



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di laurea in Neuroscienze e riabilitazione neuropsicologica

Tesi di laurea Magistrale in

Psicologia Cognitiva

Mental Imagery e Foveal Feedback: analisi di uno studio

Mental Imagery and Foveal Feedback: Analysis of a study

Relatrice/Relatore

Prof.ssa/Prof. Marco Bertamini

Laureando: Gabriele Fasulo

Matricola: 1175501

Anno Accademico 2024/2025

INTRODUZIONE	5
CAPITOLO I	8
INTRODUZIONE AL MENTAL IMAGERY	8
1. Introduzione al mental imagery	9
<i>1.1 L'esperienza visiva nell'uomo</i>	9
<i>1.2 Mental imagery: presentazione e definizione</i>	9
2. Differenze individuali Mental Imagery	12
<i>2.1 Come misuriamo le differenze individuali? Misure soggettive ed oggettive</i>	12
<i>2.2 Estremi mental imagery: afantasia ed iperfantasia</i>	15
3. Basi cognitive Mental imagery	16
<i>3.1 Immaginazione e funzionamento cognitivo</i>	16
<i>3.2 Processi cognitivi a supporto del mental imagery</i>	18
4. Modelli neurali visual mental imagery	22
<i>4.1 Modello classico, coinvolgimento di EVA nel mental imagery</i>	22
<i>4.2 Modello Reverse</i>	26
<i>4.3 Attuale modello mental imagery</i>	28

CAPITOLO II	31
INTRODUZIONE AL FOVEAL FEEDBACK	31
1. Organizzazione del sistema visivo umano	32
<i>1.1 Sistema feedback visivo: principali teorie</i>	33
2. Feedback in assenza di feedforward. Il fenomeno del foveal feedback	34
<i>2.1 Teoria del Foveal Feedback</i>	34
3. Approfondimento foveal feedback	37
<i>3.1 foveal feedback e tipologia di compito</i>	37
<i>3.2 Manipolazione rappresentazione foveale</i>	39
<i>3.3 Funzionalità foveal feedback</i>	42
<i>3.4 Foveal Feedback e tipologia di stimolo</i>	45
<i>3.5 Timing Foveal Feedback</i>	47
<i>3.6 Possibili alternative al foveal feedback?</i>	51
<i>3.7 Foveal feedback e livelli di astrazione categoriale</i>	52
<i>3.8 Considerazioni finali</i>	57

CAPITOLO III	58
RELAZIONE MENTAL IMAGERY E FOVEAL FEEDBACK	58
1. Foveal Feedback e Mental Imagery: analisi di uno studio condotto	59
<i>1.1 Foveal feedback e discriminazione periferica</i>	59
<i>1.2 Ipotesi studio</i>	61
2. Metodo	62
<i>2.1 Esperimento</i>	62
3. Risultati	65
<i>3.1 Effetti del mask su d'</i>	65
<i>3.2 Correlazioni punteggi questionari e media d'</i>	66
<i>3.3 Correlazioni variazioni d' e questionari</i>	68
4. Considerazioni	71
<i>4.1 Esperimento e risultati</i>	71
<i>4.2 Limiti e studi futuri</i>	73
CONCLUSIONI	74
BIBLIOGRAFIA	76

INTRODUZIONE

Qualsiasi esperienza sensoriale è mediata dall'utilizzo, da parte del nostro cervello, di rappresentazioni mentali aventi origine interna ed esterna, che generano fenomeni come percezione ed immaginazione. Tali processi possono influenzarsi vicendevolmente durante la nostra esperienza quotidiana.

Il primo capitolo di quest'elaborato si pone l'obiettivo di presentare esaustivamente il fenomeno del mental imagery, esperienza sensoriale generata senza la presenza di reali stimoli esterni, e di unire la letteratura recente che ha provato a creare un modello capace di spiegare questa complessa abilità.

Nella prima parte, viene presentata e definita la capacità del mental imagery. Successivamente, dal momento che quest'abilità varia all'interno della popolazione, verranno presentate tutte le metodiche, soggettive (utilizzate anche nel nostro esperimento) ed oggettive, che ne hanno permesso una valida misurazione.

Nel corso del capitolo, il mental imagery è stato poi analizzato sul piano cognitivo in primis analizzando in che modo le capacità di visualizzazione vengano sfruttate in altri processi cognitivi per poi esplorare come quest'ultimi (es. attenzione e working memory) a loro volta possano influenzare l'immaginazione.

Infine, l'analisi del fenomeno si è spostata su un piano neuroscientifico, presentando una breve rassegna di modelli che hanno cercato d'indagare la complessa architettura neurale alla base delle capacità di visualizzazione. Infatti, si è passato da modelli focalizzati sulla relazione tra aree visive e vividezza a più recenti che guardano al mental imagery secondo un'ottica più sistemica.

La seconda parte di quest'elaborato, invece, approfondisce il Foveal Feedback, fenomeno percettivo identificato da Williams (Williams et al. 2008) in cui, in presenza di un compito di discriminazione visiva periferica, le aree visive High Level, dopo circa 150ms dalla presentazione degli stimoli in periferia visiva, invierebbero un feedback alla corteccia foveale, generando una rappresentazione nuova che influenza la performance al compito.

Nella seconda parte di questo capitolo, il foveal feedback è stato approfondito più in dettaglio. Infatti, il fenomeno si verificherebbe solo in compiti di discriminazione di stimoli periferici con alti dettagli spaziali.

Studi di neurostimolazione e comportamentale hanno approfondito la rilevanza comportamentale del foveal feedback. Infatti, segnali TMS in area foveale dopo circa 300-400ms dalla presentazione degli stimoli periferici inibirebbero la performance di discriminazione. Inoltre, la rappresentazione foveale è stata manipolata presentando uno stimolo foveale mascherato a diversi SOA (Stimulus Onset Asynchrony). È stato dimostrato che, a SOA compresi tra 100-200ms, la performance di discriminazione periferica (punteggio d' prime) migliori nel momento in cui lo stimolo foveale (foil) presenti caratteristiche simili al target mentre decade se il primo è uno stimolo rumore.

Ancora, l'aggiunta di un compito di rotazione mentale al paradigma di discriminazione sposterebbe il timing della caduta della performance in funzione del tempo richiesto per allineare i due stimoli prima della discriminazione.

Sulla base di questi dati, è stato ipotizzato che la corteccia foveale, data la sua alta risoluzione, ad un certo punto intervenga durante la discriminazione in visione periferica per ricreare una rappresentazione ad alta definizione degli stimoli periferici e migliorare così la performance.

Infine, il foveal feedback è stato indagato durante categorizzazione a vari livelli di astrazione (Ramezani et al 2019). In questa serie di studi viene dimostrato che a livello sovraordinato (essere animato/non animato) la performance si mantiene ottimale nonostante l'utilizzo di un mask. Questo ci suggerisce l'utilità, in setting naturali, della rappresentazione foveale per compiti di detezione di stimoli. Per una categorizzazione a livelli più profondi (base o subordinato), invece, è necessaria una saccade verso l'oggetto.

Data la natura rappresentativa della corteccia foveale, la terza ed ultima parte di quest'elaborato si focalizza sulla presentazione di uno studio condotto presso l'università di Padova per analizzare la relazione tra capacità rappresentative, nello specifico la vividezza, ed il fenomeno del foveal feedback.

Infatti, nonostante i dati in media ci suggeriscano una significativa caduta della performance quando la rappresentazione foveale viene alterata a circa 150ms, questo deep presenta una grande variabilità all'interno della popolazione e nel timing e nell'intensità. Sulla base di questi dati, è stato ipotizzato come le capacità di mental imagery contribuiscano in parte a spiegare il perché di questa variabilità.

Il progetto sperimentale, che ha visto la partecipazione di 64 soggetti, si è caratterizzato da una prima fase di somministrazione del paradigma di discriminazione periferica con mask foveale a cui è susseguita la compilazione di due questionari per valutare le capacità immaginative dei soggetti, il VVIQ (Marks, 1973) e l'OSIVQ (Kozhevnikov et al., 2005).

La relazione è stata valutata tramite due ipotesi sperimentali: secondo la prima, i soggetti con buone capacità di visualizzazione sarebbero meno colpiti dalla presentazione del mask. Nella seconda ipotesi, invece, sarebbero proprio i soggetti con livelli di vividezza più alti a soffrire maggiormente del mask foveale.

Nella fase di analisi dei dati sono state prese in considerazioni diverse correlazioni e i risultati non confermano alcuna delle ipotesi previste, data l'assenza di qualsiasi relazione significativa. Sulla base di questi risultati, è stato ipotizzato che il foveal feedback coinvolga dimensioni differenti della visualizzazione, probabilmente più implicite e vicine a processi come la working memory. Infatti, dal momento che i questionari proposti indagherebbero solamente il mental imagery esplicito e data la descrizione in letteratura anche di esperienze di mental imagery involontarie (ad esempio nei sogni o anche in ambito clinico con pazienti PTSD o schizofrenia), i dati ci suggerirebbero la necessità di utilizzare metodologie di studio più implicite per analizzare la relazione tra mental imagery e foveal feedback.

CAPITOLO I

INTRODUZIONE AL MENTAL IMAGERY

1. Introduzione al mental imagery

1.1 L'esperienza visiva nell'uomo

La maggior parte dell'esperienza sensoriale e cognitiva è caratterizzata da una matrice visiva (Dijkstra et al. 2019). La visione di vari stimoli (es. un albero) è mediata dall'attivazione di rappresentazioni neurali immagazzinate in varie regioni cerebrali (Ganis et al. 2010). Per **rappresentazione mentale** s'intende "un tipo di attività fisica che agisce per immagazzinare contenuto mentale" (Pearson et al. 2015). Dal momento che le rappresentazioni neurali possono essere elicitate sia internamente che esternamente, è possibile distinguere l'esperienza visiva umana in due principali categorie:

1) Percezione

La percezione visiva ha origine da segnali luminosi che stimolano la nostra retina.

2) Mental imagery

Le informazioni visive in questo caso hanno un'origine interna, legata principalmente a meccanismi di memoria.

1.2 Mental imagery: presentazione e definizione

"Chiudi gli occhi e prova ad immaginare la Monna Lisa. Ti sta guardando oppure no? Ha i capelli ricci o lisci?" Molte delle nostre rappresentazioni e dei processi cognitivi sono supportati dall'utilizzo d'immagini mentali (es. decidere se la nostra auto può entrare in un parcheggio) (Pearson et al. 2019).

