio completo di Shalev et al. (2018) indaga, inoltre, gli effetti del condizionamento aversivo sul sistema uditivo e i processi subcorticali implicati durante la modulazione sensoriale dovuta al condizionamento, ma anche, come tale processo di modulazione possa aiutare a capire i disturbi d'ansia, spesso caratterizzati da un'eccessiva generalizzazione della risposta di paura a stimoli considerati erroneamente come minacce (Struyf, Zaman, Hermans & Vervliet, 2017), per promuovere ulteriori ricerche che possano trovare terapie mirate sempre più efficaci.

Prima di procedere con la descrizione dell'esperimento svolto, in questo capitolo introduttivo, prenderò in esame la struttura della corteccia visiva primaria e i processi di elaborazione dell'orientazione di stimoli visivi che si attuano all'interno di essa; in seguito, tratterò del condizionamento, in particolare del condizionamento aversivo e delle sue basi neurali, e degli effetti di alterazione della percezione che esso induce.

1.1 La corteccia visiva primaria (V1)

La corteccia visiva primaria (V1), o corteccia striata, corrispondente all'area 17 di Brodmann, è situata all'estremità posteriore del lobo occipitale del cervello e ha una maggiore estensione nella zona mediale, ovvero la parte più interna che si trova tra i due emisferi cerebrali, andando a circondare il solco chiamato scissura calcarina.

La via seguita dalle informazioni visive, definita radiazione ottica, inizia dalla retina e arriva a V1 passando dal nucleo genicolato laterale (NGL) del talamo, che riceve le afferenze neurali dal tratto ottico, fascio neurale direttamente collegato al nervo ottico tramite il chiasma ottico. L'organizzazione generale della radiazione ottica viene definita organizzazione retinotopica e prevede che cellule vicine nella retina inviino informazioni a neuroni vicini sia nel NGL che in V1. Tale organizzazione rende possibile una migliore elaborazione delle informazioni provenienti dalle cellule gangliari della fovea (regione di massima acuità visiva in quanto presenta più recettori rispetto ad altre zone della retina) in quanto avranno una maggiore rappresentazione nel NGL e in V1.

La corteccia visiva primaria, spesso circa 2mm, può essere suddivisa in almeno nove strati (undici secondo uno studio di Tootell et al. del 1998), anche se convenzionalmente gli strati vengono ridotti a sei per mantenere l'organizzazione corticale laminare definita da Brodmann; questa stratificazione viene fatta in base alla suddivisione anatomica e funzionale dei neuroni di V1 e viene numerata, dalla pia madre (la membrana meningeo-contingente al cervello) alla sostanza bianca, in strato I, II, III, IVA, IVB, IVC α , IVC β , V e VI. Il primo strato presenta solamente dei prolungamenti assonici o dendritici dei neuroni presenti negli strati sottostanti. Gli strati IVC α e IVC β sono i principali ricevitori delle informazioni provenienti dal NGL, che mantengono la segregazione delle informazioni provenienti dai due occhi, e, il primo, invia efferenze neurali principalmente allo strato IVB mentre il secondo principalmente allo strato III. Le informazioni in uscita da V1, invece, seguono tre vie: dagli strati IVB, III e II alle altre aree visive corticali, dallo strato V al collicolo superiore (nel tetto mesencefalico) e al ponte e infine lo strato VI proietta fasci assonali di ritorno al NGL.

Lo strato IV presenta delle colonne di dominanza oculare che si estendono per tutta la superficie dello strato e sono disposte in modo alternato; negli altri strati, invece, sono presenti dei pilastri cellulari, chiamati *blob*, disposti in file ordinate, perpendicolari alle

colonne di dominanza oculare; questi, insieme alle regioni *interblob*, ricevono input neurali sia dallo strato IVC che, direttamente, dal NGL (Bear, Connors & Paradiso. 2016. *Neuroscienze, Esplorando il cervello*. quarta edizione; Hubel & Wiesel 1972).

1.1.1 L'elaborazione dell'orientazione di stimoli visivi in V1

La maggior parte delle evidenze empiriche conosciute sull'architettura strutturale e funzionale della corteccia visiva primaria deriva dai numerosi studi svolti da David Hubel e Torsten Wiesel, vincitori del premio Nobel per la medicina nel 1981. In particolare, è stata ampiamente descritta la modalità con cui viene codificata l'informazione visiva, relativa anche all'orientazione degli stimoli, in studi condotti su macachi, che, appartenendo all'ordine dei primati, sono molto più simili all'uomo rispetto ad altri animali.

La corteccia striata presenta due tipi di organizzazioni strutturali e funzionali; l'organizzazione orizzontale, già discussa in precedenza, riguarda la stratificazione cellulare, e l'organizzazione verticale, che prevede l'aggregazione di cellule, in strutture colonnari perpendicolari agli strati corticali, in base all'orientazione dei campi recettivi, in un caso, e alla dominanza oculare, nell'altro. Le colonne per l'orientazione dei campi recettivi sono presenti in tutti gli strati eccetto il IVC e sono ordinate parallelamente lungo tutta la superficie di V1; in una singola colonna le orientazioni di campi recettivi consecutivi variano, in senso orario e antiorario, indicativamente entro un *range* tra i 6° e i 20° di angolazione e, in generale, tutte le orientazioni sono rappresentate circa quattro volte. Le colonne di dominanza oculare, in parte già discusse precedentemente, sembrano essere più larghe di quelle per l'orientazione e spesso ne includono diverse, essendo i due sistemi totalmente indipendenti.

Per quanto riguarda le singole cellule, sono state classificate in cellule semplici, cellule complesse e cellule iper-complesse; le prime, presenti quasi esclusivamente nel quarto strato, hanno, generalmente, campi recettivi con un centro ON (che prevede un'attivazione della risposta se uno stimolo cade al suo interno) lungo e stretto e periferie OFF (zone di inibizione della risposta) più estese oppure con regioni ON e OFF contigue, e sono per lo più monoculari. Le cellule complesse sembrano essere le più presenti e si trovano, come anche le cellule iper-complesse, in tutti gli strati ad eccezione del quarto.

I campi recettivi non presentano nette distinzioni tra regioni di attivazione e di inibizione a differenza di quelli delle cellule iper-complesse che hanno regioni di attivazione rettangolari e regioni di inibizione sopra e sotto ad esse. Per quanto riguarda l'orientazione degli stimoli, le cellule complesse sono in grado di elicitarne una risposta anche se lo stimolo non è perfettamente al centro del campo recettivo o si muove all'interno di esso, mentre le cellule semplici rispondono solamente se lo stimolo è centrato alla regione di attivazione del campo recettivo; le cellule iper-complesse, invece, rispondono maggiormente a stimoli diversamente orientati di lunghezza non superiore a quella del loro campo recettivo. In generale ogni singola cellula è in grado di elicitarne una risposta maggiore ad una sola specifica orientazione e la risposta si affievolisce a mano a mano che lo stimolo si discosta dall'orientazione ottimale (Hubel & Wiesel 1968; Hubel & Wiesel 1972; Hubel 1982).

Studi più recenti propongono nuovi metodi per la comprensione della selettività dell'orientazione, ma che possono essere riadattati per altre caratteristiche basilari dell'informazione visiva, basati sull'utilizzo della risonanza magnetica funzionale (fMRI); in particolare è stato proposto un approccio basato sulla risposta di post-adattamento a esposizioni prolungate ad una certa orientazione di uno stimolo, dato che la registrazione di singole colonne di cellule nell'uomo, che rispondono a determinate orientazioni, risulta più complicato (Tootell et al. 1998), in quanto l'utilizzo di microelettrodi, essendo una tecnica invasiva, è più indicato per la ricerca sugli animali (come negli studi di Hubel e Wiesel sui macachi) e l'fMRI, pur con tutti i vantaggi che offre, ha dei limiti tecnici di risoluzione che non permettono una chiara visione di tali colonne. Inoltre, molte ricerche sono state svolte per tentare di risolvere l'acceso dibattito inerente alla questione della scala sulla quale avverrebbe la codifica dell'orientazione; inizialmente si riteneva che ciò avvenisse su una scala minore, a livello della struttura colonnare, ma altri studi hanno avanzato teorie in favore di una scala maggiore legata all'organizzazione retinotopica corticale (Maloney 2015). I risultati dello studio di Swisher et al. del 2010 sembrano suggerire che le irregolarità su larga scala forniscano una piccola quantità di informazioni relative all'orientazione ma la questione rimane ancora aperta e metodi sempre più sofisticati vengono utilizzati per cercare di trovare risposte più accurate.

1.2 Il condizionamento classico

In un'ottica comportamentale, il condizionamento classico è una forma di apprendimento associativo che non prevede una diretta manipolazione degli stimoli ambientali e che avviene, per lo più, senza una piena consapevolezza da parte del soggetto; esso non comporta l'apprendimento di nuove risposte a nuovi stimoli ambientali, bensì, comporta che una risposta già appresa o innata, elicitata per uno stimolo, generalmente saliente dal punto di vista biologico (come il cibo), venga riprodotta anche per un nuovo stimolo.

