



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
PADOVA**

Dipartimento di Psicologia Generale

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

Elaborato finale

**Effetti del condizionamento aversivo nella
discriminazione di orientazioni di stimoli
visivi**

Aversive conditioning effects on the
discrimination of orientations of visual
stimuli

Relatore:
Prof. Campana Gianluca

Correlatore:
Dott. Marco Roccato

Laureanda:
Chiara Tuzzato
Matricola: 1221869

Anno Accademico 2021-2022

Indice

1. Introduzione	3
1.1 Condizionamento	5
1.1.1 Condizionamento aversivo	6
1.1.2 Basi neurali del condizionamento aversivo visivo	7
1.1.3 Problemi di replicabilità e generalizzazione dei risultati	9
1.2 Elaborazione di orientazioni in V1	12
2. Metodo	16
2.1 Partecipanti	16
2.2 Apparato	16
2.3 Stimoli	17
2.4 Procedura	19
2.4.1 Compiti di discriminazione	19
2.4.2 Compito di condizionamento	20
2.4.3 Compito di memoria	21
2.4.4 Compito di validazione	21
3. Risultati	22
4. Discussione	27
Bibliografia	29

1. Introduzione

È stato ampiamente dimostrato che l'attivazione emotiva (anche detta *arousal*) esercita un'importante influenza sui processi cognitivi. È ancora poco chiara però la relazione tra questa e l'elaborazione dei processi sensoriali di caratteristiche elementari di ciò che percepiamo (Shalev, 2017). Il sistema visivo in particolare non è un assimilatore passivo di informazioni, ma l'esperienza ne modula la codifica di stimoli esterni (Ito & Gilbert, 1999; Shalev, 2017). Tuttavia è da definire fino a che punto la rappresentazione corticale di caratteristiche fondamentali della scena visiva come l'orientazione sia influenzabile dall'esperienza. Tale interazione è stata indagata in questo elaborato attraverso l'utilizzo del paradigma del condizionamento classico, applicato a uno studio di psicofisica, disciplina che indaga le caratteristiche e le capacità degli organi di senso tramite soglie percettive.

Il presente studio consiste in una replica parziale di uno studio di Shalev, Paz e Avidan (2018), a sua volta adattato dai modelli precedenti di Resnik, Sobel e Paz (2011) e di Laufer e Paz (2012). Lo studio di Shalev et al. (2018) è volto ad analizzare l'interazione tra condizionamento aversivo e sistemi uditivi e visivi. Gli autori hanno ipotizzato un sistema unico multimodale, capace di modulare la percezione in seguito a esposizioni a stimoli aversivi, rappresentati in questo contesto da immagini emotigene negative. In particolare l'esperimento replicato analizza l'influenza del condizionamento aversivo sulla percezione di stimoli diversamente orientati. Le ipotesi avanzate prevedono una ridotta capacità di discriminare orientazioni diverse in seguito a condizionamento. Può essere infatti conveniente a fini evolutivisti avere una minore capacità discriminativa per stimoli percepiti come minacce. Questa permette un'elaborazione delle informazioni sensoriali rapida e resistente a modificazioni, potenzialmente adattiva per la sopravvivenza (Resnik et al., 2011; Schiller, Levy, Niv, LeDoux, & Phelps, 2008). Oltre a permetterci di capire uno dei meccanismi di funzionamento del nostro sistema visivo, lo studio originale mira a uno scopo maggiore: comprendere l'apprendimento e la generalizzazione della paura. Questo permetterebbe di gettare le basi per lo sviluppo di più efficaci protocolli di trattamento per soggetti

affetti da disturbi d'ansia o disturbo da stress post-traumatico (PTSD). Lo scopo finale è quindi quello di contribuire alla messa a punto di interventi clinici applicabili a soggetti con meccanismi maladattivi di risposta alla paura, in quanto generalizzati anche a stimoli erroneamente identificati come minacce (Struyf, Zaman, Hermans & Vervliet, 2017).

In questa introduzione saranno esposti temi quali il paradigma di condizionamento aversivo nella sua forma generale, le difficoltà nella replicabilità e i risultati discordanti ottenuti da una gamma di studi. Verranno inoltre approfondite le basi neurali implicate nella regolazione dell'attivazione emotiva e nei meccanismi per la percezione dell'orientamento di stimoli nella corteccia visiva primaria.

1.1 Condizionamento

L'apprendimento è un cambiamento comportamentale conseguente all'esperienza di durata relativamente permanente, non dovuto a effetti temporanei provocati da sostanze psicoattive o dallo stato di fatica. L'apprendimento può essere non associativo, comprendente abituazione e sensibilizzazione; o associativo, di maggiore durata e complessità, in quanto comporta la comprensione di relazioni tra diversi eventi. In quest'ultima classe rientra il condizionamento, classico e operante (Labrenz, Woud, Elsenbruch & Icenhour, 2022).

Di interesse per questo studio è il condizionamento classico, in cui l'individuo apprende semplicemente che a uno specifico evento ne segue un altro. Anche detto pavloviano, il condizionamento classico è stato scoperto nel 1927, conseguentemente agli studi dell'omonimo ricercatore sul condizionamento appetitivo animale, e quindi sugli effetti di stimoli che elicitano una risposta psicofisiologica positiva. Il condizionamento prevede la presenza di uno stimolo neutro (SN) e di uno stimolo incondizionato (SI), di solito biologicamente significativo come il cibo, che comporta una risposta spontanea (detta risposta incondizionata o RI). In seguito a ripetute presentazioni abbinate di SI e SN, il soggetto sottoposto a condizionamento apprende l'associazione tra i due eventi, e quindi presenterà una risposta congruente anche in sola presenza di SN. Lo SN si è ora trasformato in uno stimolo condizionato o SC, che, in quanto tale, elicitava una risposta condizionata, anche detta RC. Quest'ultima consiste quindi in una risposta di natura anticipatoria all'eventuale comparsa dello SI. La RC può assumere una forma diversa rispetto alla RI, in quanto più complessa.

Perché avvenga condizionamento lo SI deve essere contingente allo SC, ma la sola contiguità temporale non basta. Rescorla nel 1968 ha dimostrato come lo SC debba essere un inequivocabile predittore dello SI affinché avvenga condizionamento (Nolen-Hoeksema, Fredrickson, Loftus & Lutz, 2017; Rescorla, 1968).

Vi sono diverse fasi cruciali nel condizionamento:

- **Acquisizione:** ripetute presentazioni abbinate di SC e SI, in modo da rafforzarne l'associazione nell'apprendimento;
- **Estinzione:** omettendo lo SI in ripetute presentazioni dello SC in seguito a condizionamento, la RC diminuirà gradualmente, in quanto non più predittiva dello SI;

- Recupero spontaneo: successivamente all'estinzione e a un certo intervallo di tempo di riposo, la presentazione dello SC elicitava di nuovo la risposta condizionata, anche se con un'intensità minore (Nolen-Hoeksema et al., 2017). L'estinzione infatti sembra non cancellare l'associazione tra SC e SI dalla memoria, ma piuttosto si pensa che crei una traccia mnemonica inibitoria in competizione con quella appresa in precedenza (Bouton, 2004; Myers & Davis, 2007).

Altri processi fondamentali sono la generalizzazione e la discriminazione, osservabili quotidianamente nell'apprendimento. La prima è la capacità adattiva di elicitarla la stessa RC a stimoli simili allo SC, senza la necessità di un ulteriore condizionamento. Questa risposta, funzionale anche alla sopravvivenza, può avvenire in presenza di condizionamento appetitivo o aversivo, con una probabilità direttamente proporzionale alla somiglianza degli stimoli nuovi allo SC. La discriminazione invece permette una soppressione della RC in presenza di stimoli diversi dallo SC, con l'utilizzo di rinforzi differenziali. Questi rinforzi consistono nella presentazione di due o più stimoli simili, uno condizionato e uno no. Con l'avanzare dell'esperimento, il partecipante non presenta più una RC a entrambi, ma li differenzia e mostra una RC solo dopo lo stimolo seguito dallo SI (Nolen-Hoeksema et al., 2017).

1.1.1 Condizionamento aversivo

Circa un secolo fa è stato segnato l'inizio delle ricerche sul condizionamento aversivo con lo storico studio del piccolo Albert di Watson e Rayner nel 1920, il quale apprese la paura per i topi associati a un forte e improvviso suono (Watson & Rayner, 1920).

Il condizionamento aversivo, opposto all'appetitivo, utilizza SI con valenza negativa che elicitano reazioni psicofisiologiche avverse, generalmente di dolore, paura, rabbia o disgusto. Stimoli esemplificativi sono immagini di ferite o incidenti, piccole scariche elettriche, stimoli dolorosi o stimoli uditivi molto intensi.

Un aspetto vantaggioso del modello di condizionamento è la sua proprietà di traslazione della valenza dei risultati ottenuti negli studi tra specie (un esempio sono i numerosi studi tra roditori e umani) e tra popolazioni sane e cliniche (Lonsdorf et al., 2017). Studi in etologia hanno dimostrato l'esistenza in umani e animali di predisposizioni biologiche per l'apprendimento adattivo, basato su diverse selettività di

associazioni (Nolen-Hoeksema et al., 2017). Un esempio è il condizionamento al disgusto, per cui basta anche una sola esposizione per assimilare l'associazione, mentre in altri casi non si apprende mai (Nolen-Hoeksema et al., 2017).