Con il termine **mental imagery** ci si riferisce ad una "rappresentazione mentale, ed esperienza sensoriale correlata, in assenza di uno stimolo esterno diretto". (Pearson et al. 2015). Questo fenomeno è fortemente connesso con processi visivi e di memoria. L'immagine mentale di un oggetto si otterrebbe attivando la sua rappresentazione in memoria a lungo termine e mantenendola in working memory per manipolarla o analizzarla (Ganis et al. 2010). Infine, un'immagine mentale può essere elicitata anche senza la volontà del soggetto, a seguito di eventi esterni o associazioni interne.

Per molti decenni, in vari ambiti di ricerca, è esploso un dibattito sul formato delle rappresentazioni mentali. Dal momento che lo stesso contenuto può essere rappresentato in differenti modi (es. l'informazione in una frase può essere trasmessa in codice morse, inglese orale, disegnata, ecc.), un lato del dibattito affermava che tutta l'informazione fosse immagazzinata in un formato simbolico, descrittivo simil-linguaggio. Tali rappresentazioni trasmettono infatti l'essenza di ciò che è espresso in un'affermazione verbale.

Dall'altro lato ci si chiedeva se, oltre al formato descrittivo, l'informazione potesse essere rappresentata anche in formato "raffigurativo". Una raffigurazione richiederebbe uno spazio funzionale in cui ogni componente corrisponde ad una parte dell'oggetto tra le parti in maniera tale che le distanze tra i vari elementi della rappresentazione corrispondano alle reali distanze tra gli elementi dello stimolo reale (Pearson et al. 2015).

Il dibattito dei primi anni si è mantenuto al solo livello di analisi logica. Con l'avvento del comportamentismo, poi, l'esistenza delle immagini mentali è stata ignorata, dal momento che quest'ultime venivano considerate solamente dialogo interno. Il dibattito riprende vita con lo sviluppo cognitivista degli anni '70. Shepard e Metzler, ad esempio, hanno dimostrato come gli oggetti nelle immagini mentali possano essere ruotati e che il tempo richiesto sia correlato alla distanza di rotazione necessaria. Allo stesso modo, Kosslyn ha dimostrato come gli oggetti nelle immagini mentali possano essere scannerizzati e che il tempo della performance sia correlato alla distanza di analisi. (Pearson et al. 2015).

Altri paradigmi hanno poi cercato d'indagare la natura raffigurativa delle rappresentazioni interne tramite l'analisi della sovrapposizione tra queste e le rappresentazioni originate esternamente. Un esempio sono gli studi di Perky, in cui veniva chiesto ai soggetti d'immaginare un oggetto colorato mentre si osservava su uno schermo di fissazione dove lo stimolo veniva realmente proiettato mentre i soggetti credevano che lo schermo fosse bianco. Nell'esperimento, tutti i partecipanti riportavano di aver immaginato lo stimolo. Ancora, negli studi di rumore visivo dinamico di Borst, durante l'intervallo di ritenzione di uno stimolo, viene presentata una griglia che cambia posizione. Dal momento che dovrebbe essere la visual working memory e non quella verbale ad essere alterata, se la rappresentazione interna è raffigurativa, l'influenza del

rumore sarebbe maggiore quando questo presenta una struttura visuospatiale simile allo stimolo target (Reeder et al. 2016).

Il dibattito sulla natura del mental imagery prende poi nuova forma intorno ai primi anni '90, con l'avvento delle tecniche di neuroimaging, che hanno permesso di spostare il focus sullo studio del cervello. Differenti studi hanno identificato come l'elicitazione di rappresentazione interne si associ ad attivazione di aree corticali tipicamente coinvolte in compiti percettivi e nell'elaborazione di dettagli visivi, tra cui **Aree EVA** (V1, pulvinar, genicolato laterale), **aree extrastriate** (Corteccia visiva associativa, corteccie occipitotemporali e temporale ventrale categoria-specifica) ed **Aree associate a classi d'informazioni percettive** (V1 per colore ed orientamento, LOC per forma degli oggetti)

I più recenti risultati empirici supporterebbero quindi l'idea che i soggetti possano rappresentare le informazioni in modi diversi, aprendo un nuovo capitolo di ricerca. L'obiettivo è infatti individuare tutti i possibili formati delle rappresentazioni mentali e capire come e quando vengano utilizzati durante la cognizione

Ma quali sono i vantaggi per il cervello nell'utilizzo di rappresentazioni di natura raffigurativa? I formati pittorici supportano i processi di ragionamento dal momento che permettono di simulare mentalmente relazioni possibili all'interno del mondo reale, in modo da vederne i potenziali risultati. Le rappresentazioni, inoltre, mantengono le caratteristiche degli oggetti, necessarie quando si considerano come questi interagiranno. Infine, le rappresentazioni mentali pittoriche potrebbero funzionare da ponte tra le informazioni proposizionali e le informazioni codificate visivamente, favorendo un'efficace interazione con il mondo (Pearson et al, 2015).

2. Differenze individuali Mental Imagery

2.1 Come misuriamo le differenze individuali? Misure soggettive ed oggettive

I risultati delle ricerche sul mental imagery sono spesso contrastanti. Le differenze individuali spiegherebbero in larga parte questo quadro (Reeder et al. 2016). Quali sono le variabili principalmente influenzate dalle differenze individuali? E con quali metodiche vengono studiate?

Una delle variabili più studiate in ambito di mental imagery è la **vividezza**, che viene definita come “chiarezza e realismo di un'immagine mentale” (Childers et al 1985) o “somiglianza al percepito o movimento” (Lacey & Lawson, 2013; Marks, 1973). Uno degli strumenti più utilizzati per misurare la vividezza di un'immagine mentale è il **VVIQ** (Vividness of Visual Imagery Questionnaire) sviluppato e pubblicato da Marks nel 1973. Il questionario dipende interamente da report introspettivi, giudizi metacognitivi riguardanti la vividezza delle proprie immagini mentali. (Zeman et al. 2024).

Nonostante i dubbi sulla plausibilità di punteggi legati ad analisi introspettive, sono state individuate correlazioni tra report soggettivi e misure oggettive. Inoltre, la vividezza avrebbe una componente spaziale ed oggettuale, studiabili tramite il questionario **OSIQ** (Object and spatial Imagery Questionnaire). (Kozhevnikov et al., 2005). Soggetti con afantasia, ad esempio raggiungono un punteggio più basso dei controlli sull'imagery oggettuale mentre numericamente più alto in quello spaziale. La distinzione tra imagery spaziale ed oggettuale potrebbe basarsi sui due flussi diversi dell'elaborazione visiva (“cosa” o ventrale, e “dove” o dorsale) all'interno del sistema visivo (Zeman et al. 2024).

Tuttavia, per superare i limiti della misurazione tramite self-report, negli ultimi anni sono stati sviluppati nuovi e più oggettivi strumenti di misurazione. Uno di questi è l'analisi della forza dell'immagine mentale, ovvero “il grado in cui un'immagine mentale influenza la percezione successiva”, studiata tramite paradigma di **rivalità binoculare**, fenomeno in cui, quando viene presentata un'immagine differente ad ogni occhio, solo una di questa viene percepita coscientemente mentre l'altra viene soppressa. Una serie di studi ha mostrato che, quando uno dei due stimoli viene immaginato prima del display di rivalità, quest'ultimo ha una maggiore probabilità di diventare dominante (Zeman et al. 2019).

Lo stimolo immaginato eserciterebbe un **effetto priming** allo stesso modo di quando il primo è un percetto con debole basso/contrasto (Pearson et al. 2015). In letteratura c'è infatti un consenso per cui l'effetto del primo osservato su un compito percettivo successivo dipenda dall'energia percettiva o "forza" del primo. La facilitazione sarebbe più probabile con prime breve/di basso contrasto, mentre è più frequente la soppressione se la presentazione è caratterizzata da un contrasto/durata elevati (Pearson et al. 2015).

I dati comportamentali ci mostrerebbero invece che l'effetto del mental imagery sulla percezione successiva si limiti ad una caratteristica di facilitazione e non di soppressione. Inoltre, l'effetto di prime immaginativo sarebbe tanto più forte quanto più lunghi sono i tempi d'immaginazione (Fig. 1) (Pearson et al. 2015).

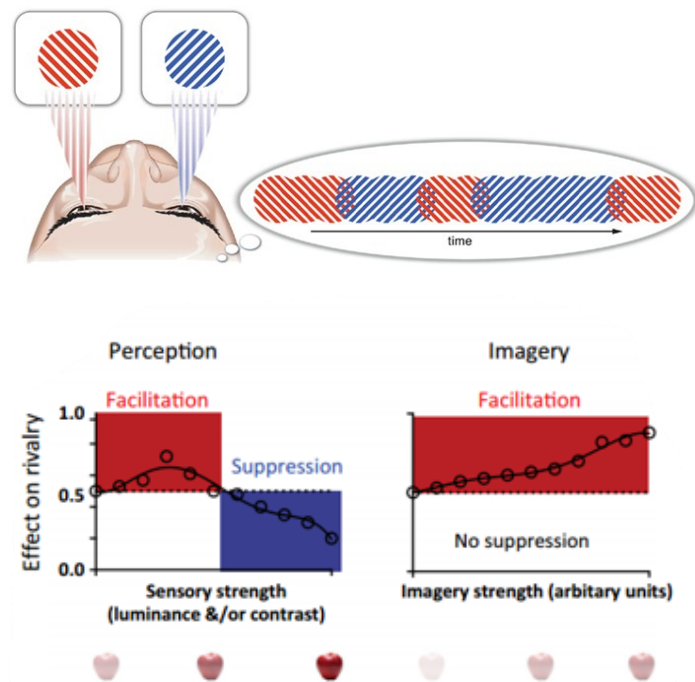


Fig. 1. In alto, esempio di rivalità binoculare. In basso. Effetti del contrasto sulla dominanza nel primo percettivo (sinistra) ed immaginativo (destra) (Pearson et al. 2015).