L'annuncio della scoperta di questa forma di apprendimento è avvenuto nel 1903 in seguito a degli esperimenti condotti dal medico, fisiologo ed etologo russo Ivan Pavlov su dei cani. Le conclusioni tratte dagli studi di Pavlov sono le seguenti: se ad uno stimolo incondizionato (SI), che genera una risposta incondizionata (RI), si associa, in modo contiguo nel tempo, uno stimolo neutro (SN), dopo numerose associazioni tra SN e SI si potrà riscontrare la stessa risposta, a questo punto condizionata (RC), anche solo in seguito alla presentazione di SN, che, ora, può essere definito stimolo condizionato (SC); affinché avvenga il condizionamento è importante che lo stimolo neutro venga presentato prima dello stimolo incondizionato.

In seguito al condizionamento si può riscontrare un fenomeno di estinzione della risposta qualora venga presentato ripetutamente lo stimolo condizionato in assenza dello stimolo incondizionato; dopo un certo periodo di tempo in cui non viene presentato alcuno stimolo, alla presentazione del solo SC si riscontra, però, un recupero spontaneo della RC, che sarà più debole della RC iniziale e tenderà ad estinguersi più velocemente. Questo dimostra che, con l'estinzione, non viene rimosso l'apprendimento dell'associazione SC-SI, ma che si inizia ad apprendere una nuova associazione tra SC e assenza di SI. Il condizionamento classico manifesta, inoltre, processi di generalizzazione e discriminazione degli stimoli. Il primo prevede che una stessa risposta RC possa essere generalizzata a stimoli neutri simili allo stimolo condizionato che la genera; più gli SN sono simili a SC più la RC sarà simile a quella iniziale. Al contrario, la discriminazione prevede che, grazie ad un processo di rinforzo differenziale, vengano generate RC solo in presenza di SC e non di altri SN, anche potenzialmente simili a SC, che non vengono condizionati con la presentazione contingente a SI. Infine, il condizionamento può essere definito eccitatorio, se SC produce un aumento della frequenza o dell'ampiezza di RC, o inibitorio, se, al contrario, SC determina una diminuzione della frequenza o dell'ampiezza

di RC. È possibile, inoltre, che si verifichi un condizionamento di secondo livello se uno stimolo condizionato viene preceduto dalla presentazione di un nuovo stimolo neutro; verrà dunque appresa l'associazione tra nuovo SN e SC (che diventa il nuovo SI) che porterà alla generazione della stessa RC anche in seguito alla sola presentazione di SN, diventato il nuovo SC.

Studi successivi di Robert Rescorla hanno dimostrato che la contiguità temporale tra SC e SI non è sufficiente per spiegare la generazione di una risposta condizionata; il fattore cruciale è quello della contingenza tra SC e SI, ovvero, ha maggior importanza il grado in cui SC è predittivo di SI (Rescorla, 1968). La relazione predittiva tra SC e SI è risultata essere anche più importante della frequenza delle associazioni SC-SI; da un punto di vista più cognitivo, queste conclusioni suggeriscono che l'apprendimento riguardi maggiormente l'aspettativa di SI dopo la presentazione di SC.

(Nolen-Hoeksema, Fredrickson, Loftus & Lutz (2017). *Atkinson & Hilgard's Introduzione alla psicologia*. 16^a edizione)

1.2.1 Il condizionamento aversivo e le basi neurali

Il condizionamento classico è definito aversivo quando gli stimoli incondizionati presentano caratteristiche con valenza negativa; ne sono un esempio delle piccole scosse elettriche, suoni con tonalità e frequenze intense e immagini o filmati di incidenti, operazioni chirurgiche o gravi compromissioni dell'integrità fisica. Questi stimoli, generalmente, evocano risposte psicofisiologiche avverse quali paura, disgusto, dolore e rabbia. Al contrario, si definisce condizionamento appetitivo quando le caratteristiche degli stimoli e delle risposte ad essi hanno valenza positiva. Uno dei primi studi riguardante il condizionamento aversivo è quello effettuato da John B. Watson e Rosalie Rayner nel 1920 e divenuto famoso come "l'esperimento del piccolo Albert"; al giorno d'oggi, tale studio non si potrebbe condurre per questioni etiche in quanto venne utilizzata come "cavia umana" un bambino con meno di un anno di vita, a cui venne insegnata la paura per i topi dopo alcune presentazioni associate a suoni forti e improvvisi.

Una prima considerazione sul condizionamento aversivo riguarda le differenze nelle caratteristiche principali (contiguità temporale e numerosità delle associazioni SN-SI) con il condizionamento classico in generale; è stato dimostrato che per l'apprendimento

del disgusto, in particolare con il cibo come stimolo neutro, sono necessarie poche esposizioni a SI (sensazioni di malessere, nausea ecc.), spesso anche una sola, e la distanza temporale tra SN e SI può essere anche di alcuni minuti o, addirittura, ore, perché venga elicitata una risposta di evitamento. Dal punto di vista biologico, la prima caratteristica descritta ha una grande rilevanza per l'adattamento all'ambiente in quanto permette di evitare numerose esposizioni a stimoli potenzialmente dannosi o mortali, ad esempio cibi velenosi (Nolen-Hoeksema et al. 2017).

Per quanto riguarda i processi neurali sottostanti il condizionamento aversivo, uno dei contributi più rilevanti è, senza dubbio, quello dato dal lavoro dell'amigdala, un complesso nucleare, situato nella zona dorso-mediale anteriore del lobo temporale di entrambi gli emisferi cerebrali, che, in generale, è coinvolto nell'elaborazione delle informazioni emotive, in particolare nell'apprendimento emotivo implicito, nella regolazione e inibizione emotiva, nella risposta sociale, nella memoria emotiva e nella modulazione emotiva dell'attenzione e della percezione (Phelps & LeDoux, 2005).

Da uno studio condotto su persone a cui era stata asportata la parte mediale anteriore del lobo temporale di uno dei due emisferi cerebrali, come trattamento per forme di epilessia altrimenti non trattabili, è risultato che tali soggetti presentavano una compromissione nell'acquisizione della paura condizionata, suggerendo un ruolo regolativo per strutture del lobo temporale mediale, tra cui l'amigdala, nell'apprendimento della paura condizionata (LaBar, LeDoux, Spencer & Phelps, 1995); per approfondire questi risultati, è stato condotto un altro studio su dei topi a cui veniva precedentemente lesionata l'amigdala, sia unilateralmente che bilateralmente. La risposta condizionata di *freezing* (immobilizzazione), a scosse elettriche e a rumori forti e improvvisi, risultava attenuata nei topi con lesioni unilaterali e scompariva quasi del tutto nei topi lesionati bilateralmente (LaBar & LeDoux, 1996).

I nuclei che compongono l'amigdala possono essere raggruppati in tre regioni anatomicamente e funzionalmente separate:

- i nuclei corticali; sono implicati nell'elaborazione dell'informazione olfattiva e dei processi affettivi.
- il complesso nucleare basolaterale; riceve principalmente input sensoriali sia da aree corticali, come la corteccia uditiva, che subcorticali, come il talamo e

l'ippocampo, e svolge un ruolo importante nel processo di condizionamento alla paura. In particolare, le afferenze ippocampali, determinano il coinvolgimento di tali nuclei con il processo di condizionamento contestuale della paura, ovvero l'apprendimento della potenziale pericolosità di un determinato ambiente in seguito a condizionamento aversivo. È stato inoltre dimostrato che, specifiche afferenze dal talamo (via magnocellulare, dalla retina al nucleo genicolato laterale, definita così per la tipologia delle cellule neurali che la compongono) a questi nuclei permettono una rapida trasmissione di informazioni relative, esclusivamente, a volti di persone impaurite, prima che queste informazioni arrivino alla corteccia visiva. Anche questo aspetto ha un'importante valenza per l'adattamento e la sopravvivenza in quanto permette di identificare la valenza negativa dell'emozione provata da un'altra persona e, dunque, la presenza di una potenziale minaccia ambientale, prima che vengano elaborate le informazioni visive inerenti alle caratteristiche complessive del volto (Krolak-Salmon, Hénaf, Vighetto, Bertrand & Mauguière, 2004; Méndez-Bértolo et al., 2016).

- I nuclei centrali; sono implicati nell'elaborazione e nell'espressione della risposta comportamentale alla paura condizionata ricevendo input sia dagli altri nuclei dell'amigdala sia da altre regioni corticali e subcorticali come l'insula, la corteccia uditiva e nuclei del talamo per l'informazione uditiva e inviando output all'ipotalamo, a regioni del tronco encefalico e a regioni corticali (Keifer, Hurt, Ressler & Marvar, 2015). In particolare, la connessione tra amigdala e nuclei ipotalamici è implicata nella risposta condizionata autonoma (come aumento del battito cardiaco o della conduttanza cutanea) mentre le efferenze a nuclei di sostanza grigia del mesencefalo (nel tronco encefalico) sono coinvolte nella risposta emotiva condizionata (LeDoux, Iwata, Cicchetti & Reis, 1988).