1.1.2 Basi neurali del condizionamento aversivo visivo

Vi sono diverse strutture neurali alla base di questo processo. In particolare l'amigdala, localizzata nella parte anteriore del lobo temporale mediale, ha un ruolo cruciale nel riconoscimento e nell'apprendimento di RC di rabbia, paura e disgusto (El-Bar, Laufer, Yoran-Hegesh & Paz, 2017). L'estinzione di queste risposte dipende invece dall'attività inibitoria della corteccia prefrontale ventromediale (CPFvm), anch'essa implicata nell'elaborazione delle emozioni (Nejati, Majdi, Salehinejad & Nitsche, 2021). Le registrazioni di potenziali elettrici dell'amigdala e della corteccia visiva di associazione in pazienti epilettici hanno dimostrato come la presentazione di volti emotigeni comporti un'elevata e rapida attivazione dell'amigdala rispetto alla corteccia visiva (Krolak-Salmon, Hénaff, Vighetto, Bertrand & Mauguère, 2004). Gli stimoli visivi possono infatti raggiungere l'amigdala mediante due differenti percorsi. Il primo trae informazioni dal sistema magnocellulare, una via di cellule del nucleo genicolato laterale del talamo (NGL) che permette all'amigdala di ricevere segnali visivi monocromatici e a bassa risoluzione. Il secondo è un percorso subcorticale, che permette un'elaborazione di informazioni visive emotigene ancora più rapida e non consapevole (LeDoux, 1996). Studi di *neuroimaging* funzionale hanno portato a pensare che le connessioni neurali tra amigdala e corteccia visiva primaria e secondaria permettano una migliore elaborazione di stimoli visivi considerati salienti (Klucken et al., 2009; Shalev et al., 2017).

L'amigdala è suddivisa in 3 tipologie di nuclei: i corticomediale, che sono posti sulla parte superiore e ricevono afferenze olfattive, il nucleo centrale e i basolaterali, che occupano la maggior parte dell'area sottostante con informazioni provenienti dal resto dei sistemi sensoriali (Shalev, 2017). I nuclei basolaterali permettono l'elaborazione di stimoli incondizionati (SI) e condizionati (SC), provenienti dal sistema somatosensoriale. Si suppone che le modificazioni sinaptiche conseguenti all'apprendimento per condizionamento avvengano almeno parzialmente in quest'area

(Carlson, 2014). Quando si viene a contatto con stimoli aversivi, il nucleo laterale si attiva, provocando una scarica anche da parte del nucleo centrale, che evoca una RI emozionale. Una volta che si associa uno stimolo neutro, le sinapsi del nucleo laterale si rinforzano secondo la legge di Hebb e il potenziamento a lungo termine (PLT), processi che permettono la plasticità neurale. La legge di Hebb prevede il rinforzo o indebolimento della connessione tra due o più neuroni, a seconda che questi si attivino contemporaneamente e ripetutamente o meno. Il PLT invece implica un aumento dell'eccitabilità del neurone per un determinato stimolo presentato ripetutamente. Questa responsività del neurone è causata da modificazioni strutturali e funzionali, tra cui un aumento della quantità di neurotrasmettitore pre-sinaptico e di recettori post-sinaptici per captarlo (Carlson, 2014).

L'amigdala è anche alla base del processo di generalizzazione della paura, e quindi della presenza di una risposta avversa anche per stimoli simili a quello inizialmente appreso come minaccia. Questo fenomeno è alla base della sopravvivenza, qualora sia necessaria una reazione rapida in presenza di stimoli nuovi; ma anche di possibili comportamenti maladattivi, elicitanti risposte avverse in assenza di reali minacce (Onat & Büchel, 2015; Resnik & Paz, 2015). Forme complesse di apprendimento e generalizzazione della paura si sviluppano dai 4 anni fino all'età adulta (Callaghan, Sullivan, Howell & Tottenham, 2014; Laufer, Israeli & Paz, 2016). Parallelamente avviene la maturazione di altre aree implicate nello stesso tipo di processi. Ne sono esempi l'ippocampo, localizzato nel lobo temporale mediale e fondamentale nella formazione di tracce mnestiche, e la corteccia prefrontale per l'organizzazione e selezione di informazioni (El-Bar et al., 2017; Glenn et al., 2012; Lau et al., 2011).

Altre aree cerebrali fondamentali nel condizionamento aversivo visivo sono: il locus coeruleus (LC), situato nel tronco encefalico e significativo per vigilanza e risposte allo stress. Il talamo, una struttura ovoidale sopra il tronco encefalico con afferenze da LC, che permette l'apprendimento del condizionamento insieme all'attività del nucleus accumbens. Quest'ultimo, situato nel proencefalo basale, è implicato nei processi cognitivi di paura, avversione e piacere (Shalev, 2017). Studi con tomografia ad emissione di positroni (PET) e risonanza magnetica funzionale (fMRI) hanno riscontrato attività cerebrale nella corteccia cingolata anteriore (ACC) e nell'insula, in seguito a condizionamento aversivo su stimoli visivi (Klucken et al., 2009; Shalev,

2017). L'ACC, situata sopra il corpo calloso nel lobo frontale, si attiva particolarmente in situazioni di stress e di ansia anticipatoria per uno stimolo aversivo. L'insula anteriore invece, una porzione di corteccia tra lobo frontale e temporale, sembra essere implicata nell'elaborazione di disgusto e dolore, in particolare durante la visione di immagini aversive (Büchel, Morris, Dolan & Friston, 1998; Klucken et al., 2009). L'effettiva interazione tra queste aree rimane comunque abbastanza sconosciuta. Dubbia è anche la connessione tra i sistemi di attivazione emotiva e quelli correlati ai processi di attenzione. Sembra infatti che questi ultimi investano un ruolo importante nella generazione della RC. In particolare è stata riscontrata attività nel circuito ventrale temporo-parietale e fronto-parietale, per la cattura automatica dell'attenzione da parte di stimoli esterni (Stegmann, Andreatta, Pauli & Wieser, 2021).

1.1.3 Problemi di replicabilità e generalizzazione dei risultati

Conseguentemente a un forte incremento dell'interesse per il paradigma di condizionamento, si è verificato un massiccio aumento di pubblicazioni nel campo: da circa 15 all'anno negli anni '90, a 300 nel recente periodo (Lonsdorf et al., 2017). Differenti laboratori hanno così sviluppato diverse procedure per lo svolgimento del paradigma di condizionamento, rendendo complesso il confronto tra dati. L'articolo di Lonsdorf et al. del 2017 riassume la discussione sulla coerenza metodologica per il protocollo di condizionamento tra esperti di 14 laboratori europei. Vi sono infatti diversi aspetti che potrebbero portare alla raccolta di dati poco accurati. Per quanto concerne gli stimoli: quelli neutri possono non essere considerati come tali dai partecipanti sottoposti all'esperimento, specialmente se si prendono in considerazione dei volti. Questi possono infatti risultare più o meno attivanti emotivamente per specifiche caratteristiche estetiche o, più in generale, per soggetti affetti da fobia sociale. Per SI visivi come immagini o spezzoni di film sono stati rilevati risultati non così consistenti (Lonsdorf et al., 2017; Pejic, Hermann, Vaitl & Stark, 2013). È importante infatti verificare l'intensità soggettiva degli SI, sottoponendo ai partecipanti questionari che permettano di investigare due diverse dimensioni dello stato emotivo. La prima indaga quanto emotivamente attivanti sono gli stimoli percepiti, ovvero *l'arousal*; la seconda è la valenza, intesa come il valore edonico dello stato emotivo, e quindi quanto piacevoli o spiacevoli sono questi stimoli. Questa fase spesso differisce tra laboratori per il tipo di

terminologia utilizzata per indicare gli estremi della scala di valutazione (ad esempio “spiacevole o piacevole”, piuttosto che “molto doloroso o non doloroso”), e per differenze di punteggio minime accettate tra SI e SN nell’analisi dei dati (Lonsdorf et al., 2017). Immagini aversive infatti non suscitano sempre una risposta emotigena universale, causando una maggiore variabilità individuale nelle risposte osservate, e quindi risultati poco omogenei (Lonsdorf et al., 2017).

Anche il contesto è molto influente nella possibile replica di un esperimento. Questo è definito da aspetti spaziali, temporali, sociali, interocettivi e cognitivi. Nell’ultima decade infatti paradigmi di ricerca virtuale hanno permesso l’indagine dell’influenza di diversi contesti nella ricerca (Huff et al., 2011; Lonsdorf et al., 2017). Altri due aspetti che influenzano il condizionamento sono denominati intervallo *inter-trial* (ITI) e intervallo inter-stimolo (ISI). Rispettivamente sono il tempo che intercorre tra la fine di una prova (*trial*) e l’inizio di un’altra, e il tempo tra lo stimolo condizionato e quello incondizionato. Per la durata di questi parametri non ci sono ancora guide univoche. Gli intervalli di presentazioni degli stimoli devono essere predeterminati sulla base della tipologia di stimolo e modalità di misurazione. Un adeguato spazio temporale tra presentazioni dovrebbe permettere al soggetto di tornare a una condizione di base. Stimoli presentati troppo rapidamente potrebbero infatti portare a una distorsione dell’ampiezza e durata degli effetti del condizionamento (Lonsdorf et al., 2017).

Un ulteriore dibattito riguarda la consapevolezza dei partecipanti della contingenza tra SC e SI, in quanto la generalizzazione della risposta emotigena varia a seconda delle loro credenze riguardo questa associazione. Secondo alcuni studiosi, infatti, informare il partecipante porta a una facilitazione dell’apprendimento del condizionamento, in quanto aumenta la consapevolezza e l’attenzione verso il paradigma di ricerca (Ahmed & Lovibond, 2015). Generalmente si ritiene che informare o meno il partecipante di essere sottoposto a condizionamento sia un fattore connesso all’attività di meccanismi neurali differenti, provocanti rispettivamente una reazione istantanea o più lenta, dipendentemente anche dal tipo di misurazioni effettuate (Atlas, Doll, Li, Daw & Phelps, 2016).