L'effetto del prime immaginativo si presenterebbe anche quando un compito cognitivamente impegnativo viene aggiunto tra il periodo di mental imagery e la presentazione del paradigma di rivalità. Infine, Il grado in cui lo stimolo immaginato influenzerebbe la dominanza percettiva nel paradigma di rivalità binoculare correlerebbe con i ratings al VVIQ. In questi studi, i rating di vividezza sono stati analizzati anche per ogni trial prima del paradigma di rivalità, individuando una correlazione tra vividezza e dominanza rispetto allo stimolo non immaginato anche trial by trial (Reeder et al. 2016).

Infine, in uno studio (Bergmann et al. 2015), è stata valutata la relazione tra superficie della corteccia visiva e le differenze individuali nelle rappresentazioni mentali. Pertanto, sono state indagate in primis le superfici di V1-V3 di ogni partecipante e poi, tramite rivalità binoculare, sono state analizzate quantitativamente forza e **precisione del mental imagery** quest'ultima intesa come il “Grado in cui differenze di orientamento e posizione spaziale tra gabor immaginato e percepito altererebbero la dominanza oculare durante la rivalità binoculare”. La precisione correlerebbe positivamente con la superficie di V1 mentre la forza avrebbe una correlazione negativa.

2.2 Estremi mental imagery: afantasia ed iperfantasia

I primi riferimenti all'afantasia, ottenuti tramite report introspettivi, risalgono agli studi di Galton del 1880. Più recentemente, questo fenomeno è stato indagato anche con misure più oggettive. Ad esempio, in studi di rivalità binoculare, gli afantastici presentano punteggi significativamente più bassi nella forza del mental imagery (Pearson et al. 2019). Ancora, in questa popolazione si registra una risposta cutanea solo con immagini "aversive" percepite e non con storie spaventose. (Zeman et al. 2024).

Che profilo psicologico si presenta tra i soggetti con afantasia? Questa condizione influenza il modo in cui gli afantastici interagiscono col mondo? Le misure oggettive e soggettive di memoria autobiografica appaiono ridotte in soggetti afantastici mentre migliori in soggetti con iperfantasia. Ancora, le performance di soggetti afantastici sono minori in ambito di testimonianza oculare (Zeman et al. 2024). Inoltre, presenterrebbero punteggi più bassi in questionari sulla prosopagnosia, come il **Cambridge face memory test** (Zeman et al. 2024). Nonostante questo profilo cognitivo, i soggetti afantastici riuscirebbero, probabilmente grazie a strategie e meccanismi cerebrali alternativi, ad eseguire differenti compiti quotidiani.

Infine, sebbene nei soggetti afantastici siano più frequenti sogni narrativi/concettuali, alcuni riportano esperienze oniriche visive suggerendo che possano rimanere intatte forme involontarie di mental imagery (Pearson et al. 2019).

L'iperfantasia, invece, definita in passato "imagery eidetico", consiste in una capacità d'immaginazione forte e vivida. Gli studi su questa tipologia d'imagery sono però pochi e non sembra esserci letteratura in ambito di fMRI o TMS (Pearson et al. 2019).

3. Basi cognitive Mental imagery

L'abilità di mental imagery sembrerebbe interconnessa con altri processi cognitivi. In primis, vedremo in che modo il mental imagery possa influenzare altre abilità cognitive per poi analizzare quali processi cognitivi supporterebbero invece l'esperienza immaginativa.

3.1 Immaginazione e funzionamento cognitivo

Negli ultimi anni, diverse pubblicazioni hanno cercato di collegare l'abilità di mental imagery con un range di processi cognitivi che vanno dalla working memory visiva e memoria episodica, navigazione spaziale, comprensione di lettura alla creatività e al decision making (Fig. 2) (Pearson et al. 2019).

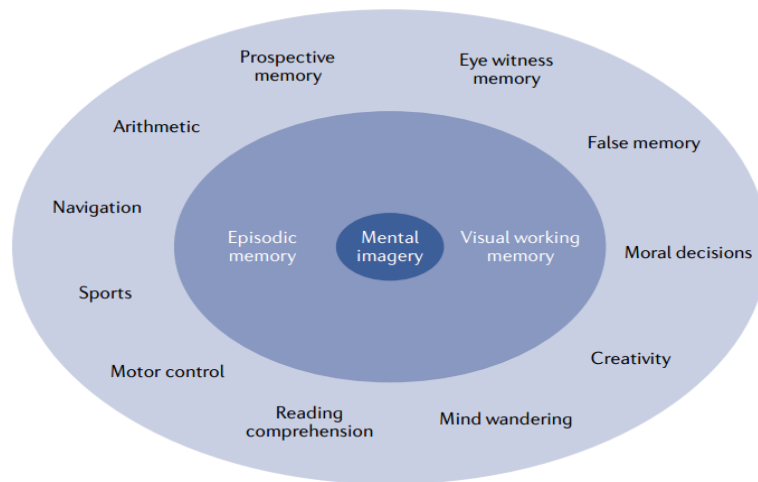


Fig. 2. Processi cognitivi legati al mental imagery. Blu scuro: processi supportati largamente dalle abilità di mental imagery. Blu chiaro: processi potenzialmente correlati con le abilità di visualizzazione (Pearson et al. 2019).

Perché è importante che il mental imagery venga utilizzato in una lunga serie di processi cognitivi? Se molti processi sfruttano il mental imagery, che a sua volta presenta molte differenze individuali, la forza del mental imagery influenzerebbe ogni compito che dipende, nella sua esecuzione, da tale abilità. Quindi, lo studio e la misurazione efficace del mental imagery sembra essere un'ottima strada per scoprire i misteri di tanti processi cognitivi (Pearson et al. 2019).

Mental imagery, memoria e visual working memory sono stati a lungo studiati in maniera indipendente, nonostante diverse evidenze suggerirebbero come molte persone utilizzino le capacità d'immaginazione per eseguire diversi compiti mnemonici di natura visiva (Pearson et al. 2019).

In ambito di mental imagery e working memory, I partecipanti in genere riportano di utilizzare due strategie visive differenti in compiti di working memory visiva:

1) Strategie proposizionali

Vengono prese caratteristiche salienti in un testo che il soggetto deve ricordare e decodificate in maniera fonologica o proposizionale, per poi essere comparate con il test (Pearson et al. 2019).

2) Strategie visive

Solo i soggetti con un buon livello d'imagery, mentre eseguono compiti di working memory visiva, vengono "disturbati" dalla presenza d'informazioni visive irrilevanti, suggerendo che questi utilizzino abilità di visual imagery e aree visive di "basso-livello" per eseguire questi compiti (Pearson et al. 2019).

Per quanto riguarda infine la relazione tra immaginazione e memoria episodica, la ricerca in quest'ambito suggerirebbe che i soggetti con buoni livelli d'immaginazione riporterebbero una maggior quantità di dettagli sensoriali sia nelle memorie future che episodiche e valutano la loro riesperienza degli eventi come più reale rispetto a soggetti con immaginazione debole. Tuttavia, L'immaginazione spaziale e oggettuale predirebbe differenti dimensioni di memoria episodica (Pearson et al. 2019).

3.2 Processi cognitivi a supporto del mental imagery

La visualizzazione è un processo cognitivamente complesso in termini cognitivi e sarebbe associato all'attivazione di un "circuito di mental imagery" ampiamente distribuito che includerebbe **processi esecutivi** (per iniziare, mantenere e monitorare la capacità di visualizzazione) **di memoria**, richiesti (per ottenere le informazioni sugli oggetti da visualizzare) e **quasi percettivi** (per dare alle immagini la caratteristica visiva) (Fulford et al. 2018).

L'attenzione, Così come le abilità visive, può essere orientata internamente verso informazioni autogenerate. Non è chiaro, tuttavia, come i processi attentivi si relazionino alla vividezza immaginativa (Huang et al. 2024).

È Possibile distinguere tre diversi circuiti attentivi, ognuno dei quali responsabile di aspetti specifici dell'elaborazione attentiva:

1) Circuiti di allerta

Mantengono stato di prontezza, preparando i soggetti a percepire e rispondere a stimoli modificando il loro stato interno

2) Circuiti di orientamento

Orientano l'attenzione verso specifici stimoli nell'ambiente facilitando i cambiamenti dell'attenzione verso diverse posizioni o direzioni

3) Circuito di controllo esecutivo

Entra in gioco quando i soggetti riscontrano conflitti nel rispondere a stimoli.

In uno studio (Huang et al. 2024) viene indagata la relazione tra circuito di allerta, indagato dall'analisi della componente N1 dell'ERP e comportamentalmente tramite test ANT (Attention network test) e la vividezza immaginativa, analizzata tramite VVIQ. Tra i soggetti sottoposti all'ANT, l'ampiezza di N1 è maggiore nelle persone con più alti livelli di vividezza. I dati EEG suggerirebbero quindi il miglioramento di N1, relata a circuito di allerta, favorirebbe la vividezza del visual imagery, probabilmente grazie ad una migliore elaborazione delle informazioni originate internamente.

Secondo il modello della **Global Workspace Theory**, infatti, uno stimolo può raggiungere la coscienza se ha **Sufficiente forza bottom-up o riceve amplificazione top-down**. Nel caso del mental imagery, il sistema di alert può servire come amplificazione top-down alle informazioni che giungono all' "occhio della mente" del soggetto. La relazione tra alert e vividezza sembrerebbe infine dipendere dal focus attentivo (se è maggiormente orientato all'esterno o all'interno).

Per quanto riguarda invece il ruolo dei processi mnestici, è stata indagata l'influenza di quest'ultimi e, nello specifico, della working memory sull'abilità di mental imagery. Il modello classico di Working memory, proposto da Baddeley e Hitch nel 1974, assume l'esistenza di un sistema principale di controllo attentivo o **esecutivo centrale** e due sottosistemi, il **pad visuospatiale** e **loop fonologico**, che mantengono e manipolano informazioni di diversa natura sensoriale. Il pad visuospatiale sarebbe coinvolto in processi immaginativi.

In uno studio di Baddeley (1999) s'ipotizza che la vividezza percepita dipenda dalla ricchezza delle rappresentazioni in working memory. I sottosistemi immagazzinerebbero informazioni visuospatiali e verbali per poi mantenerle tramite ripetizione attiva, processo necessario per il mental imagery. In questo studio vengono comparati i giudizi di vividezza in condizione di **doppio compito** (tapping spaziale/rumore visivo) che interferirebbero con le capacità d'immagazzinamento/ripetizione dei sottocomponenti riducendo la vividezza percepita del mental imagery.