(LeDoux, 2003; Roy et al., 2009)

Dal punto di vista cellulare, l'apprendimento alla paura avviene per modificazioni strutturali dei neuroni, principalmente dei nuclei basolaterali dell'amigdala, dovute al potenziamento a lungo termine, processo di plasticità neurale che prevede il rafforzamento delle sinapsi tra neuroni attivati simultaneamente tramite un aumento del neurotrasmettitore presinaptico e un aumento dei recettori di membrana postsinaptici (LeDoux, 2003).

Altre regioni del cervello che sono state dimostrate attivarsi durante processi di condizionamento aversivo sono la corteccia cingolata anteriore (ACC), posta dorsalmente al corpo calloso (la principale commessura che connette i due emisferi cerebrali), e l'insula, una porzione corticale tra il lobo frontale e il lobo temporale all'interno della scissura laterale. L'ACC è coinvolta nella "valutazione del contenuto motivazionale e nella regolazione dei comportamenti dipendenti dal contesto come l'apprendimento all'approccio e all'evitamento" (Büchel, Morris, Dolan & Friston, 1998) e, in particolare, nel processamento di stimoli dolorosi; l'insula, invece, è principalmente coinvolta nel processamento di informazioni relative alla sensazione di disgusto e si attiva sia quando la sensazione è provata in prima persona sia quando si osserva una seconda persona che la sta provando (Büchel et al., 1998; Wicker et al., 2003). Inoltre, entrambe le aree descritte sembrano essere coinvolte nei processi di generalizzazione e la loro attivazione è correlata con quella dell'amigdala (Shalev et al., 2018; Roy et al., 2009). Lo studio di Roy et al. del 2009, condotto con la risonanza magnetica funzionale, propone un'interessante rassegna di tutte le aree cerebrali la cui attività è predetta da quella dell'amigdala, per tentare di descrivere una mappa di connessioni tra l'amigdala e altre strutture cerebrali potenzialmente implicate nell'elaborazione di informazioni emotive.

1.2.2 Il condizionamento aversivo e l'alterazione della percezione sensoriale

Come è già stato anticipato in precedenza, è risaputo che le emozioni, sia per quanto riguarda la valenza, positiva o negativa, che per l'attivazione generale provocata (*arousal*), hanno importanti ripercussioni su altri processi cerebrali di livello "inferiore", come la percezione sensoriale, e di livello "superiore", come la memoria e i processi esecutivi (Dolcos & Denkova, 2014). Ad esempio, negli studi di Droit-Volet e Berthon e di Kim, Lokey e Ling si riscontra, rispettivamente, che il livello di *arousal* modula la percezione implicita del tempo (Droit-Volet & Berthon, 2017) e che elevati livelli di *arousal* aumentano la sensibilità al contrasto di stimoli visivi (Kim, Lokey & Ling, 2017). Srinivasan e Hanif hanno rilevato, invece, che stati emotivi positivi riflettono una tendenza al processamento globale delle caratteristiche di volti e, al contrario, emozioni negative sono associate ad un processamento più locale (Srinivasan & Hanif, 2010).

Numerosi studi hanno indagato sui circuiti e sugli effetti della paura, in quanto può essere rilevante, dal punto di vista biologico, approfondire le risposte adattive (sia

comportamentali che neurobiologiche) a questa emozione e, dal punto di vista clinico, per trovare terapie sempre più efficaci a vari disturbi psicologici come le fobie specifiche, i disturbi d'ansia e il disturbo post-traumatico da stress.

I risultati ottenuti da diverse ricerche, che hanno utilizzato il paradigma del condizionamento aversivo per comprenderne gli effetti sulla modulazione della percezione sensoriale, sono eterogenei e, a volte, contrastanti; ciò potrebbe essere spiegato dall'aumento esponenziale degli studi condotti con tale paradigma negli ultimi anni (da una media di quindici all'anno negli anni novanta a una di trecento negli anni più recenti) e dai possibili errori metodologici che ne possono conseguire, derivanti da variazioni apportate, da studio a studio, riguardanti i parametri, la terminologia e le procedure utilizzate (Lonsdorf et al., 2017).

La rassegna di studi di Miskovic e Keil del 2012 prende in considerazione l'attività neurale nello spazio e nel tempo, registrabile tramite elettroencefalografia (EEG) e magnetoencefalografia (MEG) attraverso il cuoio capelluto, ritenendo che possa riflettere alcuni aspetti rilevanti di stimoli esterni e disposizioni interne correlate ad essi; vengono dunque ricercati i cambiamenti dinamici delle funzioni sensoriali che avvengono durante il condizionamento aversivo. Una delle conclusioni tratte in questa rassegna è che il condizionamento alla paura è associato ad una elaborazione amplificata dello stimolo condizionato nella corteccia uditiva e visiva (Miskovic & Keil, 2012). Secondo Laufer e Paz, le soglie di discriminazione di suoni di diversa frequenza aumentano dopo che questi sono stati associati ad una grossa perdita monetaria, con una relativa conseguenza di diminuzione della sensibilità di discriminazione; questo risultato ha portato ad ipotizzare che, per una più rapida risposta a stimoli potenzialmente dannosi, sia più efficiente ridurre la sensibilità di discriminazione, mantenendo elevata la soglia di detezione, aumentando quindi la generalizzazione a stimoli simili. (Laufer & Paz, 2012). Anche Resnik, Sobel e Paz hanno riscontrato che, in seguito all'apprendimento associativo aversivo, aumentano le soglie di discriminazione (minore sensibilità e maggiore generalizzazione) di suoni di diversa frequenza (Resnik, Sobel & Paz, 2011). Da uno studio condotto su topi è risultato che il cambiamento dell'acuità uditiva dipende dalla specificità dell'apprendimento dello stimolo condizionato: una bassa specificità, ovvero una generalizzazione della risposta condizionata ad un range di frequenze diverse, prevede una diminuzione dell'acuità (aumento delle soglie percettive) mentre un'alta specificità comporta un aumento

dell'acuità (diminuzione delle soglie percettive) (Aizenberg & Geffen, 2013).

Per quanto riguarda l'olfatto, sembra che, in seguito a condizionamento aversivo, aumenti la sensibilità di detezione (Parma, Ferraro, Miller, Åhs & Lundström, 2015) e che migliorino le *performance* di discriminazione di odori, inizialmente indistinguibili dall'uomo in circostanze normali, dovuto ad un abbassamento delle soglie percettive (Åhs, Miller, Gordonb & Lundström, 2012).

Prendendo in considerazione il tatto, è stato riscontrato che stimoli termici vengono ritenuti più intensi e spiacevoli, dopo che sono stati associati a immagini aversive, rispetto agli stessi stimoli termici associati a immagini appetitive o neutre (Wunsch, Philippota & Plaghki, 2002).

Infine, per il sistema visivo è stato registrato, tramite EEG, un aumento dell'attività corticale nel lobo occipitale in seguito alla presentazione di stimoli presentati in posizioni precedentemente condizionate con stimoli aversivi (Friedl & Keil, 2021). È stato inoltre dimostrato che, in seguito a condizionamento aversivo, migliora la capacità discriminativa di stimoli visivi di diversa orientazione; questo sembra essere dovuto ad un aumento dell'attenzione verso gli stimoli divenuti più salienti in seguito all'apprendimento associativo (Stegmann, Andreatta, Pauli & Wieser, 2021).

2 Metodo

2.1 Partecipanti

Hanno preso parte all'esperimento 22 soggetti, 10 maschi e 12 femmine, di età compresa tra i 21 e i 29 anni (età media 24,68 anni, deviazione standard 2,36). Essi sono stati assegnati, in modo equo e casuale, a due condizioni sperimentali diverse: un gruppo di controllo, caratterizzato dalla presentazione di stimoli incondizionati neutri durante la fase di condizionamento, e un gruppo sperimentale, al quale venivano presentati stimoli incondizionati aversivi. Un'ulteriore suddivisione dei soggetti, indipendentemente dalla condizione sperimentale assegnata, è stata eseguita, sempre in modo equo e casuale, in base all'orientazione dello stimolo condizionato, che poteva essere verticale o orizzontale. In questo modo i gruppi creati erano quattro: gruppo di controllo con stimolo condizionato verticale, gruppo di controllo con stimolo condizionato orizzontale, gruppo sperimentale con stimolo condizionato verticale e gruppo sperimentale con stimolo condizionato orizzontale.