Anche a causa di queste differenze metodologiche, risulta difficile individuare meccanismi cross-modal di modulazione delle soglie percettive. Vi sono infatti studi che riportano dati contrastanti gli uni con gli altri. Alcuni sostengono che una forte

reazione psicofisiologica aumenti la sensibilità per gli stimoli condizionati, grazie a un processo di segregazione di informazioni. Ad esempio partecipanti con umore positivo o negativo misurato tramite autovalutazione hanno avuto prestazioni differenti in compiti visivi. I primi tendono infatti a prestare maggiore attenzione a scene globali piuttosto che a dettagli, rispetto a partecipanti con un umore negativo (Gasper & Clore, 2002; Srinivasan & Hanif, 2010). È stato poi individuato un aumento di attività della corteccia visiva, in risposta a stimoli in una posizione spaziale precedentemente associata a condizionamento aversivo (Friedl & Keil, 2021). Secondo Stegmann et al. (2021) vi è inoltre una migliore sintonizzazione di neuroni visivi specifici per l'orientazione in seguito a condizionamento aversivo. La causa si ritiene sia probabilmente l'attivazione del sistema attentivo durante l'apprendimento dell'associazione tra stimoli, divenuti salienti per effetto del condizionamento. Gli studi di Cano, Bezdudnaya, Swadlow e Alonso del 2006 e di Kim, Lokey e Ling del 2017 hanno confermato un aumento della sensibilità visiva al contrasto in presenza di attivazioni emotive in umani e conigli. Hanno ipotizzato che i sistemi di percezione in uno stato di attivazione psicofisiologica siano "liberati" da meccanismi inibitori, permettendo così una maggiore sensibilità. Quest'ultima avrebbe infatti, secondo questi studiosi, scopo adattivo perché permette una migliore elaborazione di stimoli che potrebbero rappresentare una minaccia per la sopravvivenza (Cano, Bezdudnaya, Swadlow & Alonso, 2006; Kim, Lokey & Ling, 2017).

Al contrario, altri studi hanno riportato una diminuzione della sensibilità per gli SC, favorendo teorie di generalizzazione degli stimoli. Si è osservato infatti un aumento della soglia differenziale, e quindi una minore sensibilità nella discriminazione di stimoli, in seguito a condizionamento per la perdita monetaria (Laufer & Paz, 2012) e a condizionamento uditivo aversivo (Resnik et al., 2011). Sulla base di questi dati, si è ipotizzato un abbassamento o innalzamento di soglia differenziale in seguito a condizionamento, dipendentemente dal tipo di SC e dalla sua presentazione (Bolders, Band & Stallen, 2017). È stata riscontrata ad esempio una migliore sensibilità per un odore in seguito ad apprendimento aversivo, rispetto a un suono o stimolo visivo (Parma, Ferraro, Miller, Åhs & Lundström, 2015). L'aumento e la diminuzione della soglia differenziale sembrano inoltre coesistere dipendentemente dal tipo di elaborazione effettuata dall'amigdala. Secondo uno studio di Aizenberg e Geffen del

2013, l'acuità della discriminazione sensoriale dipende dalla specificità dell'apprendimento. Quindi se la risposta appresa è legata solo a specifici stimoli condizionati, avremmo un aumento della sensibilità percettiva; mentre se la risposta è generalizzata a una gamma di stimoli avremmo una diminuzione della sensibilità. Una generalizzazione degli stimoli aversivi, e quindi una minore capacità discriminativa di stimoli simili a quelli condizionati, può infine anche dipendere dal singolo soggetto considerato, qualora questo soffra di disturbi d'ansia o PTSD. Questi disturbi infatti aumentano la predisposizione a reazioni aversive causate da bias cognitivi, anche in presenza di stimoli non rappresentanti minacce (Laufer et al., 2016).

1.2 Elaborazione di orientazioni in V1

Il nucleo genicolato laterale del talamo (NGL), attraverso quella che viene chiamata radiazione ottica, proietta i suoi assoni alla corteccia visiva primaria (area 17 di Brodmann) che si trova nel lobo occipitale, attorno e in corrispondenza della scissura calcarina. Questa zona corticale, comunemente detta V1 o corteccia striata, ha uno spessore di 2 millimetri ed è caratterizzata da una rappresentazione retinotopica e un fattore di magnificazione corticale. Ciò permette agli stimoli presenti in corrispondenza della fovea nel campo visivo di essere rappresentati più ampiamente e dettagliatamente nella corteccia. V1 è suddivisa in 6 strati, che vengono numerati a partire dalla sostanza grigia con i numeri romani I, II, III, IV, V, VI. Successivamente ne sono stati individuati altri 3, ma per mantenere la convenzionale suddivisione della neocorteccia in 6 lamine di Brodmann, i tre aggiuntivi sono stati introdotti come sotto-strati della quarta lamina, chiamati IVA, IVB, IVC α e IVC β (Tootell et al., 1998). La corteccia visiva primaria è caratterizzata dalla presenza di ipercolonne, blocchi di 1 mm ognuno contenente circa 100.000 neuroni, tutte rispondenti a una stessa parte del campo visivo. Ogni ipercolonna possiede colonne di dominanza oculare, ovvero bande di cellule alternate con dominanza delle informazioni provenienti dall'occhio ipsilaterale o controlaterale. Ipercolonne vicine rispondono a parti adiacenti della retina e permettono "tutti i meccanismi necessari per le analisi che la corteccia striata viene chiamata ad eseguire, in una determinata e minuscola parte del campo visivo" (Hubel, 1982). In

particolare elaborano separatamente frequenze spaziali, orientazione, movimento, contrasto, profondità e lunghezze d'onda (Sarti, Citti & Petitot, 2008).

Al centro delle colonne di dominanza oculare sono presenti i blob, porzioni di strati II e III sensibili ai colori. Intorno a questi sono state individuate subcolonne selettive per diverse orientazioni di stimoli visivi, ognuna responsiva per un'orientazione diversa. Colonne vicine rispondono a orientazioni simili, e man mano che si considerano colonne più distanti spazialmente nella corteccia, aumenta anche la differenza di orientazione cui sono sensibili. Tutti gli orientamenti sono compresi in una distanza di 0.5 mm (Espinosa & Stryker, 2012; Li et al., 2019). Negli stessi strati II e III le regioni interblob si attivano per elaborare informazioni di binocularità, alte frequenze spaziali e orientamento. Le cellule dello strato IVB invece sono sensibili all'orientazione, alla direzione di movimento e alla disparità binoculare. Sono presenti inoltre bande concentriche di neuroni selettive per diverse frequenze spaziali, e quindi diverse larghezze tra barre. Nella parte esterna del campo recettivo ci sono neuroni che rispondono a frequenze spaziali alte, che poi vanno diminuendosi verso il centro (Espinosa & Stryker, 2012; Li et al., 2019).

La maggior parte dei campi recettivi della retina e del NGL sono concentrici ad antagonismo centro-periferia, e in quanto tali rispondono a stimoli puntiformi. Questi stimoli cadono su una zona "ON", cui corrisponde l'aumento della scarica neuronale, o una "OFF", con conseguente inibizione di scarica. Queste cellule sono dette a centro ON, con corrispondente periferia OFF, qualora si depolarizzano, e quindi creino un potenziale d'azione, quando un punto di luce sarà proiettato al centro del campo recettivo. Ci sono tuttavia alcuni neuroni nello strato esterno di IVC responsivi a barre di luce o di ombra che attraversano il loro campo recettivo. Hubel e Wiesel, tramite registrazioni intracellulari in V1 di gatti, hanno individuato tre tipologie di queste cellule presenti in ogni colonna di orientamento: semplici, complesse e ipercomplesse (Hubel & Wiesel, 1965).

Le cellule semplici hanno campi recettivi ad antagonismo centro-periferia binoculari e allungati, sensibili a una specifica orientazione e posizione nel campo recettivo dello stimolo, predicibile dalla disposizione delle aree ON e OFF. Le soglie di orientazione sono piccole, di pochi gradi, e si abbassano per orientazioni vicine all'asse orizzontale e verticale, poiché pare che ci siano più cellule per la codifica di queste orientazioni

cardinali. Tanto più ci si allontana dall'orientazione preferita, tanto meno la cellula risponde, quindi questa è sensibile in maniera ridotta anche a orientazioni non troppo dissimili da quella preferita. Secondo Hubel e Wiesel, la struttura di una cellula semplice sarebbe caratterizzata dalla somma dei segnali provenienti da tre o più cellule allineate e consecutive del NGL (Hubel & Wiesel, 1965).

Le cellule complesse invece presentano campi recettivi binoculari orientati, ma di maggiori dimensioni e senza inibizione periferica. Sono quindi sensibili a una direzione di movimento ortogonale all'orientazione preferita e all'orientazione degli stimoli. Hubel e Wiesel hanno ipotizzato che la struttura di questi neuroni fosse il risultato della combinazione di segnali provenienti da cellule semplici, allineate e sovrapposte tra loro, tutte con la stessa sensibilità all'orientazione. Questa sovrapposizione implica che a una parte della cellula a risposta ON corrisponda sotto una parte di un'altra cellula a risposta OFF e viceversa, in modo che in ogni posizione ci siano entrambe le condizioni di attivazione dei campi recettivi. Ciò porta a connessioni eccitatorie delle cellule semplici, per cui barre in qualunque posizione e nella giusta orientazione permettono una risposta complessiva eccitatoria. (Hubel & Wiesel, 1965).