In caso di stimoli nuovi, dove il mantenimento di un'immagine in attesa della valutazione della sua vividezza dipenda dall'attività del sistema Working memory, i giudizi di vividezza sono dipendenti da quest'ultimo, dimostrato dall'interazione tra natura del compito d'imagery e natura del compito secondari (Fig. 3).

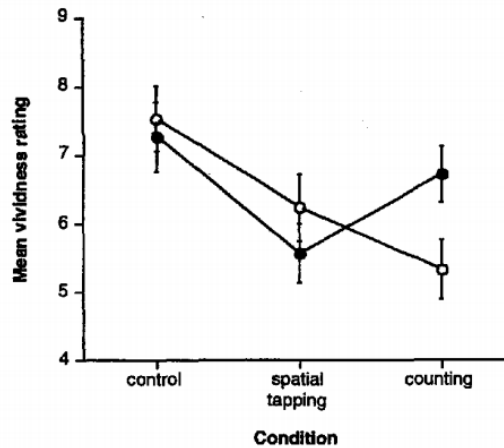


Fig. 3. Ai partecipanti vengono presentati stimoli nuovi e viene chiesto loro di immaginarli, tenerli in memoria e successivamente valutarne la vividezza. L'esperimento si suddivide in una condizione di controllo, in cui si chiede ai soggetti di mantenere l'immagine e ricordarla, ed una condizione di doppio compito (Baddeley et al. 1999).

Laddove invece gli stimoli sono più significativi ed è molto più probabile che siano supportati dall'attività del magazzino di memoria a lungo termine, oltre il compito secondario, anche altri elementi (bizzarrezza, ecc.) influenzano ratings di vividezza.

Secondo Baddeley, la memoria a lungo termine influenzerebbe la vividezza in base alla quantità d'informazioni recuperabili nel tempo disponibile. Aumentare le informazioni necessarie, ad esempio con immagini di scene dinamiche oppure diminuire le informazioni accessibili in memoria, ridurrebbe la vividezza.

La working memory, invece, sarebbe coinvolta nel mantenimento tramite due meccanismi:

1) Riesperienza

L'immagazzinamento e recupero delle informazioni sensoriali nei sottosistemi produrrebbero immagini che, dal momento che sono continue, favoriscono una riesperienza della situazione piuttosto che un semplice richiamo

2) Ricombinazione

Il coinvolgimento di un sottosistema attivo permetterebbe la manipolazione d'informazioni sensoriali in modi nuovi. Ad esempio, se cerchiamo d'immaginare un gatto che insegue un topo, possiamo averne un ricordo debole che può però essere nel pad visuospatiale con informazioni generiche riguardo questa categoria di animali per formare un'immagine più vivida.

Attività secondarie come il paradigma di doppio compito interferirebbero quindi con il processo di miglioramento del mental imagery durante il recupero d'informazioni sensoriali (Baddeley et al. 1999).

4. Modelli neurali visual mental imagery

In questo paragrafo verranno analizzati i vari modelli che hanno tentato di fornire una chiara architettura sulle strutture neurali alla base del mental imagery.

4.1 Modello classico, coinvolgimento di EVA nel mental imagery

Un primo modello di mental imagery è stato sviluppato durante il periodo degli studi d'imaging correlazionali. Il focus principale è la sovrapposizione tra substrati neurali alla base del mental imagery e percezione, aree visive incluse (Spagna et al. 2022).

Quest'ultime appaiono organizzate in una costellazione di aree funzionalmente distinte e disposte secondo una gerarchia, in cui all'apice troviamo le aree High Level (HVA), sensibili a cambiamenti del contenuto più astratto e semantico di una scena piuttosto che a dettagli visivi. Tali aree sono localizzate nel lobo temporale ventrale e le rappresentazioni codificate diventano più astratte attorno al polo più anteriore. Alla base invece, sono localizzate le aree visive Early (EVA), localizzate in area occipitale, che sarebbero sensibili a dettagli visivi (frequenza spaziale, forme, ecc.).

Secondo i ricercatori, le EVA contribuirebbero anche al mental imagery conferendone il contenuto sensoriale e spaziale. Inoltre, Se entrambi i processi condividono gli stessi pattern neurali, allora attiverebbero anche le medesime caratteristiche visive (luminosità, ecc.) con simili effetti a livello fisiologico. Una ricerca recente ha infatti dimostrato come la luminosità di uno stimolo immaginato, esattamente come avviene con la percezione, genererebbe un effetto ripetibile e predicibile sulla costrizione pupillare (Pearson et al. 2015).

Infine, questo modello ipotizza anche una correlazione tra il livello di attivazione nelle aree visive Early e l'esperienza soggettiva di vividezza nel mental imagery (Spagna et al. 2021).

Tuttavia, le prove del coinvolgimento di EVA durante visual imagery sono contrastanti. Le differenze riscontrate nei vari studi potrebbero essere legate a vari fattori, tra cui il tipo di compito utilizzato, il contenuto immaginato o differenze individuali nella vividezza/forza del mental imagery.

Alcuni studi, tra cui quelli di **rivalità binoculare**, hanno individuato una **relazione negativa** tra ampiezza di V1 e V2 e forza del mental imagery. Di converso, la precisione di V1 correlerebbe **positivamente** con la superficie di V1 (Pearson et al. 2019). Questo dato correlazionale emergerebbe anche in letteratura clinica. Infatti, in soggetti con **schizofrenia**, si nota sia una riduzione della superficie di V1 del 25% rispetto a soggetti sani sia punteggi self report di vividezza più alti mentre soggetti con **personalità schizotipica** mostrano una maggiore forza di mental imagery in rivalità binoculare. Una **riduzione** della corteccia visiva si noterebbe poi anche in pazienti con PTSD.

Infine, Un ulteriore dato emergente è una **relazione negativa** tra superficie di V1 e corteccia frontale. Se quest'ultime fossero responsabili del segnale top-down legato al mental imagery, tale dato indicherebbe un maggiore controllo da parte delle aree frontali. La corteccia frontale è però influenzata anche da differenze genetiche, suggerendo una possibile contribuzione genetica alla forza del mental imagery (Pearson et al. 2019).

Studi funzionali di PET e fMRI, inoltre, hanno notato un aumento di attività in V1 e V2 e durante mental imagery e durante attività percettiva (Spagna et al. 2022). In questa cornice, l'area V1 viene descritta da alcuni ricercatori come un **pad rappresentazionale** a partire da input bottom-up e top-down. Dal momento che il cervello è costantemente attivo, con presenza anche di pattern intrinseci, il grado di rumore in questo pad influenzerebbe la forza del mental imagery e del segnale top-down. Quindi, soggetti con un forte segnale top-down/basso rumore dovrebbero presentare livelli **più alti** di forza di mental imagery mentre un segnale top-down forte associato ad una corteccia molto "rumorosa" sarebbe associato ad un'immagine mentale "corrotta" e quindi più debole. Tali formulazioni sono però solo ipotesi dal momento che la forza dell'immaginazione può essere influenzata anche da altri fattori come ormoni, disturbi neurologici, droghe psichedeliche, ecc. (Pearson et al. 2019).

Di converso, uno studio (Kilintari et al. 2016) dimostrerebbe un decremento del segnale BOLD nella corteccia occipitale durante l'attività di mental imagery.

In ambito neuropsicologico, invece, il modello classico predirebbe, in caso di danno cerebrale, una co-presenza sistematica di deficit percettivi ed immaginativi. Tuttavia, sono state identificate alcune dissociazioni tra mental imagery e percezione nella corteccia visiva ventrale, come pazienti corticalmente ciechi con intatta mental imagery. I deficit immaginativi subentrerebbero solamente quando la lesione alla base della cecità corticale si estende lungo il lobo temporale (Spagna et al. 2022).

Ancora, in ambito di neurostimolazione, l'utilizzo di metodologie TMS sembrerebbe avere un effetto sull'abilità di visual imagery, anche se tale effetto sarebbe modulato dalle aree visive "down-stream". Un impulso TMS su V1 e V2, infatti, stimolerebbe non solo agglomerati neuronali locali ma anche neuroni eccitatori che proietterebbero ed all'intero sistema visivo ed alle FEF (Spagna et al. 2021).

Infine, studi di **decodifica multivariata**, in cui l'algoritmo viene allenato a partire dall'attività percettiva avrebbero permesso l'estrazione d'immagini mentali dall'attività EVA (V1 e V2 incluse). Questo dato suggerirebbe che l'imagery in EVA attiverrebbe le stesse caratteristiche visive come la percezione sensoriale afferente (Pearson et al. 2019). Purtroppo, però, anche gli studi di decodifica sono di natura correlazionale e non causale. I loro risultati potrebbero riflettere sottoprodotti non funzionali invece di reale base neurale di VMI. Ancora, uno studio recente focalizzato sull'immaginazione di volti ha notato come solo i voxel in area temporale sarebbero associati ad una decodifica superiore al caso di facce immaginate, laddove i risultati sulle regioni frontoparietali/occipitali non supererebbero il caso (Spagna et al. 2021). Infine, la sovrapposizione dei pattern di attività tra percezione e mental imagery aumenterebbe man mano che si procede con la gerarchia di elaborazione visiva (Pearson et al. 2019).

Un dato apparentemente più solido è infatti l'attivazione delle aree HVA, che sembra essere comparabile a quello identificato durante l'attività percettiva (Spagna et al.2021). Studi di MVPC avrebbero identificato pattern di attività simili in queste aree durante entrambi i processi cognitivi. Addirittura, la performance di decodifica migliorerebbe se associata all'attività di HVA. Questo dato supporterebbe l'idea che i pattern di attività tra P e MI sarebbero più simili man mano che si procede con la gerarchia visiva. Tuttavia, la vividezza del mental imagery sembra essere molto più correlata all'attività di EVA (Pearson et al. 2015).

4.2 Modello Reverse

Per raggiungere una comprensione più dettagliata dei meccanismi neurali alla base del mental imagery, è però importante utilizzare un focus più ampio che analizzi le interazioni tra differenti popolazioni neurali. Diversi studi hanno identificato infatti come il mental imagery coinvolga anche diverse aree distribuite all'interno del cervello (Dijkstra et al. 2019).