Prima di iniziare l'esperimento, i soggetti hanno firmato il consenso informato in seguito a presa visione dello stesso; a tutti è stato garantito il trattamento dei dati in forma confidenziale e la possibilità di fermare l'esperimento in qualsiasi momento, senza l'obbligo di spiegare le motivazioni. Sono state inoltre fornite tutte le indicazioni per il corretto svolgimento dell'esperimento e, una volta conclusa l'intera sessione, è stato spiegato lo scopo generale e quello di ogni singola fase.

L'esperimento è stato approvato dal Comitato Etico di Psicologia dell'Università di Padova.

2.2 Apparato sperimentale

Tutte le prove sono state svolte nel laboratorio A02 del Dipartimento di Psicologia Generale del Polo Multifunzionale di Psicologia dell'Università di Padova.

L'intero esperimento veniva svolto in condizioni di bassa luminosità tramite un computer, caratterizzato da un monitor a tubo catodico di 20 pollici e una frequenza di aggiornamento (*refresh rate*) di 60Hz, con sistema operativo Windows 7. I soggetti erano

invitati a mantenere una distanza di 57cm dallo schermo per tutta la durata dell'esperimento.

Il programma alla base del funzionamento dell'esperimento è stato implementato tramite la libreria jsPsych (versione 6.3.1) di JavaScript (un linguaggio di programmazione utilizzato per la creazione di effetti dinamici interattivi nelle pagine del *web*), la quale permette la creazione di esperimenti di psicologia per la somministrazione online degli stessi. Infatti, grazie ai moduli (*plugin*) precostruiti presenti nella libreria, è possibile creare esperimenti eseguibili in un *web browser* e pertanto accessibili da remoto. Tuttavia, i dati raccolti sono stati ottenuti registrando offline e salvando sul PC del laboratorio tutte le interazioni dei partecipanti con i compiti sperimentali presentati tramite il *browser* Google Chrome.

2.3 Stimoli

L'esperimento veniva svolto in due sessioni; la prima sessione era suddivisa in cinque fasi: prima fase di discriminazione di stimoli visivi, fase del condizionamento, seconda fase di discriminazione, compito di memoria e compito di validazione, per una durata complessiva di circa 45 minuti. La seconda sessione, 24 ore dopo la prima, prevedeva lo svolgimento del solo compito di discriminazione, per la durata di circa 15 minuti; in questo modo volevamo capire se l'effetto ricercato, per confermare l'ipotesi iniziale, perdurasse nel tempo.

Gli stimoli utilizzati per questo esperimento sono barre orientate, per le fasi di discriminazione e quella di condizionamento, e immagini neutre o aversive, per la fase di condizionamento e i compiti di memoria e validazione.

Per regolare la grandezza degli stimoli, ai soggetti veniva chiesto di modificare le dimensioni di un rettangolo, che compariva sullo schermo, trascinando uno dei vertici con il cursore del mouse; l'operazione si concludeva quando il rettangolo raggiungeva le stesse dimensioni di una carta di credito, quindi circa 86mm di larghezza per 54mm di altezza. Questa operazione è servita a mantenere costante la grandezza di tutti gli stimoli presentati durante le prove, la qual cosa potrà essere utilizzata anche in futuro per eventuali applicazioni *online* dell'esperimento.

Le barre orientate avevano dimensioni di 7 x 60mm ed erano di colore nero. Nelle fasi di discriminazione venivano presentate a coppie, in modo che, una avesse un'inclinazione di 2° in senso orario rispetto alla perfetta orizzontale (quindi un'inclinazione effettiva di 92°), o verticale (inclinazione effettiva di 2°); non sono state utilizzate barre perfettamente orizzontali, o verticali, perché sarebbe risultato più semplice distinguere il cambiamento dell'inclinazione. L'altra barra, invece, aveva un'inclinazione di 2° + Δx; questo parametro (Δx) aveva un valore iniziale di 5° (inclinazione effettiva 97° per l'orizzontale e 7° per la verticale) e variava in base alla *performance*, secondo una procedura *two down one up staircase* (Levitt, 1971), ovvero, diminuiva dopo due risposte corrette e aumentava dopo una risposta sbagliata; inizialmente la *staircase* diminuisce l'inclinazione della barra di 1° (Δx prende come valore 4° dopo le prime due risposte corrette) per poi diminuire il valore dello "scalino" (*step size*) a 0,5° al primo cambiamento di direzione (*reversal*), ovvero dopo il primo errore, e dimezzare ulteriormente ad ogni *reversal*, ovvero dopo due risposte corrette in seguito ad una serie di errori o dopo un errore in seguito ad una serie di risposte corrette, fino al valore minimo di 0,0312°. La *staircase* si aggiornava in modo indipendente per l'orientazione orizzontale e quella verticale.

Le immagini sono state recuperate dal *database International Affective Picture System* (IAPS) per un numero complessivo di 100; 50 immagini neutre, raffiguranti paesaggi, oggetti di ogni giorno o persone singole o in gruppo, e 50 aversive, raffiguranti scene di crimini, incidenti, operazioni chirurgiche, parti del corpo ferite o, in generale, gravi compromissioni dell'integrità fisica.

In particolare, sono state utilizzate le immagini neutre numero:

1450, 1605, 1900, 2026, 2039, 2102, 2151, 2156, 2191, 2217, 2222, 2235, 2273, 2299, 2308, 2314, 2332, 2339, 2342, 2347, 2358, 2359, 2370, 2377, 2382, 2384, 2388, 2390, 2393, 2411, 2488, 2530, 2594, 2980, 5210, 5390, 5831, 5836, 7001, 7009, 7026, 7041, 7052, 7493, 7505, 7507, 7509, 7512, 7513, 9260,

e le immagini aversive numero:

2352.2, 3000, 3010, 3015, 3016, 3019, 3030, 3051, 3053, 3059, 3060, 3061, 3062, 3063, 3064, 3068, 3069, 3071, 3080, 3100, 3101, 3102, 3103, 3110, 3120, 3130, 3131, 3140, 3150, 3168, 3170, 3195, 3212, 3213, 3225, 3250, 3261, 3266, 3301, 3350, 3400, 3550, 6415, 8230, 9040, 9325, 9405, 9410, 9420, 9433.

Per quanto riguarda il compito di discriminazione, ogni barra veniva presentata per 0,3 secondi e, tra la prima e la seconda, compariva un'immagine di rumore bianco per 1,3 secondi.

Nella fase di condizionamento compariva una croce di fissazione per 2 secondi, poi una barra orientata orizzontalmente o verticalmente per 1 secondo e, solo dopo il CS+, un'immagine, neutra o aversiva in base alla condizione sperimentale, per 200 millisecondi. L'intervallo tra i *trial* variava tra 2 e 3 secondi in modo casuale.

2.4 Procedura

Prima di iniziare le varie fasi, i soggetti dovevano inserire le iniziali di nome e cognome che, insieme ad un numero di tre cifre, generato casualmente dal programma, diventava il loro codice di riconoscimento; in seguito, inserivano età e genere.

Compito di discriminazione

La prima fase era preceduta da sei *trial* di prova, per i primi 8 soggetti partecipanti, e 20 *trial*, per gli altri soggetti; il numero di *trial* di prova è stato aumentato per favorire un miglioramento della *performance* nella prima fase di discriminazione. A questi *trial* veniva dato un *feedback* in base alla correttezza della risposta; il soggetto, precedentemente istruito, poteva dunque familiarizzare con il compito.

Entrambe le fasi di discriminazione di stimoli visivi consistevano in un compito a scelta forzata tra due alternative (*two-alternative forced choice*, 2AFC). Venivano presentate, al centro dello schermo, delle coppie di barre, orientate verticalmente o orizzontalmente; i soggetti dovevano scegliere quale, tra le due barre della coppia, era maggiormente ruotata in senso orario, rispondendo, entro dieci secondi, tramite la tastiera, premendo "A", se ritenevano che fosse la prima, o "L", per la seconda. Il compito si concludeva dopo la presentazione di 120 coppie di barre o dopo 12 *reversal* della *staircase* per i primi 8 soggetti che hanno partecipato, e dopo 8 *reversal* per i restanti soggetti; questo parametro è stato modificato per ridurre la lunghezza, ritenuta eccessiva, dell'esperimento. Non è stato, invece, rispettato il parametro di interruzione dopo sei errori indicato dallo studio di Shalev et al. (2018) ritenendo che il compito non sarebbe durato a sufficienza per ricavare valori di soglia attendibili.

La prima fase di discriminazione, precedente la fase di condizionamento, è servita per ricavare la differenza minima tra i due stimoli (la coppia di barre di ogni *trial*) percepibile dai soggetti (soglia differenziale o *just noticeable difference*, JND), che è stata poi confrontata con la soglia ricavata nella seconda fase di discriminazione, svolta dopo la fase di condizionamento, per valutare la veridicità dell'ipotesi iniziale.