Infine sono state individuate le cellule ipercomplesse, anche dette a inibizione terminale o "*end-stopping*". Queste hanno campi recettivi ancora più ampi, orientati e sensibili a direzioni di movimento. Sono rispondenti però solo a barre di una lunghezza limitata, corrispondente a quella dei loro campi recettivi. Quindi più la dimensione dello stimolo aumenta o diminuisce rispetto al campo recettivo, più la risposta neurale diminuisce. Questo meccanismo a inibizione terminale è basato sull'ipotesi di più cellule complesse allineate a formarne una ipercomplessa. Un esempio potrebbe essere la somma di un segnale eccitatorio di una cellula complessa centrale e di quelli inibitori di due cellule periferiche. Se quindi la barra presa in considerazione uscisse dalla zona centrale della cellula ipercomplessa, si verificherebbe una minor risposta da parte di questa (Hubel & Wiesel, 1965).

La struttura di cellule semplici, complesse e ipercomplesse, definite da Hubel e Wiesel detettori di linee, è tutt'oggi argomento di dibattito. Studi di De Valois e Skottun alla fine del 1900 hanno mostrato zone additive nei campi recettivi di queste cellule (Martinez & Alonso, 2003). Si prenda come esempio una cellula semplice a centro ON, questa avrà due lati più esterni OFF e due ulteriori lati periferici ON. I campi recettivi di

queste cellule, chiamate detettori di frequenze, saranno quindi delle piccole chiazze di onde sinusoidali dette *Wavelet* o *Gabor* (Ringach, 2002). Scene complesse possono infatti essere scomposte in piccole porzioni di onde sinusoidali, di diversa orientazione e frequenza spaziale (e quindi larghezza delle barre). L'elaborazione delle immagini parte dalle frequenze basse, da cui si ottiene un'immagine sfocata; prosegue con quelle medie, che innescano processi di riconoscimento degli oggetti; e termina con quelle alte che permettono un'elaborazione dei dettagli della scena visiva. Queste cellule di V1 però non effettuano una detezione di bordi o barre come si pensava in precedenza, ma semplicemente misurano le frequenze in cui avvengono le maggiori variazioni di luminanza delle onde sinusoidali. Ciò permette una più rapida ed efficiente trasmissione di informazioni rispetto a una ipotetica detezione di barre. Questa misurazione, al contrario di come avevano ipotizzato Hubel e Wiesel, avviene per mezzo di una popolazione di neuroni, e quindi di ipercolonne che contengono in parallelo tutte le cellule selettive per una determinata frequenza spaziale e orientazione. Tuttavia la discussione sulla struttura di queste cellule rimane ancora aperta (Everson et al., 1998).

2. METODO

2.1 Partecipanti

In totale 22 partecipanti (9 maschi e 11 femmine tra i 21 e i 29 anni, con una media di 24.6 anni) hanno preso parte all'esperimento, composto da due sessioni a distanza di 24 ore, della durata di 30 e 15 minuti rispettivamente. Ognuno ha letto, compreso e firmato un consenso informato. L'anonimato è stato garantito tramite l'assegnazione di un codice alfanumerico. I partecipanti sono stati divisi in quattro gruppi bilanciati, ognuno assegnato a una condizione sperimentale differente: una di controllo, con stimoli incondizionati neutri, e una sperimentale con SI aversivi. Questi due gruppi a loro volta sono stati suddivisi in base all'orientazione condizionata (verticale o orizzontale) degli SN, in questo esperimento rappresentati da barre nere differentemente orientate. L'esperimento ha ottenuto l'approvazione del Comitato Etico di Psicologia dell'Università di Padova prima della somministrazione.

2.2 Apparato

Per la programmazione del codice dei compiti presentati durante l'esperimento è stato utilizzato *JsPsych*, una libreria di JavaScript che permette la creazione e l'esecuzione di esperimenti in un *web browser* (de Leeuw, J. R. (2015). *jsPsych: A JavaScript library for creating behavioral experiments in a web browser*. *Behavior Research Methods*, 47(1), 1-12. doi:10.3758/s13428-014-0458-y). Questa libreria permette l'utilizzo di *plugin*, e quindi di comandi che estendono le funzionalità di *JsPsych*, per la programmazione su un *framework* flessibile di esperimenti da laboratorio eseguibili online.

Le sessioni sono state svolte al computer in un laboratorio del Dipartimento di Psicologia Generale di Padova. All'inizio dell'esperimento è stato chiesto ai partecipanti di porsi ad una distanza di 57 cm dallo schermo del computer, e di mantenerla per tutta la durata dell'esperimento. La stanza è stata mantenuta in una condizione di scarsa luminosità, cui i partecipanti si sono abituati grazie a un breve periodo di adattamento (circa 3 minuti). Prima di iniziare ad eseguire i compiti richiesti, ogni partecipante ha dovuto inserire l'età e le proprie iniziali per la generazione di un

codice, e ricalibrare la figura di un rettangolo sullo schermo alla dimensione di una carta di credito di 85.6 mm di larghezza e 53.98 mm di altezza. Quest'ultimo passaggio è stato inserito con lo scopo di mantenere costanti nelle dimensioni gli stimoli che verranno presentati, indipendentemente dal tipo di schermo, per una futura applicazione online dell'esperimento. L'analisi dei dati è stata infine implementata tramite i software Excel (2016), R (R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>) e Jamovi (The jamovi project (2021) e jamovi (Version 1.6). Retrieved from <https://www.jamovi.org>).

2.3 Stimoli

Prima di analizzare gli stimoli utilizzati, è necessario introdurre brevemente la procedura di questo esperimento. Questa ha seguito le stesse cinque fasi indicate dall'articolo di riferimento di Shalev et al. del 2018: una prima discriminazione seguita da condizionamento, una seconda discriminazione, una fase di memoria e infine una di validazione. Si può quindi identificare una prima fase di discriminazione, in cui i partecipanti hanno dovuto indicare tra coppie di barre qual è quella maggiormente inclinata in senso orario. Questa ha avuto lo scopo di raccogliere i dati per ricavare le capacità discriminative pre-condizionamento dei partecipanti. Successivamente, nella fase di condizionamento sono state associate barre orientate in orizzontale o verticale, indipendentemente dall'angolo di inclinazione, a immagini aversive (nel gruppo sperimentale) o neutre (nel gruppo di controllo). La terza fase consiste in un ulteriore compito di discriminazione, identico al primo ma finalizzato alla rilevazione di capacità discriminative post-condizionamento. Nella quarta fase è stato richiesto al partecipante di osservare delle immagini e indicare se le avesse già viste o meno nella fase di condizionamento, in modo da testare quanto questo abbia prestato attenzione. L'ultima fase infine è la validazione, in cui è stato chiesto ai partecipanti di valutare su una scala da 1 a 9 quanto intensa fosse l'emozione provata nell'osservazione delle immagini presentate.

Nei compiti di discriminazione gli stimoli utilizzati sono coppie di barre nere presentate in sequenza, orientate entrambe orizzontalmente o verticalmente.

Queste barre sono state presentate al centro dello schermo con una dimensione di 60 X 7 mm, corrispondenti a 153 X 18 pixel e, per la lunghezza, ad un angolo visivo di 5.72°. In ogni prova le due barre differiscono per angolo di inclinazione. Una è caratterizzata da un certo grado x di rotazione della barra da una linea base di orientamento (verticale o orizzontale). L'altra da un grado di rotazione $x + \Delta x$, ovvero da una predeterminata differenza di inclinazione (Δx) rispetto a x . Il Δx è quindi la differenza tra il valore variabile di inclinazione ($x + \Delta x$) e quello fisso (x). In ogni coppia di barre questa differenza è stata programmata per partire da 5° ed essere modificata in base alla prestazione del partecipante (procedura anche detta adattiva o *tailored test*). Nessuna barra è direttamente orizzontale o verticale, poiché in tal caso sarebbe troppo semplice per i partecipanti discriminare i cambiamenti di inclinazione. Perciò x è inclinato di $\pm 2^\circ$ rispetto all'asse verticale o orizzontale. Nelle fasi di discriminazione degli stimoli, ogni prova è cominciata con la presentazione di una barra nera per 0.3 secondi, poi un rumore bianco al centro dello schermo per 1.3 secondi, seguito dalla seconda barra per 0.3 secondi (Shalev et al., 2018). Il rumore bianco ha svolto una funzione di mascheramento, fenomeno per cui la percezione di uno stimolo bersaglio viene interrotta o ostacolata dalla presenza di un altro stimolo, definito maschera, presentato subito dopo (Kahneman, 1968). Il rumore bianco ha assunto quindi il ruolo di maschera in questione, con lo scopo di distribuire l'attenzione del partecipante sullo schermo.

Nella fase di condizionamento, le barre orientate in orizzontale o verticale sono state seguite da schermo bianco (CS-), o da un'immagine emotivamente aversiva per il gruppo sperimentale o neutra per quello di controllo (CS+). La sigla CS- sta ad indicare una condizione elicitante una risposta inibitoria, in cui gli stimoli condizionati non sono mai seguiti dalla presentazione di quelli incondizionati. La sigla CS+ invece si utilizza per riferirsi a condizioni in cui SC sono sempre seguiti da SI, con conseguente risposta eccitatoria. Le immagini utilizzate sono state ricavate dal *database IAPS (International Affective Picture System, Lang, Bradley & Cuthbert, 1997)*. È stato considerato un totale di 100 immagini per questo esperimento. Una metà di queste sono aversive e includono ad esempio scene di lesioni, crimini e incidenti. L'altra metà invece è stata valutata come neutra, con immagini come paesaggi, oggetti comuni e persone (Shalev et al., 2018). Le immagini sono sempre state presentate al centro dello schermo e con un numero bilanciato di facce e parti del corpo per le condizioni di controllo e

sperimentale. Nello specifico, le immagini selezionate dal *database* IAPS sono le stesse indicate dall'articolo originale di Shalev et al. (2018):

- immagini aversive: 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;
- immagini neutre: 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.