Ad esempio, alcuni studi hanno permesso di decodificare l'identità dello stimolo da **attività frontale**, coinvolta in processi esecutivi e di attenzione selettiva, sia durante compiti percettivi che di working memory. Uno studio di DCM su dati fMRI ha identificato che, sia durante mental imagery che percezione si noterebbe un aumento di connettività top-down tra giro frontale inferiore e corteccia visiva, probabilmente funzionale a mantenere l'attenzione selettiva verso l'informazione visiva. La corteccia frontale potrebbe essere coinvolta, durante percezione e mental imagery, nella rappresentazione di aspetti rilevanti per il compito (Dijkstra et al. 2019).

Anche la **corteccia parietale**, coinvolta nell'attenzione spaziale e centrata sulle caratteristiche, giocherebbe un ruolo nel mental imagery. In una metanalisi (Winlove et al. 2018) è stato identificato che la corteccia parietale sarebbe maggiormente attiva in compiti di mental imagery che richiedono comparazioni spaziali. Ancora, Segnali TMS sopra il solco intraparietale portano a performance peggiori durante comparazione spaziale tra immagini mentali (Dijkstra et al. 2019).

Infine, Sono state individuate rappresentazioni dello stimolo nella corteccia parietale in compiti di percezione, mental imagery e working memory. La corteccia parietale codificherebbe le parti salienti dello stimolo, immaginato/percepito, che verranno poi "sfruttate" da meccanismi attentivi top-down (Dijkstra et al. 2019).

Durante l'attività immaginativa, inoltre, verrebbero coinvolte anche differenti **regioni temporali**, tra cui il **Giro fusiforme sinistro** (con numeri, frasi, eventi storici, ecc.), **giro fusiforme destro** (espressioni facciali, colore e forme degli oggetti, ecc.) ed **ippocampo**, coinvolto nella generazione d'immagini spazialmente distribuite. Infatti, soggetti con danni ippocampali mostrerebbero difficoltà di natura spaziale nel generare esperienze immaginate e le loro descrizioni narrative peccherebbero di ricchezza e coerenza spaziale (Spagna et al. 2022).

Questi dati permetterebbero d'ipotizzare che l'esistenza di percorsi funzionalmente distinti per l'elaborazione del luogo degli oggetti (dove), identità degli oggetti (cosa) e percezione sociale potrebbe essere vera sia per gli stimoli immaginati che percepiti. Infatti, l'evidenze di neuroimaging hanno mostrato come immaginare traiettorie coinvolga aree vicine a quelle nei percorsi dorsali del sistema visivo.

Secondo il modello “**reverse visual hierarchy**”, sviluppato in questa cornice sistemica, mental imagery e percezione seguirebbero una gerarchia inversa a livello funzionale, pur condividendo somiglianze strutturali (Pearson et al. 2019). Durante la percezione, infatti, il segnale "partirebbe" dalle aree EVA della corteccia striata (**percorso forward**) per poi proseguire alle aree ventrali e dorsali della corteccia visiva nel lobo temporale, fino a terminare nella corteccia frontale (Spagna et al. 2022).

Il recupero volontario di un'immagine mentale invece, partirebbe a seguito di segnali originati nel lobo frontale (**percorso Backward**) che successivamente raggiungono le aree mnestiche nel lobo temporale mediale dove è immagazzinato un template dell'immagine e solo alla fine raggiungerebbe le aree EVA e, se necessario, le HVA (Spagna et al. 2022).

In uno studio DCM (Stokes et al. 2015) è stato individuato che l'attivazione di categorie specifiche nella corteccia occipitotemporale sarebbe favorita, durante la percezione, da segnali bottom-up dalla corteccia occipitale inferiore mentre, durante il mental imagery, da attività top-down con origine nella corteccia frontale. Infine, uno studio EEG (Dentico et al. 2014) ha identificato una comunicazione più forte tra **corteccia occipitale inferiore e lobo parietale superiore** durante percezione rispetto al mental imagery.

4.3 Attuale modello mental imagery

Negli ultimi anni, sulla base di evidenze provenienti dalla neuropsicologia, neurostimolazione e neuroimaging, è stato proposto un nuovo modello che propone uno scenario differente rispetto a quello dell'equivalenza anatomica tra mental imagery ed attività percettiva e che si strutturerebbe su due elementi cardine, il **nodo fusiforme imagery (FIN)** ed il **network frontoparietale**

La prima è un'Area localizzata in FG4, sotto regione anatomica del giro fusiforme. Tale area, nell'emisfero sinistro si localizza vicino all'area della forma visiva delle parole mentre nel destro vicino all'area fusiforme dei volti. Quest'area sarebbe condivisa tra mental imagery e percezione. (Spagna et al. 2022). L'individuazione di attività FIN in mental imagery coinciderebbe con l'osservazione di deficit di mental imagery dopo estensivi danni temporali sinistri (Pearson et al. 2021).

La localizzazione anatomica di FIN renderebbe quest'area un'interfaccia tra differenti processi, tra cui **Stimolazione percettiva**, a seguito di input dalle aree occipitali (FIN è parte del percorso visivo ventrale) **Elaborazione semantica**, legata all'attività di regioni anteriori del lobo temporale sinistro ed **Integrazione informazioni dalla memoria a lungo termine**, processo che avverrebbe in area temporale mediale (Spagna et al. 2022).

Inoltre, Dal momento che i lobi temporali anteriori bilaterali sono coinvolti nella conoscenza concettuale, in caso di deficit unilaterale, non tutti i pazienti mostrano alterazioni nelle capacità di mental imagery. Questo sarebbe dovuto a meccanismi di compensazione messi in atto dall'emisfero non danneggiato (Spagna et al. 2022).

Invece, l'attivazione temporale mediale dell'**ippocampo** e dell'**amigdala** potrebbe aggiungere una dimensione emotiva al contenuto sensoriale processato dalla neocorteccia temporale, incorporando elementi autobiografici e la "valenza" di esperienze passate nella produzione di simulazioni episodiche in VMI. La combinazione di aspetti emozionali con le memorie del passato di una persona può essere il motivo per cui alcune immagini mentali risultino molto vivide al punto da sembrare "quasi-visive" in natura. Dall'altro lato dello spettro delle capacità di visualizzazione, l'afantasia, o inability nel creare in maniera endogena immagini mentali, potrebbe essere legata a disconnessione con questo

network temporale ventrale, caratterizzato da FIN, ATI e lobo temporale mediale (Spagna et al. 2022).

In alcuni studi di registrazione di singola cellula sulle scimmie, è stata individuata attività di neuroni temporali inferiori durante compiti che elicitano la produzione di rappresentazioni mentali in assenza dello stimolo prima del suo uso (Spagna et al. 2022).

Infine, in una metanalisi su studi di fMRI (Spagna et al. 2021) sono stati indagati i correlati neurali associati ad attività di mental imagery rispetto ad altre condizioni come compiti di controllo. In questo caso, durante i compiti di mental imagery si notava un'attivazione sinistra in alcune aree incluso il giro fusiforme sinistro.

Per quanto riguarda il **network frontoparietale**, invece, il suo coinvolgimento durante il mental imagery, indipendentemente dal contenuto immaginato e modalità sensoriale, appare il dato più consistente nella letteratura sui processi immaginativi. Quindi, FIN servirebbe come centro nell'assegnare aspetti pittorici all'informazione mantenuta in memoria mentre il network frontoparietale sarebbe coinvolto in funzioni esecutive, tra cui iniziazione, modulazione (possiamo infatti immaginare cose mai viste combinando informazioni della MLT) e mantenimento dell'immagine mentale (Spagna et al. 2022).

Inoltre, s'ipotizza che la vividezza del mental imagery sia influenzata dal coinvolgimento del network nella generazione e mantenimento d'immagini mentali o che sarebbe modulata dal grado di connettività strutturale e funzionale tra il network frontoparietale e le regioni inferiori/mediali dei lobi temporali. Ad esempio, la vivida riesperienza di memorie traumatiche nel PTSD dipenderebbe in parte da un limitato controllo prefrontale sull'attività del lobo temporale mediale (Spagna et al. 2021).

Infine, il coinvolgimento dei network frontoparietali in VMI è fortemente coerente con la posizione della lesione nel neglect immaginativo, che coinvolge generalmente circuiti fronto- parietali (Spagna et al. 2021).

Col tentativo di mettere insieme l'evidenze di neuroimaging funzionale, neurostimolazione e neuropsicologiche, è stato sviluppato un modello architettonico del mental imagery che prevederebbe quattro componenti (“nodi corticali”), connessi da tratti di materia bianca a lungo raggio visualizzabili sia in “vivo” che tramite DIT:

1) FEF <--> IPS

Queste due aree che, compongono il circuito frontoparietale sarebbero connesse dai tratti di materia bianca, coinvolti nel controllo attentivo, che percorrono l'asse ventrolaterale-dorsomediale e che prendono il nome di **fascicolo longitudinale superiore**.

2) FPN <--> FIN

Questa connessione, che elaborerebbe funzioni d'interfaccia tra azioni dirette ad obiettivi ed il centro del circuito immaginativo, sarebbe favorita dai tratti **extreme capsule fiber complex**

3) FIN <---> ATL

Queste due aree s'interconnettono tramite il **fascicolo longitudinale inferiore**. Inoltre, una sezione dell'ATL, localizzata nel giro fusiforme anteriore temporale (accanto al FIN) si connetterebbe con il network frontoparietale e sarebbe coinvolta in un circuito legato all'elaborazione di stimoli sociali e volti

4) ATL <--> OFC

La loro connessione è favorita dal tratto **fascicolo Uncinato**, coinvolto in processi esecutivi e decisionali

In conclusione, l'inizio ed il mantenimento del mental imagery sarebbe legato al circuito frontoparietale, che comunica tramite il fascicolo longitudinale superiore. Da lì, segnali lungo l'Extreme capsules fiber complex attiveranno il FIN, che fungerebbe da interfaccia tra l'elaborazione endogena richiesta per completare il compito immaginativo e l'informazione di memoria episodica e semantica immagazzinata nella MTL e nell'ATL. Infine, il risultato di questo processo di elaborazione potrebbe essere riproiettato alle aree frontali tramite il fascicolo uncinato in caso sia necessario coinvolgere anche processi decisionali (Spagna et al. 2022).

CAPITOLO II

INTRODUZIONE AL FOVEAL FEEDBACK

1. Organizzazione del sistema visivo umano

È generalmente accettato che il sistema visivo umano mantenga una struttura organizzata retinotopicamente, grazie alla quale si verifica una ben definita corrispondenza tra le posizioni spaziali del campo visivo e quelle corticali (Fig. 4).