Fase del condizionamento

In questa fase veniva chiesto ai soggetti di prestare attenzione a ciò che compariva sullo schermo, senza dover dare alcuna risposta tramite tastiera o in altro modo. Venivano dunque presentate delle singole barre, orientate verticalmente o orizzontalmente, seguite da un'immagine o da una schermata vuota. Un singolo soggetto poteva avere come stimolo condizionato (CS+) solo una delle due orientazioni della barra; dunque, se precedentemente veniva scelto dagli sperimentatori che il CS+ doveva essere la barra orientata verticalmente, solo tale barra era seguita dalle immagini, mentre quelle orientate orizzontalmente (CS-) erano seguite dalla schermata vuota.

Le immagini che seguivano lo stimolo condizionato erano neutre, per i soggetti della condizione di controllo, o aversive, per la condizione sperimentale.

Solo al termine della presentazione di tutti i *trial* (60 in totale; 30 CS+ e 30 CS-) i soggetti dovevano rispondere ad un quesito, digitando tramite tastiera all'interno di una casella di testo; la richiesta era quella di esprimere se era stato notato un pattern di associazione tra l'orientazione delle barre e la presentazione delle immagini e, in caso di risposta affermativa, di specificare che tipo di pattern. La risposta a tale quesito è stata utile per capire se i soggetti sono stati consapevoli del condizionamento avvenuto.

Compito di memoria

Questo compito è servito per avere un'indicazione del grado di attenzione dei soggetti durante la fase di condizionamento. Venivano presentate 20 immagini della medesima categoria (neutre per la condizione di controllo e aversive per la condizione sperimentale), di cui 10 erano già state utilizzate nella fase di condizionamento e 10 non erano mai state viste; il soggetto doveva rispondere premendo il tasto "Y" della tastiera se riteneva di avere già visto l'immagine o "N" se invece riteneva fosse nuova. Le immagini già

utilizzate e quelle nuove venivano presentate in ordine casuale e, in seguito alla risposta, veniva dato un *feedback* in base alla correttezza della stessa. I soggetti dovevano rispondere correttamente ad almeno il 55% dei *trial*, come indicato nello studio di Shalev et al. (2018) altrimenti sarebbero stati esclusi dallo studio conclusivo dei dati.

Compito di validazione

In quest'ultima fase i soggetti dovevano valutare l'intensità dell'emozione provata alla presentazione di ogni immagine; per fare ciò dovevano spostare il cursore di uno *slider*, posizionato sotto le immagini, fermandosi sul numero, compreso tra 1 (intensità minima) e 9 (intensità massima), che meglio indicava tale intensità emotiva. Le immagini venivano presentate in ordine casuale ed erano in totale 40, di cui 30 erano le stesse utilizzate nella fase di condizionamento e 10 erano nuove immagini appartenenti alla categoria opposta (neutre per la condizione sperimentale e aversive per la condizione di controllo). Questo compito è servito per avere un'indicazione dell'effettiva carica emotiva avversiva suscitata dalle immagini, considerate a priori come spiacevoli, in confronto alle immagini neutre, che dovrebbero suscitare un'emozione meno intensa; in conseguenza a ciò, potevamo capire se il condizionamento, indotto tramite le stesse, fosse effettivamente aversivo o neutro.

3 Risultati

Per l'analisi dei dati è stato ritenuto opportuno escludere due soggetti, uno appartenente al gruppo di controllo e uno appartenente al gruppo sperimentale, in quanto sono stati registrati valori di soglia di discriminazione estremi che non permettevano un adeguato studio successivo.

A differenza di quanto riportato nello studio di Shalev et al. (2018) non è stato rispettato il criterio di esclusione in base alla rinvenuta consapevolezza da parte dei soggetti del condizionamento avvenuto durante la seconda fase delle prove. In particolare, sono solo state raccolte le risposte dei soggetti alla domanda conclusiva della fase di condizionamento e sono state valutate con "0", se non era stato notato alcun condizionamento e dunque nessuna associazione tra le immagini presentate e l'orientazione della barra condizionata (CS+), "1" se era stata notata qualche associazione che però non corrispondeva all'effettiva manipolazione sperimentale, e "2" se l'associazione notata corrispondeva alla manipolazione sperimentale.

Tutti i soggetti hanno superato il test di memoria avendo risposto correttamente almeno al 55% delle immagini presentate durante la quarta fase della prova. Per quanto riguarda il compito di validazione, infine, è stata rilevata una differenza tra la media dei punteggi dati sulla scala dell'intensità emotiva suscitata dalle immagini neutre (3.35) rispetto alla media dei punteggi dati alle immagini aversive (5.68); quest'ultima, risultata più elevata, ha dato conferma dell'effettiva carica emotiva avversiva suscitata dalle immagini e, dunque, di un potenziale effetto di condizionamento, effettivamente avversivo, successivo.

Una prima analisi descrittiva dei dati ottenuti, in seguito alle considerazioni di cui sopra, è stata effettuata determinando media, deviazione standard (SD) ed errore standard (SE) del parametro Δx (ovvero della differenza in gradi tra l'angolazione della barra maggiormente ruotata rispetto a quella di base con un'angolazione di 2°) a seconda della condizione sperimentale e dell'orientazione delle barre, sia prima (*baseline*) che dopo la fase del condizionamento. Tutti i valori statistici citati sono riportati nella *Tabella 1a* e *1b*. Le medie ottenute sono state, inoltre, inserite in un unico grafico (*Figura 1*) per un primo confronto e per le prime osservazioni descrittive del *trend* di cambiamento delle soglie percettive (Δx) tra la fase prima del condizionamento e quella dopo, a seconda dell'orientazione del CS+ e della condizione sperimentale; il *trend* generale che si può

osservare è una diminuzione del Δx , pre e post-condizionamento, sia per l'orientazione orizzontale che per quella verticale, per entrambe le condizioni sperimentali. Nel grafico successivo (*Figura 2*) è possibile osservare, invece, le distribuzioni dei valori di Δx calcolati per CS+ e CS-, prima e dopo il condizionamento, a seconda della condizione sperimentale.

Gli stessi valori statistici descrittivi (Media, SD e SE) sono stati calcolati per le percentuali di cambiamento delle soglie grezze (*percentage change*), in base alla condizione sperimentale e al tipo di stimolo (CS+ e CS-)(*Tabella 2a e 2b*); queste percentuali, calcolate sulle mediane dei valori di Δx , sono state ricavate sottraendo il valore mediano di Δx della fase successiva al condizionamento al valore mediano di Δx della fase antecedente il condizionamento, dividendo per quest'ultimo e moltiplicando per cento.

Gruppo di controllo	Pre-condizionamento verticale	Post-condizionamento verticale	Pre-condizionamento orizzontale	Post-condizionamento orizzontale
Media	1,24°	0,73°	1,19°	0,75°
SD	0,88°	0,23°	0,65°	0,55°
SE	0,28°	0,07°	0,21°	0,18°

Tabella 1a. Medie, deviazioni standard (SD) ed errori standard (SE) delle soglie differenziali (Δx) a seconda dell'orientazione della barra e del tempo di rilevamento (prima e dopo la fase di condizionamento) dei soggetti appartenenti al gruppo di controllo. I valori sono stati approssimati a due cifre decimali significative.

Gruppo sperimentale	Pre-condizionamento verticale	Post-condizionamento verticale	Pre-condizionamento orizzontale	Post-condizionamento orizzontale
Media	0,89°	0,54°	1,29°	0,68°
SD	0,71°	0,48°	0,83°	0,22°
SE	0,22°	0,15°	0,26°	0,07°

Tabella 1b. Medie, deviazioni standard (SD) ed errori standard (SE) delle soglie differenziali (Δx) a seconda dell'orientazione della barra e del tempo di rilevamento (prima e dopo la fase di condizionamento) dei soggetti appartenenti al gruppo sperimentale. I valori sono stati approssimati a due cifre decimali significative.

Gruppo di controllo	CS+	CS-
Media	-30,06%	5,74%
SD	49,62%	104,58%
SE	15,69%	33,07%

Tabella 2a. Medie, deviazioni standard (SD) ed errori standard (SE) delle percentuali di cambiamento delle soglie grezze del gruppo di controllo a seconda dello stimolo condizionato.

Gruppo sperimentale	CS+	CS-
Media	-21,86%	-6,38%
SD	79,82%	82,70%
SE	25,24%	26,15%

Tabella 2b. Medie, deviazioni standard (SD) ed errori standard (SE) delle percentuali di cambiamento delle soglie grezze del gruppo sperimentale a seconda dello stimolo condizionato.