2.4 Procedura

2.4.1. Compiti di discriminazione

Come menzionato nella sezione precedente, la procedura della prima sessione di questo esperimento è suddivisibile in cinque fasi: una prima di discriminazione, una fase di condizionamento, una seconda discriminazione, una fase di memoria e una di validazione di immagini aversive e neutre. Nello specifico, nei compiti di discriminazione i partecipanti hanno eseguito una scelta forzata tra due alternative (anche detta *two-alternative forced choice*, 2AFC). Questa ha permesso di determinare la differenza minima tra due stimoli percepibile da ogni partecipante (chiamata anche soglia differenziale o *just noticeable difference*, JND). Nella fase di discriminazione ogni prova consiste nella presentazione di una coppia di barre verticali o orizzontali in ordine randomizzato, differenti tra loro solo per angolo di inclinazione. Una delle due barre è sempre presentata a 2° o 92°, mentre l'altra presenta un Δx iniziale di 5°, che varia dipendentemente dalle risposte del partecipante. Lo *step size* utilizzato parte da 1.0° e si dimezza di volta in volta, passando da 0.5° a 0.25°, 0.125°, 0.0625° e infine 0.0312°. Durante ogni prova è stato chiesto ai partecipanti di indicare, premendo il tasto "A" o "L", quale delle due barre presentate fosse maggiormente inclinata in senso orario. Ciò in un intervallo massimo di 10 secondi, senza ricevere alcun *feedback*, fatta eccezione per una breve fase di pratica iniziale.

Sono state effettuate 3 fasi di discriminazione: una precedente e una immediatamente successiva a quella di condizionamento, per confrontare le soglie pre e post-condizionamento di ogni partecipante. La terza è stata effettuata dopo 24 ore, per verificare se l'effetto del condizionamento sulle soglie percettive fosse ancora presente. In queste fasi è stata utilizzata una scala adattiva *two-down one-up* (Levitt, 1971) per modificare l'ampiezza di Δx , e quindi la differenza di orientazione tra le due barre, che viene ridotta dopo due risposte corrette del partecipante e aumentata dopo una errata. Queste fasi di discriminazione hanno lo scopo di individuare un parametro (Δx) delle barre, costituito dalla differenza di inclinazione per cui lo stimolo $x + \Delta x$ verrà correttamente discriminato da x con una percentuale di probabilità del 70.7% (Levitt, 1971; Shalev et al., 2018). La durata della scala è determinata dal numero di *reversal* scelto. I *reversal* costituiscono la transizione da coppie di risposte contigue corrette a una errata o viceversa. I *reversal* comportano quindi un aumento o una diminuzione di passo nella scala, ovvero di cambiamento di inclinazione degli stimoli. La media dei valori degli stimoli che compongono ogni *reversal* rappresenta la soglia (García-Pérez, 2011).

Precedentemente alla prima e alla terza fase di discriminazione è stata effettuata una breve prova di pratica, con lo scopo di far esercitare i partecipanti e assicurarsi che sia stato ben compreso il compito. La pratica è durata 6 prove nei primi 8 partecipanti, seguita da compiti di discriminazione della durata di 12 *reversal*. Successivamente la fase di pratica è stata allungata a 20 prove, seguita da compiti di discriminazione della durata di 8 *reversal*, in modo da ridurre la lunghezza altrimenti eccessiva di queste fasi. Non è stato quindi seguito il parametro di interruzione dell'esperimento dopo 6 errori come indicato dallo studio di Shalev et al. (2018), in quanto il compito non sarebbe durato a sufficienza per determinare soglie attendibili.

2.4.2 Compito di condizionamento

In questa fase ogni prova comincia con una croce di fissazione al centro dello schermo, seguita dalla presentazione di una barra (SN), assegnata alla condizione CS+ o a CS-. Questo blocco presenta 30 possibili condizioni CS+ e 30 CS-, bilanciate in maniera randomizzata in ogni partecipante. Il SN è seguito quindi da un'immagine neutra o

emotigena per gli stimoli CS+ o dallo schermo bianco per quelli categorizzati come CS-, con una contingenza tra SN e SI del 100%.

Le barre in questa fase sono state presentate per 1 secondo, seguite da una croce di fissazione per 2 secondi e un'immagine (SI) per 200 millisecondi, con un intervallo tra prove (anche detto *inter-trial interval* o ITI) di 2-3 secondi. Al termine della fase di condizionamento, ai partecipanti è stato chiesto tramite una domanda aperta se avessero notato qualche associazione tra la presentazione di barre e le immagini che le seguono (Shalev et al., 2018).

2.4.3. Compito di memoria

Durante questa fase sono state presentate 20 immagini: 10 già viste nella fase di condizionamento e 10 nuove, appartenenti alla stessa categoria (aversiva o neutra) attribuita al singolo partecipante nella fase di condizionamento. Per ogni immagine i partecipanti hanno dovuto indicare se queste fossero già state viste o meno, premendo rispettivamente i tasti "Y" o "N". Tale fase ha lo scopo di ottenere un criterio per l'esclusione a priori di partecipanti che non sembrano aver posto sufficiente attenzione al condizionamento, e che quindi potrebbero intaccare la validità dei dati. Infatti coloro che hanno presentato un punteggio basso in questa fase (indicato dallo studio originale di Shalev et al. del 2018 come il 55% di risposte corrette) sono stati esclusi dall'analisi dei dati.

2.4.4. Compito di validazione

In questa fase dell'esperimento sono state presentate 40 immagini, composte da tutte quelle facenti parte della fase di condizionamento e da 10 ulteriori, selezionate randomicamente dalla categoria non utilizzata nel condizionamento. Ciò ha permesso di confrontare le differenze di punteggi tra immagini aversive e neutre del singolo partecipante. Questa fase è finalizzata a validare e quantificare il livello di attivazione emotiva sperimentata per ogni immagine del condizionamento. Per ognuna di queste è stata valutata l'intensità dell'emozione percepita su una scala visuo-analogica (VAS), con estremi 1 (indicante "per nulla") e 9 ("molto").

3 Risultati

Ai fini dell'analisi dei dati, due partecipanti provenienti dal gruppo di controllo sono stati esclusi a causa di valori estremi nelle soglie di discriminazione registrate.

Alcuni criteri di esclusione sono stati modificati rispetto allo studio originale. Per quanto riguarda il riconoscimento da parte dei partecipanti della contingenza tra SN e SI, sono stati attribuiti punteggi da 0 a 2 a ognuno. "0" per coloro che non hanno notato nessuna associazione, "1" per l'accorgimento della presenza di un modello che però non corrisponde alla manipolazione sperimentale, e "2" per risposte che riportavano correttamente l'orientazione verticale o orizzontale delle barre associate alle immagini. Al contrario di quanto indicato dagli autori dell'articolo di riferimento, anche i partecipanti che non hanno individuato correttamente la struttura del condizionamento sono stati considerati nell'analisi dei dati. Non è stato infatti ritenuto strettamente necessario che fossero coscienti della manipolazione per mostrare gli effetti del condizionamento. Come descritto in precedenza, l'influenza di questa consapevolezza dipende anche dalla tipologia di studio e di stimoli presentati. Si può infatti osservare l'attivazione di aree cerebrali deputate all'elaborazione di stimoli emotigeni, in particolare dell'amigdala, anche indipendentemente dalla consapevolezza (Atlas et al., 2016; Carlson, 2014). Esperimenti su animali hanno inoltre dimostrato come non sia spesso possibile sopprimere le RC, nonostante il potenziale ruolo maladattivo che potrebbero assumere in specifici contesti (Lovibond, 2002).

Il test di memoria è stato superato da tutti i partecipanti, i quali hanno dimostrato di aver prestato sufficiente attenzione alle immagini durante il condizionamento. Questi hanno infatti riconosciuto correttamente una percentuale superiore al 55% delle immagini mostrate nel compito di memoria. Per quanto concerne invece la fase di validazione sono state riscontrate medie di 3.35 per il gruppo di controllo e di 5.68 per quello sperimentale, quindi si può dire che ci sia una un'effettiva differenza tra gruppi nella valutazione di immagini aversive e neutre. In seguito a questi primi accertamenti, i dati riguardanti le fasi di discriminazione sono stati divisi per gruppo di controllo o sperimentale, e organizzati sulla base di orientazione verticale o orizzontale e fase di pre o post-condizionamento (*figura 1*). Nelle *tabelle 1* e *2* sono stati riportati,

rispettivamente per gruppo di controllo e sperimentale, errori standard, medie, e deviazioni standard di Δx .

Gruppo di controllo	<i>Baseline orizzontale</i>	<i>Post-condizionamento orizzontale</i>	<i>Baseline verticale</i>	<i>Post-condizionamento verticale</i>
<i>Media</i>	1.24°	0.73°	1,19°	0.75°
<i>SD</i>	0,88°	0,23°	0.65°	0.55°
<i>SE</i>	0.28°	0.07°	0.20°	0.18°

Tabella 1. Valori medi di Δx nel gruppo di controllo, con annessi errori standard (SE) e deviazioni standard (SD), separati per orientazione verticale o orizzontale delle barre e fase di discriminazione pre o post-condizionamento.