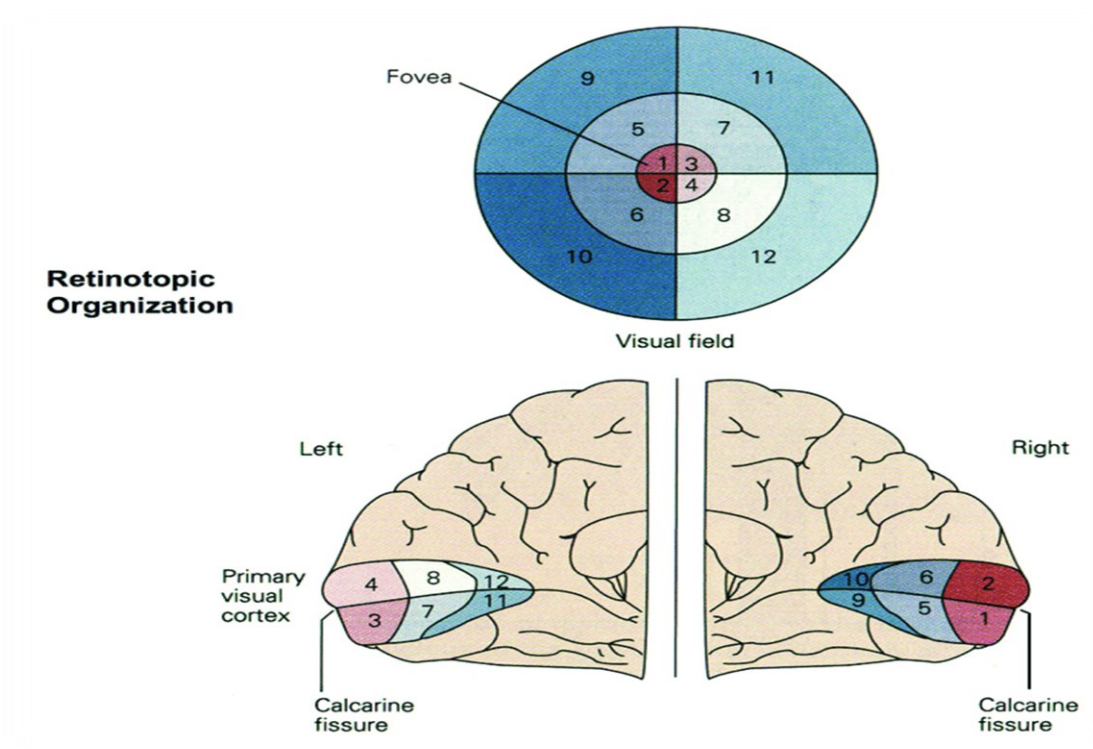


Fig. 4. Organizzazione retinotopica della corteccia visiva primaria (Wendt, 2018).

1.1 Sistema feedback visivo: principali teorie

I circuiti corticali visivi, inoltre, sono caratterizzati sia da connessioni **feedforward** che **feedback**, che dovrebbero fornire informazioni top-down sul contesto comportamentale così da modulare la risposta dei neuroni nei primi stadi dell'elaborazione visiva (Yu et al. 2016).

Tutte le teorie del feedback visivo condividono l'idea centrale che quest'ultimo eserciti il suo effetto sulla percezione modulando o anticipando le rappresentazioni generate da risposte feedforward agli stimoli (Williams et al. 2008),

1) Modelli codifica predittiva

I feedback dalle aree visive high level hanno funzione di "giustificare", quindi ridurre, l'attività nelle aree visive lower, semplificando la descrizione dello stimolo.

2) Modelli divisione figura-sfondo

L'attività feedback aumenterebbe la risposta di V1 alle regioni legate alla figura rispetto a quelle legate all'ambiente.

3) Modelli attentivi

Il feedback alla corteccia visiva modulerebbe, sintonizzerebbe o anticiperebbe la risposta feedforward allo stimolo visivo

4) Ulteriori teorie feedback.

Altre teorie sostengono che il feedback modelli le rappresentazioni percettive o migliori in maniera cosciente le rappresentazioni disponibili.

Contrariamente a tutte queste teorie in cui il feedback modifica o anticipa una rappresentazione feedforward, viene presentato più avanti un caso in cui il primo costruisce una rappresentazione totalmente nuova in una regione corticale differente dalla rappresentazione feedforward. Dal momento che le rappresentazioni feedback e feedforward si sviluppano in parti della corteccia retinotopica non sovrapponibili, possono essere studiate in maniera separata.

2. Feedback in assenza di feedforward. Il fenomeno del foveal feedback

2.1 Teoria del Foveal Feedback

Questa scoperta è stata fatta in uno studio di fMRI (Williams et al. 2008) che sfruttava il metodo di **multi-voxel pattern analysis** mentre i partecipanti, fissando un punto centrale, eseguivano un compito di comparazione su due oggetti presentati perifericamente. L'informazione sull'oggetto presentato in periferia veniva decodificata con successo da pattern spaziali di attivazione nell'area della corteccia retinotopica corrispondente alla fovea (Yu et al. 2016).

Questo paradigma era stato inizialmente costruito per indagare le rappresentazioni oggettuali "position-invariant" nella corteccia visiva di alto livello. Nello specifico, il soggetto doveva fissare un punto centrale mentre venivano presentate tre categorie di oggetti nuovi nella periferia. Gli stimoli venivano presentati contemporaneamente in coppia nelle diagonali opposte nella zona della periferia retinica. Questi due oggetti facevano parte della stessa categoria e i soggetti dovevano rispondere se fossero identici o differenti esemplari della stessa categoria (Fig. 5).

Successivamente, è stato utilizzato il metodo di "pattern analysis" per determinare se informazioni riguardo la categoria oggettuale fossero presenti nei pattern di risposta dei voxels in ognuna delle ROI (regions of interest) corticali (Williams et al. 2008).

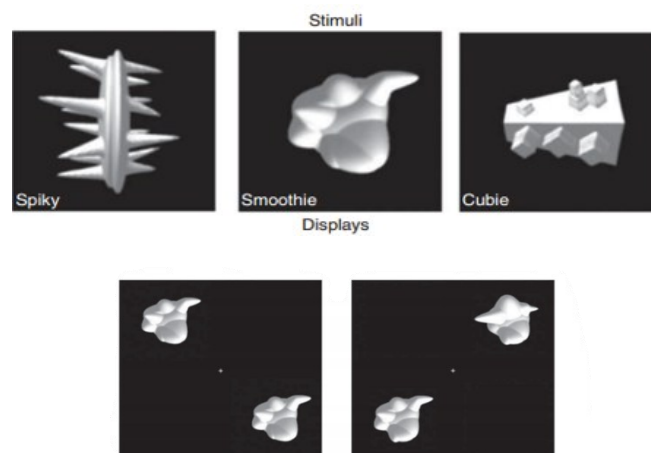


Fig. 5. In alto. Esempi delle tre categorie degli stimoli. In basso, esempio di presentazione di smoothies identici (sinistra) e differenti (destra) presentati nei quadranti periferici (Williams et al. 2008).

In ogni ROI sono state analizzate coppie indipendenti di pattern di attivazione da oggetti della stessa categoria o differente categoria (Fig. 6). Un'alta correlazione per oggetti della stessa categoria permetterebbe d'individuare informazione oggettuale in una data ROI. Sono stati poi confrontati pattern in cui gli oggetti erano presentati nella stessa posizione retinotopica (stessa diagonale) o differente. Rispetto alle altre ROI corticali, quella foveale conterrebbe informazioni categoriali sullo stimolo. Nella condizione "same location", le correlazioni sono più alte per oggetti della stessa categoria che per quelli differenti, a dimostrazione che questa ROI distinguerebbe tra le categorie oggettuali anche se nessuno stimolo viene presentato in fovea. L'informazione è inoltre "position-invariant" dal momento che, anche nella condizione "different location", le correlazioni sono comunque più alte nel gruppo "same category" rispetto a "different category" (Williams et al. 2008).

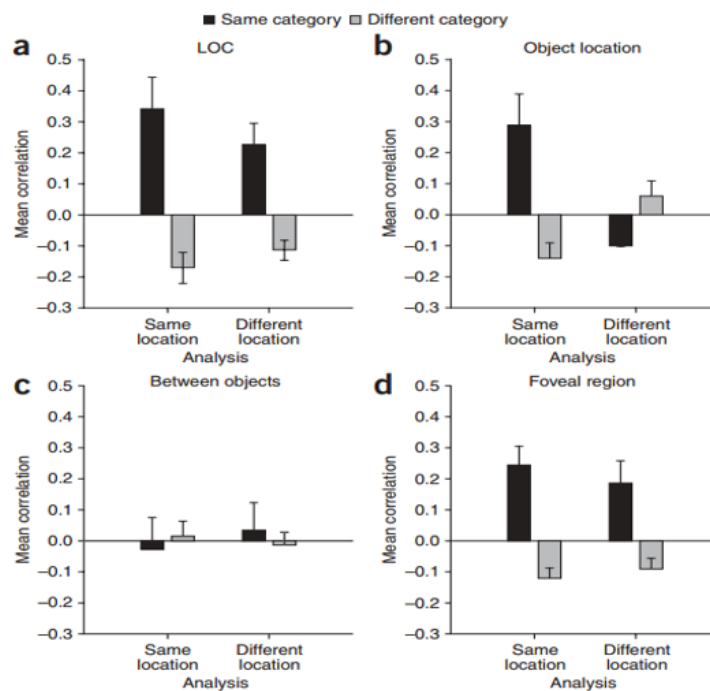


Fig. 6. Correlazioni per condizioni uguale vs. differente categoria ed uguali vs. differenti posizioni in ognuna delle aree d'interesse (Williams et al. 2008).

Sulla base dei risultati dell'esperimento, è stata formulata la teoria del **foveal feedback**:

Le aree della corteccia visiva foveale retinotopica riceverebbero da quelle "high level", tramite attività di feedback, informazioni sul contenuto della periferia visiva al fine di migliorare l'elaborazione visiva nel campo periferico (Williams et al. 2008).