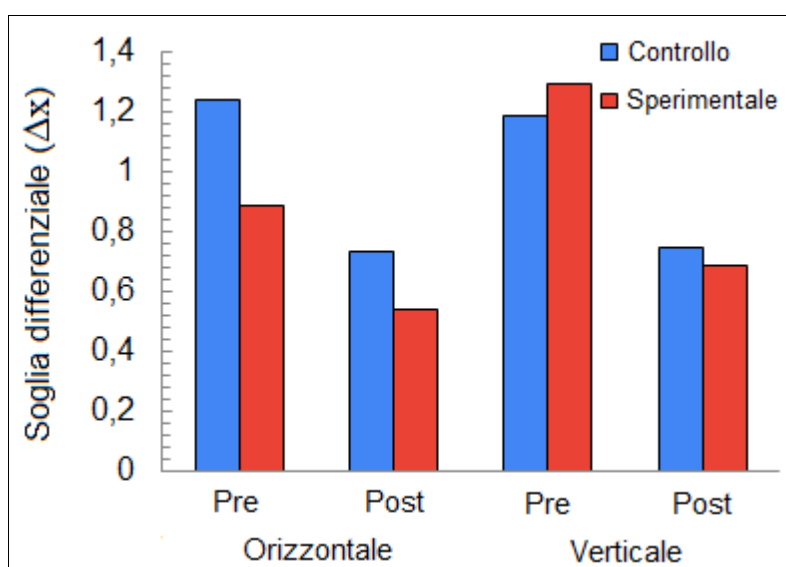


Figura 1. Medie delle soglie differenziali (Δx) a seconda del gruppo (Controllo o sperimentale), dell'orientazione delle barre (orizzontale e verticale) e del tempo di rilevamento (pre e post condizionamento).

Le medie marginali dei valori di Δx e del *percentage change* sono state confrontate in due grafici (Figura 3); per il primo valore è stata presa in considerazione la variazione tra la fase antecedente il condizionamento e quella successiva in relazione alla condizione sperimentale e si può notare come, al contrario delle aspettative, per entrambi i gruppi risulti una diminuzione del Δx dopo il condizionamento e come lo stesso Δx risulti minore per il gruppo sperimentale rispetto a quello di controllo. Il cambiamento del *percentage change*, invece, è stato valutato tra il CS+ e il CS- sempre in relazione al gruppo di

controllo; da questo grafico si nota un leggero aumento del *percentage change* tra gruppo di controllo e sperimentale per il CS+, ma anche che lo stesso valore calcolato sul CS+ risulta minore rispetto a quello calcolato sul CS- per ogni gruppo.

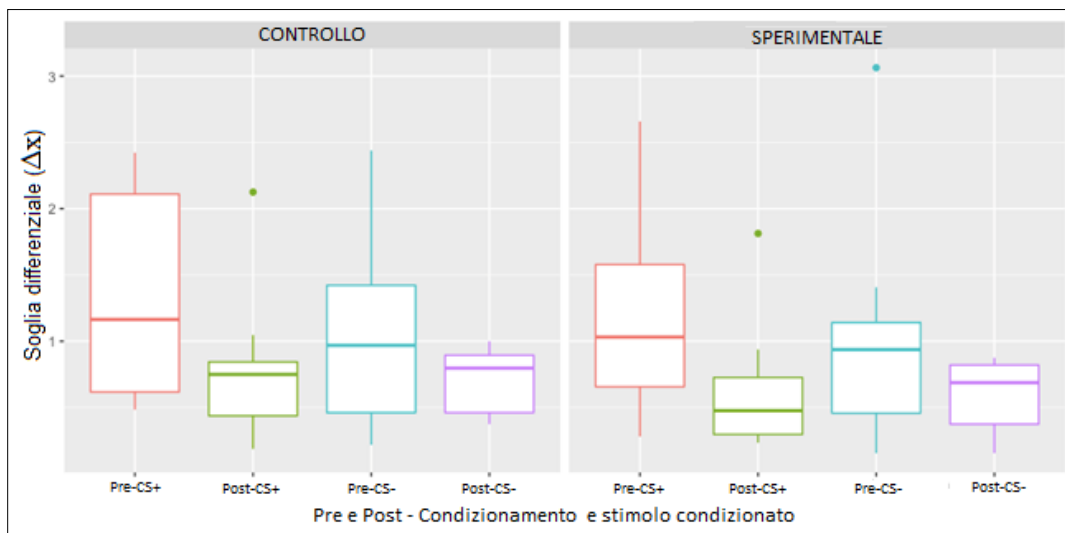


Figura 2. Distribuzioni delle soglie differenziali (Δx) calcolate per il CS+ e il CS-, prima (pre) e dopo (post) il condizionamento, divise per gruppo sperimentale e di controllo.

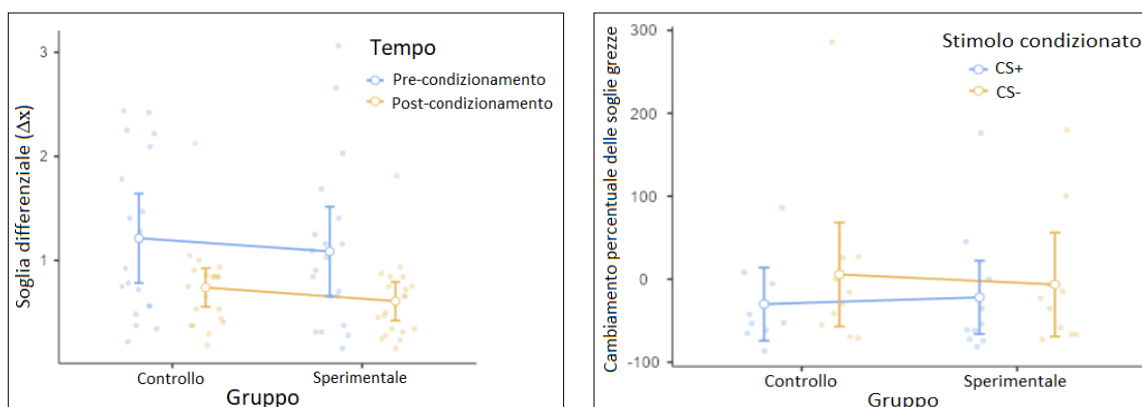


Figura 3. Nel grafico a sinistra, confronto delle medie marginali delle soglie differenziali (Δx) prima e dopo il condizionamento in base alla condizione sperimentale. Nel grafico a destra, confronto delle medie marginali del cambiamento percentuale delle soglie grezze per lo stimolo CS+ e lo stimolo CS- sempre in base alla condizione sperimentale.

Per uno studio più accurato dei dati, sono state svolte diverse analisi statistiche inferenziali sui valori di Δx e sul *percentage change*, per capire, se, e quali fattori, e l'interazione tra essi, abbiano avuto un'influenza sul cambiamento di tali valori tra la fase precedente il condizionamento e quella successiva. In particolare, sui valori di Δx , è stato

utilizzato il test della varianza (ANOVA) a misure ripetute per studiare gli effetti, entro i soggetti, del tempo, o, in altre parole, l'effetto della pratica, ($F_{(1,18)} = 16.95$, $p = < .001$, $\eta^2p = 0.48498$) e dell'orientazione degli stimoli condizionati ($F_{(1,18)} = 1.59081$, $p = 0.223$, $\eta^2p = 0.08120$); lo stesso test è stato utilizzato per studiare gli effetti di interazione del tempo e della condizione sperimentale ($F_{(1,18)} = 0.00031$, $p = 0.986$, $\eta^2p = 0.00002$), dell'orientazione degli stimoli condizionati e della condizione sperimentale ($F_{(1,18)} = 2.19072$, $p = 0.156$, $\eta^2p = 0.10850$), del tempo e dell'orientazione ($F_{(1,18)} = 0.13565$, $p = 0.717$, $\eta^2p = 0.00748$) ed infine del tempo, dell'orientazione e della condizione sperimentale ($F_{(1,18)} = 0.38978$, $p = 0.540$, $\eta^2p = 0.02120$). Inoltre, è stata svolta un'ANOVA a misure ripetute per verificare l'effetto, tra i soggetti, della condizione sperimentale ($F_{(1,18)} = 0.45422$, $p = 0.509$, $\eta^2p = 0.02461$). L'unico effetto risultato significativo è stato quello della pratica, motivo per il quale è stato effettuato un test *post hoc* (t test a misure ripetute) per confrontare i due livelli del fattore pratica, ovvero le fasi pre e post-condizionamento ($t_{(18)} = 4.11709$, $p = < .001$).

L'analisi inferenziale sui valori del *percentage change* è stata svolta con il test ANOVA a misure ripetute per studiare gli eventuali effetti, entro i soggetti, del condizionamento ($F_{(1,18)} = 0.97614$, $p = 0.336$, $\eta^2p = 0.05144$) e dell'interazione tra il condizionamento e la condizione sperimentale ($F_{(1,18)} = 0.15320$, $p = 0.700$, $\eta^2p = 0.00844$). Il medesimo test è stato utilizzato per verificare gli effetti, tra i soggetti, della condizione sperimentale ($F_{(1,18)} = 0.00586$, $p = 0.940$, $\eta^2p = 0.00033$).