Gruppo sperimentale	<i>Baseline orizzontale</i>	<i>Post-condizionamento orizzontale</i>	<i>Baseline verticale</i>	<i>Post-condizionamento verticale</i>
<i>Media</i>	0.89°	0.54°	1.29°	0.68°
<i>SD</i>	0.71°	0.48°	0.83°	0.22°
<i>SE</i>	0.22°	0.15°	0.26°	0.07°

Tabella 2. Valori medi di Δx nel gruppo sperimentale, con annessi errori standard (SE) e deviazioni standard (SD), separati per orientazione verticale o orizzontale delle barre e fase di discriminazione pre o post-condizionamento.

È stata poi ottenuta la percentuale di cambiamento delle soglie grezze, calcolate sulle mediane dei Δx nella seconda metà delle prove. Questa percentuale è la differenza tra la soglia pre e post-condizionamento, calcolata sottraendo per ogni soggetto la soglia pre-condizionamento a quella post, e dividendone il risultato per la prima soglia. I valori sono stati riportati separatamente in base al gruppo di appartenenza (sperimentale o di controllo) e al tipo di stimoli (CS+, CS-). Considerando il gruppo di controllo e gli stimoli CS+ è stata ottenuta una media di -30.06% (SD: 49.62%; SE: 15.69%), mentre con CS- si registra una media di 5.74% (SD: 104.58%; SE: 33.07%). Nel gruppo sperimentale invece gli stimoli CS+ hanno una media di -21.86% (SD: 79.82%; SE: 25.24%), e CS- di -6.38%, (SD: 82.70%; SE: 26.15%). Una stima delle medie marginali, considerante la relazione tra i gruppi sperimentale e di controllo e l'effetto del tempo, ha riportato come in entrambi vi sia una diminuzione di Δx nella fase di post-condizionamento rispetto a quella precedente (*figura2*).

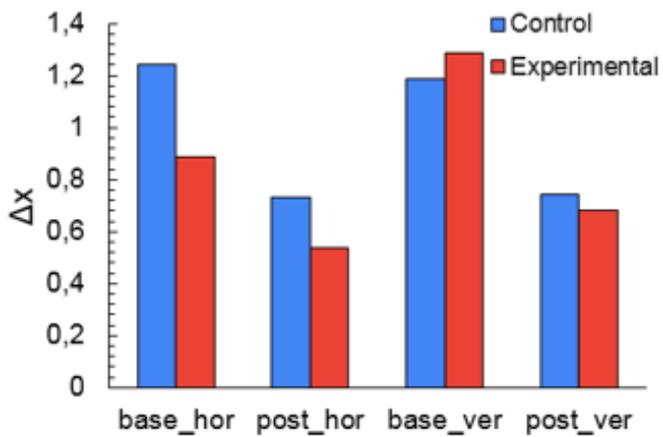


Figura 1. Variazioni tra gruppi di Δx dipendentemente dall'orientazione delle barre e compito di discriminazione pre e post-condizionamento

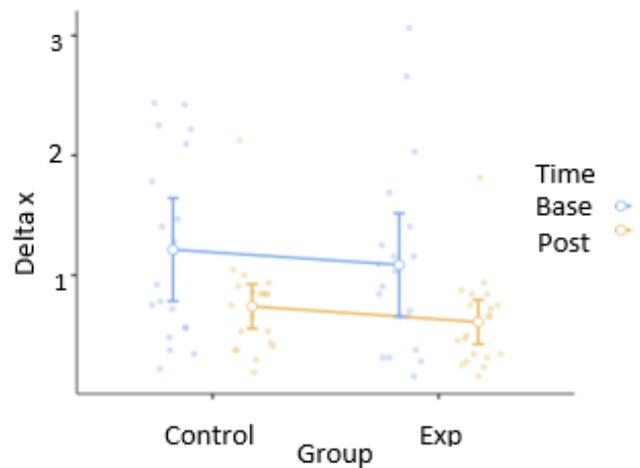


Figura 2. Variazioni tra gruppi di Δx dipendentemente dall'effetto del tempo

Successivamente sono state eseguite analisi inferenziali sia sui valori di Δx che sulla percentuale di cambiamento. Per quanto concerne Δx è stata svolta un'ANOVA a misure ripetute entro i soggetti, per verificare gli effetti di: tempo ($F_{1,18} = 16.95$, $p = < .001$, $\eta^2 p = 0.48498$), e quindi della pratica; del tempo dipendentemente dal gruppo di appartenenza dei partecipanti ($F_{1,18} = 0.00031$, $p = 0.986$, $\eta^2 p = 0.00002$); dell'orientazione degli SN ($F_{1,18} = 1.59081$, $p = 0.223$, $\eta^2 p = 0.08120$) e dell'orientazione separata per gruppo sperimentale o di controllo ($F_{1,18} = 2.19072$, $p = 0.156$, $\eta^2 p = 0.10850$). Allo stesso modo è stato indagato l'effetto del tempo per l'orientazione degli SN ($F_{1,18} = 0.13565$, $p = 0.717$, $\eta^2 p = 0.00748$); e infine del tempo per orientazione degli SN e per gruppi ($F_{1,18} = 0.38978$, $p = 0.540$, $\eta^2 p = 0.02120$). È stata poi effettuata un'ANOVA a misure ripetute tra soggetti per vedere se ci fosse un'interazione tra gruppo sperimentale e di controllo ($F_{1,18} = 0.45422$, $p = 0.509$, $\eta^2 p = 0.02461$). L'unico risultato significativo tra le analisi inferenziali sopracitate sembra essere stato il tempo, per cui è stata poi eseguita un'analisi a posteriori per compararne l'effetto pre e post-condizionamento con un t test a misure ripetute ($t_{(18)} = 4.11709$, $p = < .001$).

Per quanto riguarda invece le statistiche inferenziali effettuate sulla percentuale di cambiamento, è stata utilizzata un'ANOVA a misure ripetute entro i soggetti per verificare gli effetti del condizionamento ($F_{(1,18)} = 0.97614$, $p = 0.336$, $\eta^2 p = 0.05144$) e del condizionamento dipendentemente dal gruppo di appartenenza dei partecipanti ($F_{(1,8)} = 0.15320$, $p = 0.700$, $\eta^2 p = 0.00844$). Allo stesso modo è stata indagata un'interazione tra gruppo di controllo e sperimentale ($F_{(1,18)} = 0.00586$, $p = 0.940$, $\eta^2 p =$

0.00033), ma non sono stati riscontrati risultati significativi in nessuna delle tre analisi. La stima delle medie marginali dell'effetto incrociato tra gruppo di appartenenza e condizionamento ha mostrato come in entrambi i gruppi CS+ ha valori minori rispetto a CS-, soprattutto nel controllo (*figura 3*). Nella *figura 4* si può osservare come variano i Δx nei gruppi di controllo e sperimentale, in base a CS+ o CS-, nella fase antecedente o successiva al condizionamento.