I pattern di attività fMRI nella corteccia foveale conterrebbero informazioni su categorie di stimoli presentati anche a più di 5° fuori dal campo foveale. Quest'informazione oggettiva presenta due caratteristiche che non ci si attenderebbe dalla corteccia retinotopica:

1) Diversa posizione

L'informazione viene rappresentata in una parte della mappa retinotopica (fovea) che non corrisponde alla localizzazione dello stimolo (periferia)

2) Posizione invariante

Il pattern nella corteccia foveale è simile tra differenti posizioni dello stimolo.

Uno studio successivo TMS di Chambers (2013) avrebbe dimostrato che, inibendo temporaneamente l'attività della corteccia foveale, il compito di discriminazione subiva conseguentemente un'alterazione con un picco a 350-400ms dopo l'onset dello stimolo. Questo dato suggerirebbe che l'inibizione della performance sarebbe legata all'attività di feedback più che di feedforward (Williams, 2008).

3. Approfondimento foveal feedback

3.1 foveal feedback e tipologia di compito

Nello studio di Williams è stato inoltre indagato se la corteccia foveale contenga informazioni categoriali quando vengono presentati gli oggetti o solo se i soggetti sono sottoposti ad un compito di discriminazione. I risultati di quest'esperimento indicherebbero che le informazioni oggettuali siano presenti in area foveale solo quando i soggetti eseguono un compito di discriminazione di oggetti ma non quando effettuano una comparazione di colori sugli stessi stimoli (Fig. 7) (Williams et al.2008).

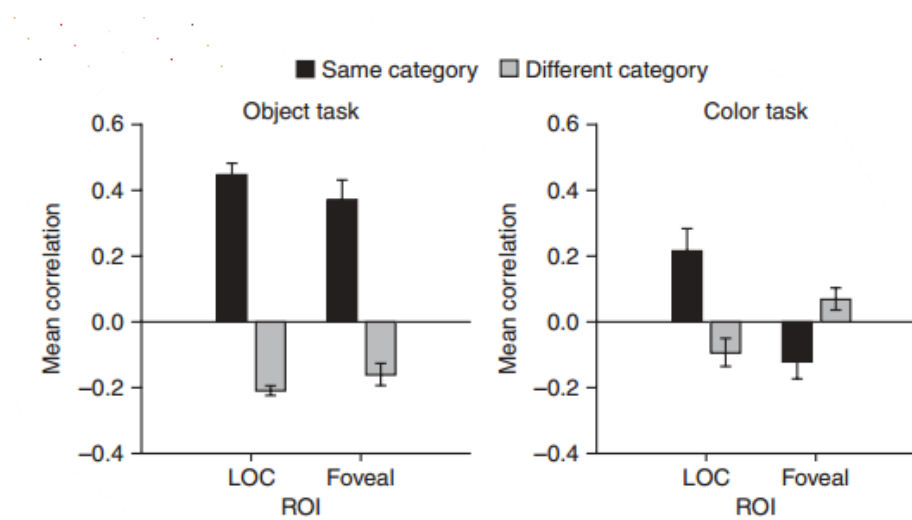


Fig. 7. Correlazioni intra e tra categorie per area LOC e foveale. A destra, i risultati dimostrano la presenza d'informazioni categoriali in area LOC ma non in fovea (Williams et al. 2008).

In un altro studio (Fan et al. 2016) viene fornita ulteriore prova che il foveal feedback dipenda anche dal tipo di compito eseguito. In uno degli esperimenti, infatti, gli stimoli utilizzati contengono segnali di movimento. Nello specifico, ai soggetti viene richiesto di valutare la velocità di movimento di due "patches" di punti random.

I risultati dimostrerebbero che la riduzione della performance rumore-indotta (manipolazione comportamentale della rappresentazione foveale, presentata nel prossimo paragrafo) a 250ms si verificherebbe solo con compiti di discriminazione dove sono disponibili informazioni spaziali fini degli oggetti periferici (Fig. 8) (Fan et al. 2016).

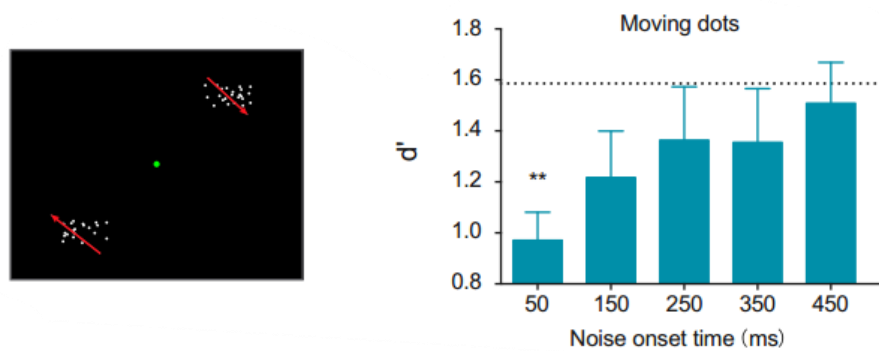


Fig. 8. Due gruppi di dots in movimento presentati nel campo periferico. Ai soggetti viene chiesto di comparare la loro velocità di movimento. A destra, valori d' per vari SOA. Si nota diminuzione solamente a SOA di 50ms (Fan et al. 2016).

3.2 Manipolazione rappresentazione foveale

Gli studi precedenti hanno quindi identificato come la rappresentazione foveal feedback sia legata a compiti di discriminazione periferica. Tuttavia, pochi hanno indagato l'effetto di una manipolazione comportamentale diretta di tale rappresentazione

In uno studio (Yu et al. 2016) è stato infatti presentato uno stimolo fisico in fovea (foveal foil) al fine di influenzare, migliorandola o alterandola, la rappresentazione foveale degli stimoli periferici, per poi analizzare gli effetti su un compito di discriminazione visiva periferica. Il foil foveale poteva essere simile al target periferico, diverso o uno stimolo rumore. Inoltre, veniva reso invisibile tramite mask per evitare risposte bias legate alla sua elaborazione cosciente

Dal momento che studi TMS hanno dimostrato come il feedback corticale possa influenzare la corteccia sensoriale primaria già dopo 80-150ms dalla presentazione dello stimolo, il foil è stato inserito a SOA ("Stimulus-onset asynchrony") di 150ms. Se il timing fosse giusto, dovrebbe esserci un effetto di modulazione da parte del foil sul target (Yu et al. 2016).

Sono stati utilizzati come stimoli due set di oggetti tridimensionali e nuovi (cubie e smoothie). Ognuno di questo set contiene otto esemplari. In questi due set, un esemplare veniva utilizzato come target mentre gli altri come non target. Un'altra categoria di stimoli (Spikie) è stato invece usato per creare un terzo set "disordinato", di cui un esemplare estratto come mask mentre gli altri come stimoli rumore.

Durante il compito di discriminazione, i partecipanti osservavano un punto di fissazione centrale. In ogni trial, viene presentato per 50ms un oggetto nel quadrante visivo upper-right ad eccentricità di 10°. 150ms dopo l'onset del target periferico, uno stimolo foil foveale viene presentato al centro dello schermo per 33ms e poi mascherato. Ogni trial era seguito da un intervallo di 800ms. Tranne quando il foil foveale veniva mostrato, il mask rimaneva nello schermo durante l'esperimento al fine di minimizzare l'influenza dell'onset dello stimolo alla fovea (Yu et al. 2016).

Per ottenere una misura quantitativa della percezione cosciente dello stimolo foveale, è stato utilizzato un paradigma di doppio compito. In primis, i partecipanti dovevano giudicare se lo stimolo presentato in periferia fosse target o non target, per poi dire se l'oggetto in fovea fosse un cubo o smoothie (Fig. 9) (Yu et al. 2016).

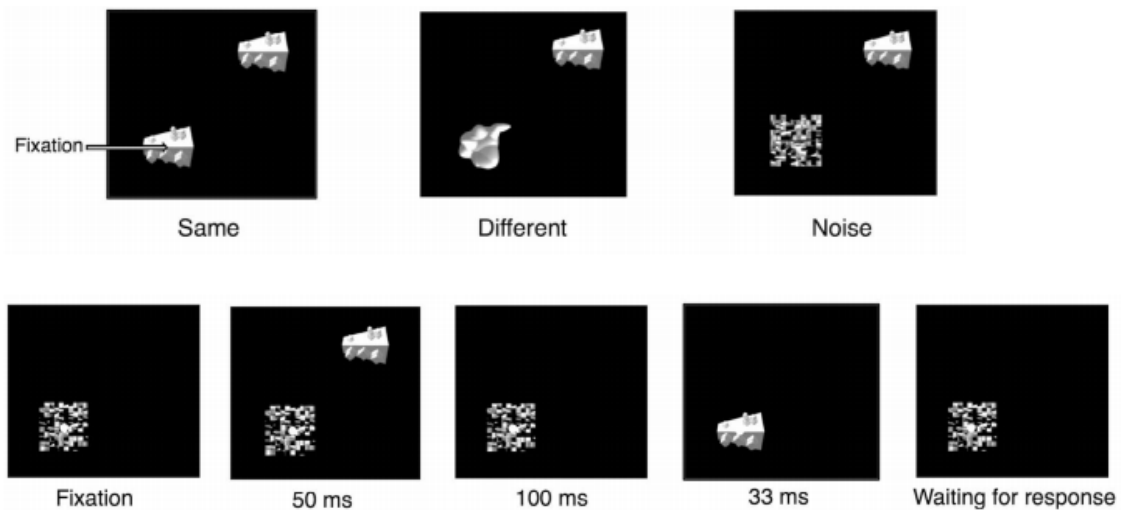


Fig. 9. In alto. Esempio delle tre configurazioni del foil. In basso. Diagramma esperimento (Yu et al. 2016).

Per capire se il foil foveale veniva percepito coscientemente, è stato calcolato in primis l'indice di sensibilità (d') per il foil per ogni partecipante. Nella condizione noise, non ci sono stati risultati d' , visto che c'era scelta forzata se il foil fosse un cubo o smoothie. I risultati non rivelerebbero identificazione consapevole del foil e, quindi, qualsiasi differenza nella discriminazione periferica non sarebbe legata alla sua percezione cosciente (Yu et al. 2016).

Successivamente, è stata analizzata l'influenza del foil sulla discriminazione visiva di uno stimolo periferico la principale questione dell'esperimento. I risultati indicano che il foil caratterizzato da oggetti high-level migliorerebbe, se identico al target periferico, la performance di discriminazione (Fig. 10) (Yu et al. 2016).