Infine, sono stati presi in esame i dati ricavati dalla sessione svolta dopo 24 ore, in cui tutti i soggetti hanno svolto solo la fase di discriminazione. In questo caso sono state calcolate le differenze percentuali delle soglie, che sono state confrontate con quelle rilevate nella fase post-condizionamento della prima sessione (*Figura 4a e 4b*). I risultati ottenuti sono riportati nelle successive tabelle (*Tabella 3a e 3b*). Come si può osservare il *trend* di variazione delle differenze percentuali rimane pressoché uguale anche nella sessione svolta dopo 24 ore.

Prima sessione	CS-	CS+
Gruppo di controllo	7,67%	-31,68%
Gruppo sperimentale	-3,78%	-21,66%

Tabella 3a. Differenze percentuali post-condizionamento delle soglie grezze per CS- e CS+ a seconda della condizione sperimentale calcolate nella prima sessione.

Sessione dopo 24h	CS-	CS+
Gruppo di controllo	25,18%	-34,97%
Gruppo sperimentale	-19,09%	-31,31%

Tabella 3b. Differenze percentuali post-condizionamento delle soglie grezze per CS- e CS+ a seconda della condizione sperimentale calcolate sessione dopo 24h.

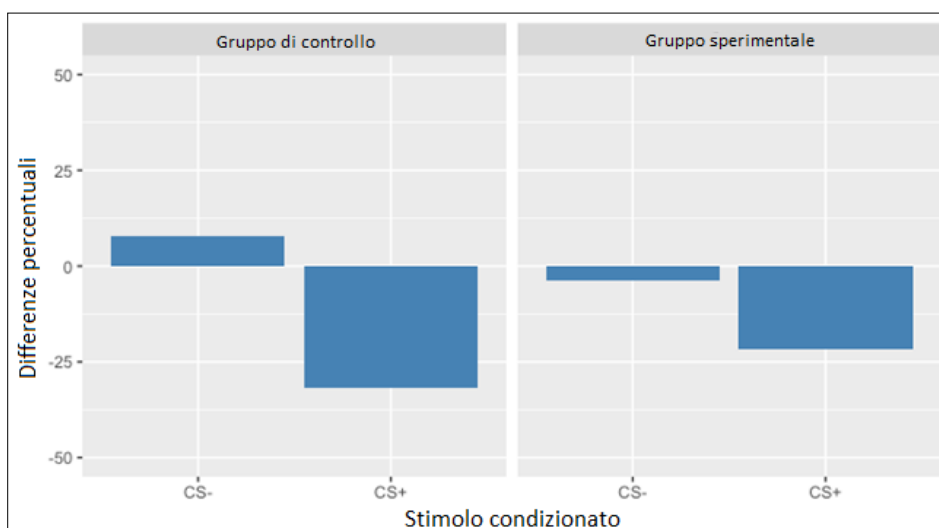


Figura 4a. Differenze percentuali delle soglie della fase post-condizionamento della prima sessione per CS- e CS+ a seconda del gruppo (controllo o sperimentale).

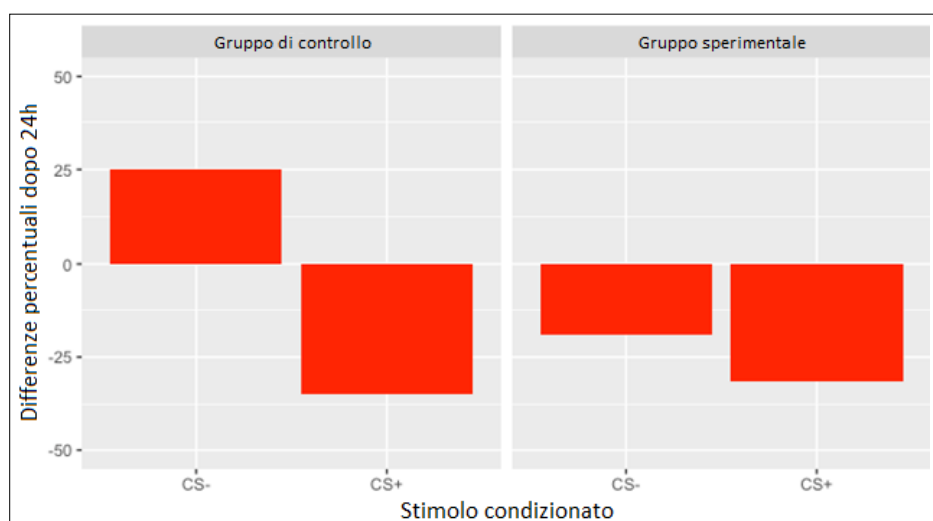


Figura 4b. Differenze percentuali delle soglie della fase post-condizionamento della sessione dopo 24 ore per CS- e CS+ a seconda del gruppo (controllo o sperimentale).

4 Discussione

L'esperimento condotto aveva come obiettivo la ricerca di effetti di modulazione sensoriale utilizzando il paradigma del condizionamento aversivo; l'ipotesi iniziale su cui era incentrata la ricerca supponeva una diminuzione della capacità discriminativa di stimoli visivi diversamente orientati o, in altre parole, un aumento delle soglie differenziali percettive. I risultati ottenuti non sembrano, però, confermare tale ipotesi; le medie del parametro Δx sono minori nella fase successiva al condizionamento, sia per il gruppo di controllo che per il gruppo sperimentale, e indipendentemente dall'orientazione dello stimolo condizionato CS+. Le differenze percentuali risultano essere più elevate per il CS- e minori per il CS+; per quest'ultimo è stato registrato un leggero aumento tra il gruppo di controllo e quello sperimentale, ma gli elevati valori di deviazione standard indicano una notevole variabilità dei dati, il che non può portare a conclusioni del tutto generalizzabili. Anche da quasi tutte le analisi statistiche dei dati non si riscontra significatività dei fattori considerati, o combinazioni di essi, sui cambiamenti dei valori di soglia; solo l'effetto della pratica risulta significativo, presumibilmente per l'eccessiva durata del compito e i numerosi *trial* che componevano le fasi di discriminazione.

Un aspetto importante da considerare è, sicuramente, il ridotto numero di partecipanti all'esperimento; in generale, più il campione è ampio e più è considerato rappresentativo della popolazione e, quindi, i risultati ottenuti possono essere considerati più attendibili e generalizzabili. Altre questioni metodologiche possono aver influito sulla divergenza dei risultati e l'ipotesi iniziale, come l'utilizzo di una *two down one up staircase* che, essendo sensibile ad errori precoci, potrebbe portare ad una sovrastima delle soglie successivamente calcolate, o il diverso numero di *reversal* dopo il quale far terminare il compito di discriminazione, rispetto a quello utilizzato nello studio originale. Infine, potrebbe aver influito anche l'utilizzo di diversi criteri di esclusione dei partecipanti rispetto a quelli definiti nello studio di Shalev et al..

Le ricerche svolte con il paradigma del condizionamento aversivo, che hanno indagato sulla modulazione dei sistemi sensoriali, presentano risultati eterogenei e, a volte discordanti; ciò fa ipotizzare che siano prevalenti meccanismi uni-modali piuttosto che meccanismi cross-modali generalizzabili ad ogni sistema sensoriale. Uno degli obiettivi principali, già ampiamente trattato da numerosi studi, rimane, comunque, quello di capire

i processi alla base della generalizzazione degli stimoli aversivi ad altri stimoli ritenuti erroneamente delle minacce; questo perché la generalizzazione è il fattore di maggiore rilevanza nei disturbi psicologici associati alla paura, quali le fobie specifiche e il disturbo post-traumatico da stress. Comprendere i meccanismi della generalizzazione è opportuno per la teorizzazione e lo sviluppo di tecniche terapeutiche sempre più efficaci per questo tipo di disturbi.

Per concludere, i risultati ottenuti da questo studio non permettono di confermare l'ipotesi iniziale e sono discordanti con quelli riscontrati nello studio di Shalev et al. del 2018, mentre sembrano essere paragonabili a quelli ottenuti da Stegmann et al. nel 2021; da questo studio, condotto interamente da remoto, infatti, è risultato che l'apprendimento associativo aversivo migliora l'acuità della discriminazione visiva di stimoli di diversa orientazione. In futuro potrebbe essere ripetuto questo esperimento aumentando la numerosità del campione, proponendone anche una versione online, per comprendere se una maggiore quantità di dati possa portare a conclusioni diverse.

Bibliografia

Åhs, F., Miller, S. S., Gordon, A. R., & Lundström, J. N. (2013). Aversive learning increases sensory detection sensitivity. *Biological Psychology*, *92*(2), 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2012.11.004>

Aizenberg, M., & Geffen, M. N. (2013). Bidirectional effects of aversive learning on perceptual acuity are mediated by the sensory cortex. *Nature Neuroscience*, *16*(8), 994–996. <https://doi.org/10.1038/nn.3443>

Bear M.F., Connors B.W. e Paradiso M.A. (2016). *Neuroscienze, Esplorando il cervello* (4. ed.). Milano: Edra S.p.A.