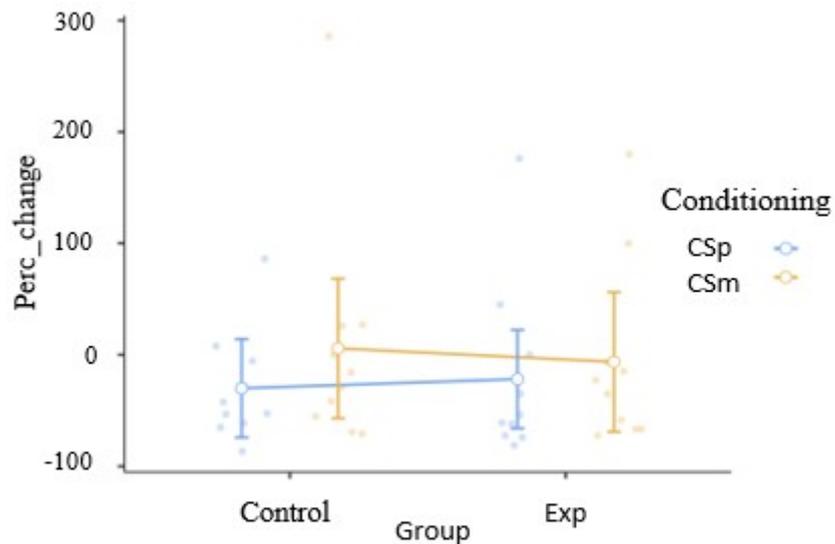


Figura 3. Percentuale di cambiamento delle soglie tra gruppi per CS+ e CS-

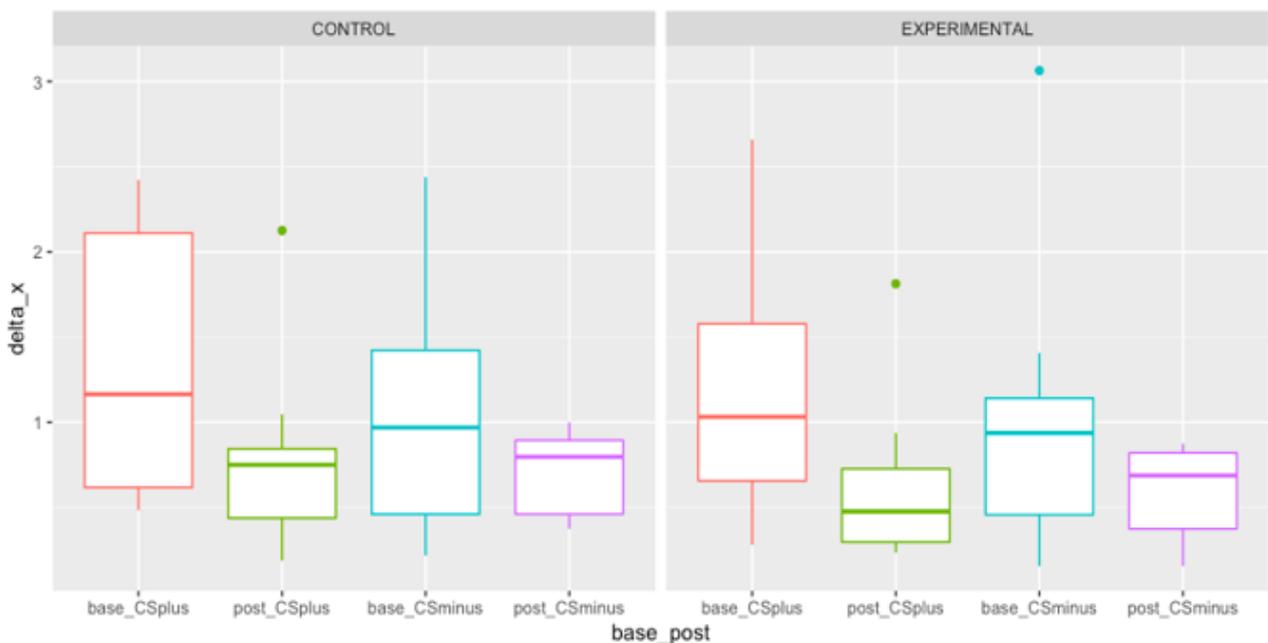


Figura 4. Variazioni tra gruppi di Δx per CS+ e CS-, sia pre che post-condizionamento

Sono stati poi confrontati cambiamenti di soglia della fase di discriminazione sia nel post-condizionamento immediato che dopo 24 ore, rispetto alla soglia pre-condizionamento. I valori ottenuti nella prima sessione post-condizionamento sono -3.78% e -21.66%, rispettivamente per CS- e CS+ del gruppo sperimentale, e di 7.67% e -31.68% per CS- e CS+ nel gruppo di controllo. Nella sessione di discriminazione post-condizionamento dopo 24 ore, invece, sono state ottenute differenze di -19.09% e -31.31% per CS- e CS+ del gruppo sperimentale, e di 25.18% e -34.97% per CS- e CS+ del gruppo di controllo. È stata quindi individuato lo stesso *trend* dell'effetto di condizionamento in entrambe le sessioni di discriminazione post, anche se con maggiori differenze dopo 24 h, come indicato nelle *figure 5 A e B*

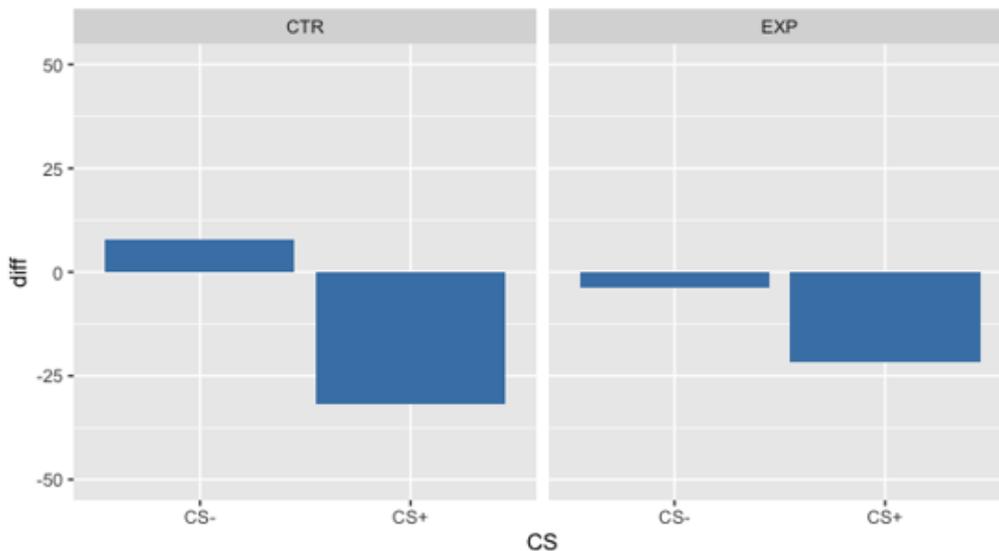


Figura 5 (A). Differenze percentuali delle soglie post-condizionamento rispetto a quelle pre-condizionamento, per CS+ e CS- e gruppo sperimentale e di controllo

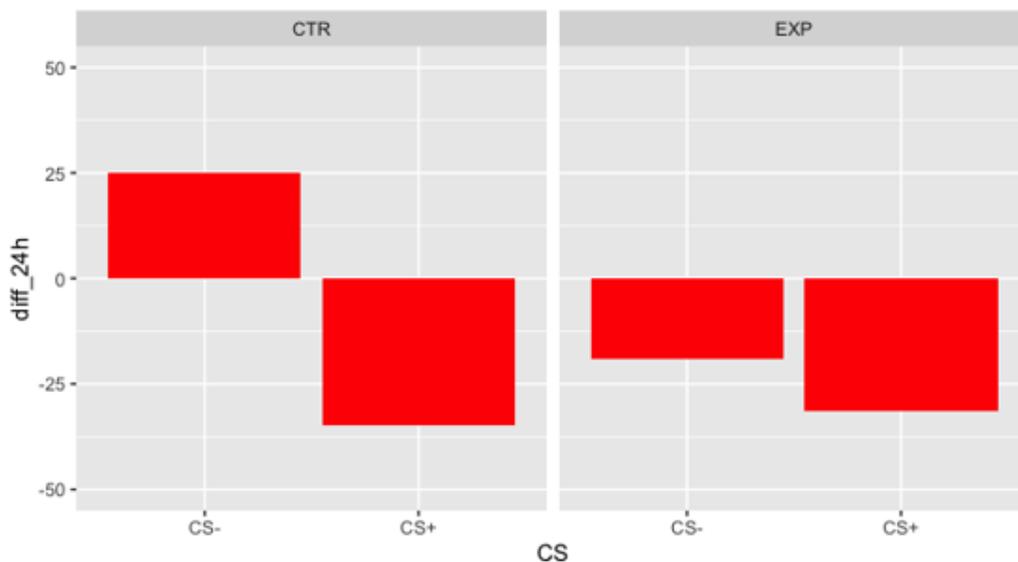


Figura 5 (B). Differenze percentuali tra gruppi delle soglie condizionate dopo 24h per CS+ e CS-

4 Discussione

I dati raccolti mostrano un miglioramento della capacità dei partecipanti di individuare correttamente la barra più orientata, sia nel gruppo sperimentale che di controllo. Sono stati infatti rilevati Δx minori nella fase di discriminazione post-condizionamento, anche a causa di un effetto di pratica, conseguente alle numerose ripetizioni dello stesso compito. Anche in seguito al calcolo delle soglie, ottenute dalle medie degli ultimi 6 *reversal*, i risultati dei due gruppi sono stati congruenti a quelli appena citati. Nelle percentuali di cambiamento i valori risultano più bassi nei CS+ rispetto a CS-. Tuttavia sono anche stati riportati valori alti nelle deviazioni standard, ad indicare un'alta variabilità dei dati rispetto alle medie, anche a causa del piccolo campione preso in analisi. I risultati ottenuti non coincidono quindi con quelli riportati dall'articolo originale (Shalev et al., 2018). Non risultano infatti dati significativi per confermare l'ipotesi originaria dell'esperimento (H_1), sostenente l'innalzamento delle soglie visive per la discriminazione di orientazioni in seguito a condizionamento aversivo.

Anche le statistiche inferenziali sopracitate confermano che non è possibile rifiutare l'ipotesi nulla H_0 , per cui non vi è differenza tra soglie grezze prima e dopo apprendimento percettivo aversivo. L'unico dato significativo risulta essere quello relativo al tempo, e quindi al fenomeno di pratica, implicante l'abbassamento delle soglie grezze man mano che si ripetono i compiti di discriminazione. I risultati sembrano inoltre essere indipendenti dall'orientazione orizzontale o verticale degli stimoli, come anche osservato da Shalev et al. (2018).

Il *trend* di abbassamento delle soglie, sia nella condizione sperimentale che di controllo, porterebbe a pensare che il fenomeno osservato sia più affine a ciò che è stato riscontrato nel sopracitato studio di Stegmann et al. del 2021, che a quello di Shalev et al. del 2018. Secondo lo studio sul condizionamento aversivo e la discriminazione di barre di Stegmann et al. (2021), le immagini neutre o aversive hanno una maggiore salienza rispetto a uno schermo bianco. Ciò permette una migliore discriminazione, indipendentemente dai processi relativi all'elaborazione della paura.

L'assenza di una differenza significativa tra gruppo sperimentale e di controllo in questo studio potrebbe essere riconducibile anche al fatto che i partecipanti nella condizione di controllo si aspettassero delle immagini aversive, in quanto inconsapevoli della propria appartenenza all'uno o all'altro gruppo sperimentale. Un limite della

presente ricerca sicuramente risiede nella scarsa numerosità campionaria, che non permette di ottenere una potenza sufficiente (Akobeng, 2016). Anche alcuni aspetti metodologici hanno probabilmente portato alla raccolta di dati non totalmente attendibili. Ne sono esempi la scelta del numero di *reversal* dopo cui interrompere il compito di discriminazione, e la mancata adozione degli stessi criteri di esclusione dei partecipanti dello studio di Shalev et al. (2018). Inoltre occorre citare che la tipologia di scala utilizzata in questo studio, *two-down one-up*, presenta caratteristiche che possono influenzare la stima delle soglie, quali la sensibilità a errori precoci dei partecipanti.