Büchel C., Morris J., Dolan R.J. e Friston K. J. (1998) Brain Systems Mediating Aversive Conditioning: an Event-Related fMRI Study. *Neuron*, *20*(5), 947-957. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(00\)80476-6](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(00)80476-6).

Dolcos, F., & Denkova, E. (2014). Current Emotion Research in Cognitive Neuroscience: Linking Enhancing and Impairing Effects of Emotion on Cognition. *Emotion Review*, *6*(4), 362–375. <https://doi.org/10.1177/1754073914536449>

Droit-Volet, S., & Berthon, M. (2017). Emotion and Implicit Timing: The Arousal Effect. *Frontiers in Psychology*, *8*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00176>

Friedl, W. M., & Keil, A. (2021). Aversive Conditioning of Spatial Position Sharpens Neural Population-Level Tuning in Visual Cortex and Selectively Alters Alpha-Band Activity. *The Journal of Neuroscience*, *41*(26), 5723–5733. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2889-20.2021>

Hubel, D. (1982). Exploration of the primary visual cortex. *Nature* *299*, 515–524. <https://doi.org/10.1038/299515a0>

Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *The Journal of Physiology*, *195*(1), 215–243. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1968.sp008455>

Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1972). Laminar and columnar distribution of geniculocortical fibers in the macaque monkey. *The Journal of Comparative Neurology*, *146*(4), 421–450. <https://doi.org/10.1002/cne.901460402>

Keifer, O. P., Hurt, R. C., Ressler, K. J., & Marvar, P. J. (2015). The Physiology of Fear: Reconceptualizing the Role of the Central Amygdala in Fear Learning. *Physiology*, *30*(5), 389–401. <https://doi.org/10.1152/physiol.00058.2014>

Kim, D., Lokey, S., & Ling, S. (2017). Elevated arousal levels enhance contrast perception. *Journal of Vision*, *17*(2), 14. <https://doi.org/10.1167/17.2.14>

Krolak-Salmon, P., Vighetto, A., & Bertrand, O. (2004). *Early Amygdala Reaction to Fear Spreading in Occipital, Temporal, and Frontal Cortex: A Depth Electrode ERP Study in Human*. 12. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(04\)00264-8](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(04)00264-8)

LaBar, K. S., & LeDoux, J. E. (1996). Partial disruption of fear conditioning in rats with unilateral amygdala damage: Correspondence with unilateral temporal lobectomy in humans. *Behavioral Neuroscience*, *110*(5), 991–997. <https://doi.org/10.1037/0735-7044.110.5.991>

LaBar, K., LeDoux, J., Spencer, D., & Phelps, E. (1995). Impaired fear conditioning following unilateral temporal lobectomy in humans. *The Journal of Neuroscience*, *15*(10), 6846–6855. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.15-10-06846.1995>

Laufer, O., & Paz, R. (2012). Monetary Loss Alters Perceptual Thresholds and Compromises Future Decisions via Amygdala and Prefrontal Networks. *Journal of Neuroscience*, *32*(18), 6304–6311. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.6281-11.2012>

LeDoux, J., Iwata, J., Cicchetti, P., & Reis, D. (1988). Different projections of the central amygdaloid nucleus mediate autonomic and behavioral correlates of conditioned fear. *The Journal of Neuroscience*, 8(7), 2517–2529. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.08-07-02517.1988>

LeDoux, J. (2003). The Emotional Brain, Fear, and the Amygdala. *Cellular and Molecular Neurobiology*, 12. <https://doi.org/10.1023/A:1025048802629>

Levitt, H. (1971). Transformed Up-Down Methods in Psychoacoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 49(2B), 467–477. <https://doi.org/10.1121/1.1912375>

Li, Z., Yan, A., Guo, K., & Li, W. (2019). Fear-Related Signals in the Primary Visual Cortex. *Current Biology*, 29(23), 4078-4083.e2. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.09.063>

Lonsdorf, T. B., Menz, M. M., Andreatta, M., Fullana, M. A., Golkar, A., Haaker, J., Heitland, I., Hermann, A., Kuhn, M., Kruse, O., Meir Drexler, S., Meulders, A., Nees, F., Pittig, A., Richter, J., Römer, S., Shiban, Y., Schmitz, A., Straube, B., ... Merz, C. J. (2017). Don't fear 'fear conditioning': Methodological considerations for the design and analysis of studies on human fear acquisition, extinction, and return of fear. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 77, 247–285. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.02.026>

Maloney, R. T. (2015). The basis of orientation decoding in human primary visual cortex: Fine- or coarse-scale biases? *Journal of Neurophysiology*, 113(1), 1–3. <https://doi.org/10.1152/jn.00196.2014>

McTeague, L. M., Gruss, L. F., & Keil, A. (2015). Aversive learning shapes neuronal orientation tuning in human visual cortex. *Nature Communications*, 6(1), 7823. <https://doi.org/10.1038/ncomms8823>

Méndez-Bértolo, C., Moratti, S., Toledano, R., Lopez-Sosa, F., Martínez-Alvarez, R., Mah, Y. H., Vuilleumier, P., Gil-Nagel, A., & Strange, B. A. (2016). A fast pathway for fear in human amygdala. *Nature Neuroscience*, *19*(8), 1041–1049. <https://doi.org/10.1038/nn.4324>

Miskovic, V., & Keil, A. (2012). Acquired fears reflected in cortical sensory processing: A review of electrophysiological studies of human classical conditioning: Acquired fears reflected in cortical sensory processing. *Psychophysiology*, *49*(9), 1230–1241. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2012.01398.x>

Nolen-Hoeksema S., Fredrickson B. L., Loftus G. R., Lutz C. (2017). *Atkinson & Hilgard's Introduzione alla psicologia*. (16. ed.) Padova: Piccin Nuova Libreria S.p.A.

Parma, V., Ferraro, S., Miller, S. S., Åhs, F., & Lundström, J. N. (2015). Enhancement of Odor Sensitivity Following Repeated Odor and Visual Fear Conditioning. *Chemical Senses*, *40*(7), 497–506. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjv033>

Phelps, E. A., & LeDoux, J. E. (2005). Contributions of the Amygdala to Emotion Processing: From Animal Models to Human Behavior. *Neuron*, *48*(2), 175–187. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2005.09.025>

Rescorla, R. A. (1968). Probability of shock in the presence and absence of cs in fear conditioning. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *66*(1), 1–5. <https://doi.org/10.1037/h0025984>

Resnik, J., Sobel, N., & Paz, R. (2011). Auditory aversive learning increases discrimination thresholds. *Nature Neuroscience*, *14*(6), 791–796. <https://doi.org/10.1038/nn.2802>

Roy, A. K., Shehzad, Z., Margulies, D. S., Kelly, A. M. C., Uddin, L. Q., Gotimer, K., Biswal, B. B., Castellanos, F. X., & Milham, M. P. (2009). Functional connectivity of the human amygdala using resting state fMRI. *NeuroImage*, 45(2), 614–626. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.11.030>

Shalev, L., Paz, R., & Avidan, G. (2018). Visual Aversive Learning Compromises Sensory Discrimination. *The Journal of Neuroscience*, 38(11), 2766–2779. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0889-17.2017>

Srinivasan, N., & Hanif, A. (2010). Global-happy and local-sad: Perceptual processing affects emotion identification. *Cognition & Emotion*, 24(6), 1062–1069. <https://doi.org/10.1080/02699930903101103>

Stegmann, Y., Andreatta, M., Pauli, P., & Wieser, M. J. (2021). Associative learning shapes visual discrimination in a web-based classical conditioning task. *Scientific Reports*, 11(1), 15762. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95200-6>

Struyf, D., Zaman, J., Hermans, D., & Vervliet, B. (2017). Gradients of fear: How perception influences fear generalization. *Behaviour Research and Therapy*, 93, 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2017.04.001>

Swisher, J. D., Gatenby, J. C., Gore, J. C., Wolfe, B. A., Moon, C.-H., Kim, S.-G., & Tong, F. (2010). Multiscale Pattern Analysis of Orientation-Selective Activity in the Primary Visual Cortex. *Journal of Neuroscience*, 30(1), 325–330. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4811-09.2010>

Tootell, R. B. H., Hadjikhani, N. K., Vanduffel, W., Liu, A. K., Mendola, J. D., Sereno, M. I., & Dale, A. M. (1998). Functional analysis of primary visual cortex (V1) in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(3), 811–817. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.3.811>

Wicker, B., Keysers, C., Plailly, J., Royet, J.-P., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2003). Both of Us Disgusted in My Insula: The Common Neural Basis of Seeing and Feeling Disgust. *Neuron*, 40(3), 655-664. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(03\)00679-2](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(03)00679-2)

Wunsch, A., Philippot, P., & Plaghki, L. (2003). Affective associative learning modifies the sensory perception of nociceptive stimuli without participant's awareness. *Pain*, 102(1), 27–38. [https://doi.org/10.1016/s0304-3959\(02\)00331-7](https://doi.org/10.1016/s0304-3959(02)00331-7)