In conclusione, i risultati ottenuti non sono concordanti con quelli riportati nell'articolo di Shalev et al. del 2018. Non si può quindi affermare che il condizionamento aversivo aumenti le soglie di discriminazione delle orientazioni di stimoli visivi. Per studi futuri sarebbe auspicabile aumentare la numerosità del campione preso in esame, eventualmente confrontando i dati ottenuti da una raccolta online con quella effettuata in laboratorio.

Bibliografia

Ahmed, O., & Lovibond, P. F. (2015). The Impact of Instructions on Generalization of Conditioned Fear in Humans. *Behavior Therapy*, 46(5), 597–603.

<https://doi.org/10.1016/j.beth.2014.12.007>

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>

Akobeng, A. K. (2016). Understanding type I and type II errors, statistical power and sample size. *Acta Paediatrica*, 105(6), 605–609. <https://doi.org/10.1111/apa.13384>

Atlas, L. Y., Doll, B. B., Li, J., Daw, N. D., & Phelps, E. A. (2016). Instructed knowledge shapes feedback-driven aversive learning in striatum and orbitofrontal cortex, but not the amygdala. *eLife*, 5, e15192. <https://doi.org/10.7554/eLife.15192>

Bolders, A. C., Band, G. P. H., & Stallen, P. J. M. (2017). Inconsistent Effect of Arousal on Early Auditory Perception. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00447>

Bouton, M. E. (2004). Context and behavioral processes in extinction. *Learning & memory*, 11(5), 485-494.

Büchel, C., Morris, J., Dolan, R. J., & Friston, K. J. (1998). Brain systems mediating aversive conditioning: an event-related fMRI study. *Neuron*, 20(5), 947-957.

Callaghan, B. L., Sullivan, R. M., Howell, B., & Tottenham, N. (2014). The international society for developmental psychobiology Sackler symposium: Early adversity and the maturation of emotion circuits-A cross-species analysis: Early Adversity: Maturation of Emotion Circuits. *Developmental Psychobiology*, 56(8), 1635–1650. <https://doi.org/10.1002/dev.21260>

Cano, M., Bezdudnaya, T., Swadlow, H. A., & Alonso, J.-M. (2006). Brain state and contrast sensitivity in the awake visual thalamus. *Nature Neuroscience*, 9(10), 1240–1242.

<https://doi.org/10.1038/nn1760>

Carlson N. R. (2014). *Fisiologia del comportamiento*. Padova: Piccin Nuova Libreria S.p.A.

El-Bar, N., Laufer, O., Yoran-Hegesh, R., & Paz, R. (2017). Over-generalization in youth with anxiety disorders. *Social Neuroscience*, *12*(1), 76–85. <https://doi.org/10.1080/17470919.2016.1167123>

Espinosa, J. S., & Stryker, M. P. (2012). Development and Plasticity of the Primary Visual Cortex. *Neuron*, *75*(2), 230–249. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.06.009>

Everson, R. M., Prashanth, A. K., Gabbay, M., Knight, B. W., Sirovich, L., & Kaplan, E. (1998). Representation of spatial frequency and orientation in the visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *95*(14), 8334–8338. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.14.8334>

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>

García-Pérez, M. A. (2011). A cautionary note on the use of the adaptive up–down method. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *130*(4), 2098–2107. <https://doi.org/10.1121/1.3628334>

Gasper, K., & Clore, G. L. (2002). Attending to the Big Picture: Mood and Global Versus Local Processing of Visual Information. *Psychological Science*, *13*(1), 34–40. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00406>

Glenn, C. R., Klein, D. N., Lissek, S., Britton, J. C., Pine, D. S., & Hajcak, G. (2012). The development of fear learning and generalization in 8-13 year-olds. *Developmental Psychobiology*, *54*(7), 675–684. <https://doi.org/10.1002/dev.20616>

Hubel, D. H. (1982). Exploration of the primary visual cortex, 1955–78. *Nature*, 299(5883), 515-524.

Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1965). RECEPTIVE FIELDS AND FUNCTIONAL ARCHITECTURE IN TWO NONSTRIATE VISUAL AREAS (18 AND 19) OF THE CAT. *Journal of Neurophysiology*, 28(2), 229–289. <https://doi.org/10.1152/jn.1965.28.2.229>

Huff, N. C., Hernandez, J. A., Fecteau, M. E., Zielinski, D. J., Brady, R., & LaBar, K. S. (2011). Revealing Context-Specific Conditioned Fear Memories with Full Immersion Virtual Reality. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 5. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2011.00075>

Ito, M., & Gilbert, C. D. (1999). Attention Modulates Contextual Influences in the Primary Visual Cortex of Alert Monkeys. *Neuron*, 22(3), 593–604. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(00\)80713-8](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(00)80713-8)

Kahneman, D. (1968). Method, findings, and theory in studies of visual masking. *Psychological Bulletin*, 70(6, Pt.1), 404–425. <https://doi.org/10.1037/h0026731>

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>

Klucken, T., Kagerer, S., Schweckendiek, J., Tabbert, K., Vaitl, D., & Stark, R. (2009). Neural, electrodermal and behavioral response patterns in contingency aware and unaware subjects during a picture–picture conditioning paradigm. *Neuroscience*, 158(2), 721–731. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2008.09.049>

Krolak-Salmon, P., Hénaff, M. A., Vighetto, A., Bertrand, O., & Mauguière, F. (2004). Early amygdala reaction to fear spreading in occipital, temporal, and frontal cortex: a depth electrode ERP study in human. *Neuron*, 42(4), 665-676.

Labrenz, F., Woud, M. L., Elsenbruch, S., & Icenhour, A. (2022). The Good, the Bad, and the Ugly—Chances, Challenges, and Clinical Implications of Avoidance Research in Psychosomatic Medicine. *Frontiers in Psychiatry*, 13, 841734.

<https://doi.org/10.3389/fpsy.2022.841734>

Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (1997). International affective picture system (IAPS): Technical manual and affective ratings. *NIMH Center for the Study of Emotion and Attention*, 1(39-58), 3.

Lau, J. Y., Britton, J. C., Nelson, E. E., Angold, A., Ernst, M., Goldwin, M., Grillon, C., Leibenluft, E., Lissek, S., Norcross, M., Shiffrin, N., & Pine, D. S. (2011). Distinct neural signatures of threat learning in adolescents and adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(11), 4500–4505. <https://doi.org/10.1073/pnas.1005494108>

Laufer, O., Israeli, D., & Paz, R. (2016). Behavioral and Neural Mechanisms of Overgeneralization in Anxiety. *Current Biology*, 26(6), 713–722. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.01.023>

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. (1996). Chapter 26 Emotional networks and motor control: A fearful view. In *Progress in Brain Research* (Vol. 107, pagg. 437–446). Elsevier. . [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)61880-4](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)61880-4)

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, M., Song, X. M., Xu, T., Hu, D., Roe, A. W., & Li, C.-Y. (2019). Subdomains within orientation columns of primary visual cortex. *Science Advances*, 5(6), eaaw0807. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaw0807>

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>

Lovibond, P. F., & Shanks, D. R. (2002). The role of awareness in Pavlovian conditioning: Empirical evidence and theoretical implications. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 28(1), 3–26. <https://doi.org/10.1037/0097-7403.28.1.3>

Martinez, L. M., & Alonso, J.-M. (2003). Complex Receptive Fields in Primary Visual Cortex. *The Neuroscientist*, 9(5), 317–331. <https://doi.org/10.1177/1073858403252732>

Myers, K. M., & Davis, M. (2007). Mechanisms of fear extinction. *Molecular Psychiatry*, 12(2), 120–150. <https://doi.org/10.1038/sj.mp.4001939>

Nejati, V., Majdi, R., Salehinejad, M. A., & Nitsche, M. A. (2021). The role of dorsolateral and ventromedial prefrontal cortex in the processing of emotional dimensions. *Scientific Reports*, 11(1), 1971. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81454-7>

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

Onat, S., & Büchel, C. (2015). The neuronal basis of fear generalization in humans. *Nature Neuroscience*, 18(12), 1811–1818. <https://doi.org/10.1038/nn.4166>

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>

Pejic, T., Hermann, A., Vaitl, D., & Stark, R. (2013). Social anxiety modulates amygdala activation during social conditioning. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8(3), 267–276. <https://doi.org/10.1093/scan/nsr095>

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., & Paz, R. (2015). Fear generalization in the primate amygdala. *Nature Neuroscience*,

18(2), 188–190. <https://doi.org/10.1038/nn.3900>

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>

Ringach, D. L. (2002). Spatial Structure and Symmetry of Simple-Cell Receptive Fields in Macaque Primary Visual Cortex. *Journal of Neurophysiology*, 88(1), 455–463.

<https://doi.org/10.1152/jn.2002.88.1.455>

Sarti, A., Citti, G., & Petitot, J. (2008). The symplectic structure of the primary visual cortex. *Biological Cybernetics*, 98(1), 33–48.

<https://doi.org/10.1007/s00422-007-0194-9>

Schiller, D., Levy, I., Niv, Y., LeDoux, J. E., & Phelps, E. A. (2008). From Fear to Safety and Back: Reversal of Fear in the Human Brain. *Journal of Neuroscience*, 28(45), 11517–11525.

<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2265-08.2008>

Shalev, L. (2017). The Effect of Visual Aversive Learning on Generalization (Doctoral dissertation, Ben-Gurion University of the Negev).

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>

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>

Watson, J. B., & Rayner, R. (1920). Conditioned emotional reactions. *Journal of experimental psychology*, 3(1), 1.

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.