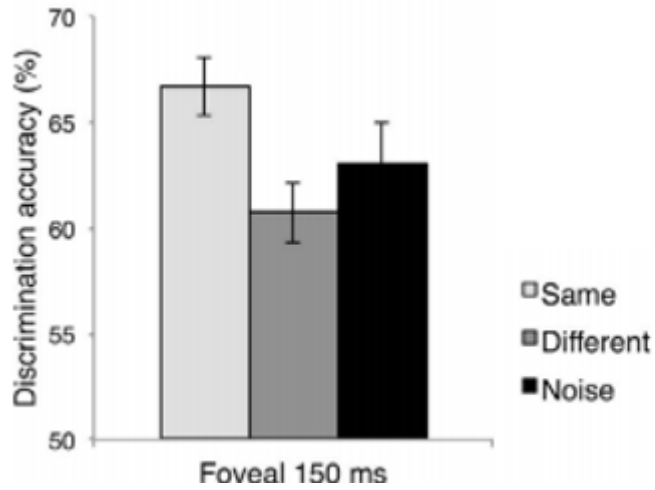


Fig. 10. Accuratezza media dell'oggetto periferico nella condizione uguale, differente e rumore (Yu et al. 2016).

3.3 Funzionalità foveal feedback

La presenza di rappresentazione in fovea è quindi un epifenomeno o ha una rilevanza comportamentale? Nello studio di Williams, sono stati raggruppati dati di circa sei esperimenti. In area foveale, sia l'accuratezza comportamentale che l'informazione oggettuaumentano gradualmente lungo il corso di ogni blocco (Fig.11) (Williams et al. 2008). Quindi, informazioni più forti nella corteccia foveale correlerebbero con migliori performance comportamentali (Williams et al. 2008).

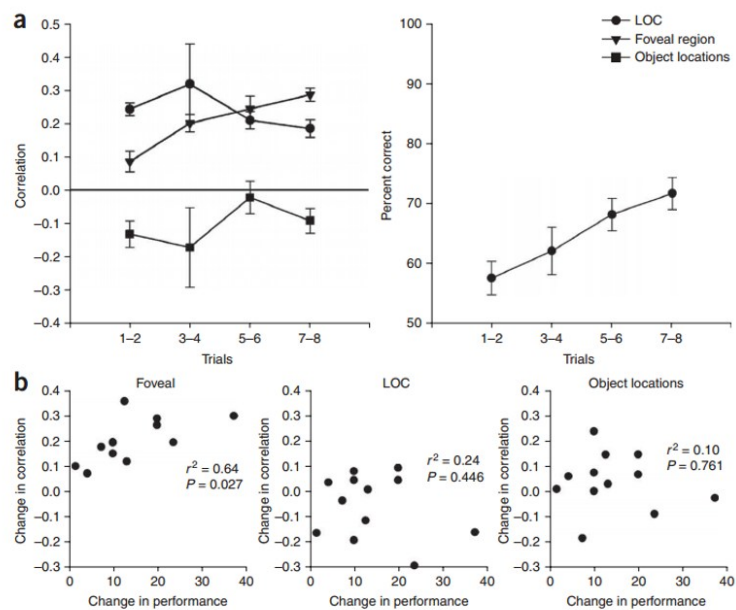


Fig. 11. Sopra. Corso temporale e rilevanza comportamentale dell'informazione position-invariant in varie ROI cerebrali; In basso. Scatter plots che mostrano correlazione tra aumento performance ed aumento informazione oggettuaumentano in ogni ROI. Come si nota, l'informazione categoriale correla con la performance solo nella corteccia retinotopica foveale (Williams et al. 2008).

In che modo l'informazione oggettuaumentano influenza la performance? L'ipotesi è che i soggetti, con il procedere dell'esperimento, formino una rappresentazione mentale più precisa di una certa categoria oggettuaumentano (correlata con un aumento d'informazione categoriale in area foveale). Queste informazioni porterebbero ad ipotizzare che la corteccia foveale possa fungere da pad per elaborare o immagazzinare informazioni visive compito rilevanti, in linea con precedenti teorie che vedono V1 non come il primo stadio di un percorso feedforward (o l'ultimo in una visione dell'attività cerebrale top-

down) ma, piuttosto, l'unico sistema di buffer ad alta risoluzione del sistema visivo per le elaborazioni geometriche (Williams et al. 2008).

Un'ulteriore spiegazione del coinvolgimento foveale sarebbe legata ad una tendenza a foveare stimoli periferici e pertanto, il sistema visivo potrebbe aver creato dei meccanismi per coinvolgere l'elaborazione corticale foveale prima della saccade. In uno studio (Ramezani et al. 2019) viene chiesto in primis se un oggetto presentato fosse, sulla base delle caratteristiche di forma apprese prima, o meno un target.

Successivamente, è stato somministrato un esperimento di doppio compito, in cui un oggetto è stato presentato nel quadrante visivo superiore destro per 100ms, mentre un piccolo disco è stato presentato in quello inferiore sinistro. Ai soggetti veniva richiesto in primis di riportare se l'oggetto fosse o meno target e poi di effettuare una saccade verso il piccolo disco riportando se fosse intatto o meno. I rumori patch venivano presentati sia al punto di fissazione originale che alla destinazione della saccade.

In questa seconda parte di esperimento, si nota come la performance non viene più alterata dal rumore foveale, né a SOA di 150 né a nessun altro SOA (Fig. 12)

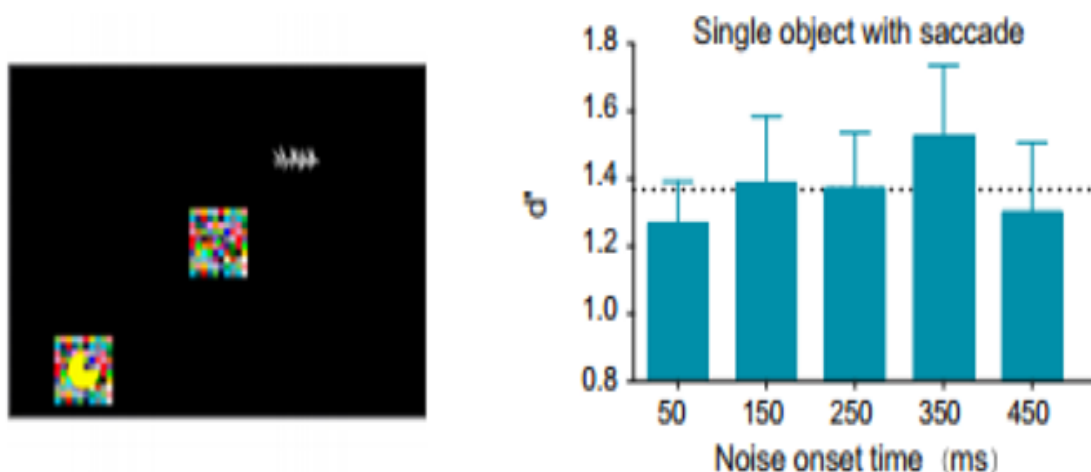


Fig. 12. Sinistra. Esperimento di doppio compito. L'oggetto in alto a destra del campo visivo è stato presentato per 100ms, mentre il disco in basso a sinistra viene presentato per 500ms. Ai soggetti viene richiesto di effettuare discriminazione sullo stimolo in alto a destra e una saccade verso lo stimolo in basso a sinistra. Destra. Risultati, non si nota effetto del noise (Ramezani et al. 2019).

I dati di eyetracking dimostrerebbero che i soggetti tipicamente iniziano le saccadi lontano dall'oggetto tra 200 e 300 ms (Fig. 13). Quindi, col SOA a 150MS, i soggetti stanno ancora fissando il punto centrale. Questo dato suggerisce che la programmazione e la direzione della saccade giochi un importante ruolo nell'interazione tra lo stimolo oggettuale periferico e il rumore foveale.

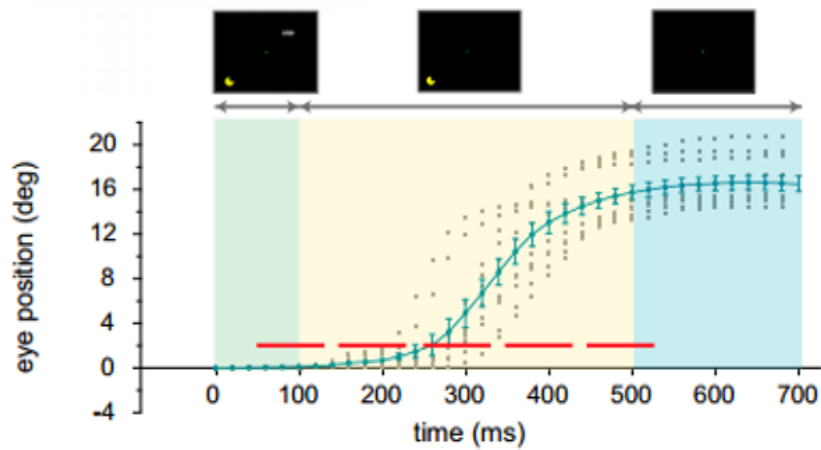


Fig. 13. Posizione oculare media dopo l'onset dell'oggetto. Valori positivi indicherebbero movimenti oculari attorno al disco nel campo visivo in basso a sinistra. I movimenti oculari iniziano 200-300ms circa dopo l'onset dello stimolo (Ramezani et al. 2019).

3.4 Foveal Feedback e tipologia di stimolo

L'influenza del foil si presenta anche con caratteristiche visive low-level di base? In un esperimento (Yu et al. 2016) i partecipanti devono discriminare l'orientamento delle grate presentate perifericamente mentre sono concentrati su un punto di fissazione centrale. In ogni trial, uno stimolo target "grata" viene presentato per 50ms nel quadrante superiore destro (eccentricità di 10gradi). Il foil centrale viene presentato mascherato per 33ms a SOA di 150ms. I foil foveali erano di tre tipi:

1) grata con orientamento uguale al target

2) grata con orientamento ortogonale al target

3) plaid che non contiene alcun orientamento del target (condizione rumore)

In ogni trial, i soggetti prima riportano l'orientamento del target periferico (inclinazione sx o dx) e successivamente l'orientamento della grata aggiuntiva apparsa in fovea (fig. 14).

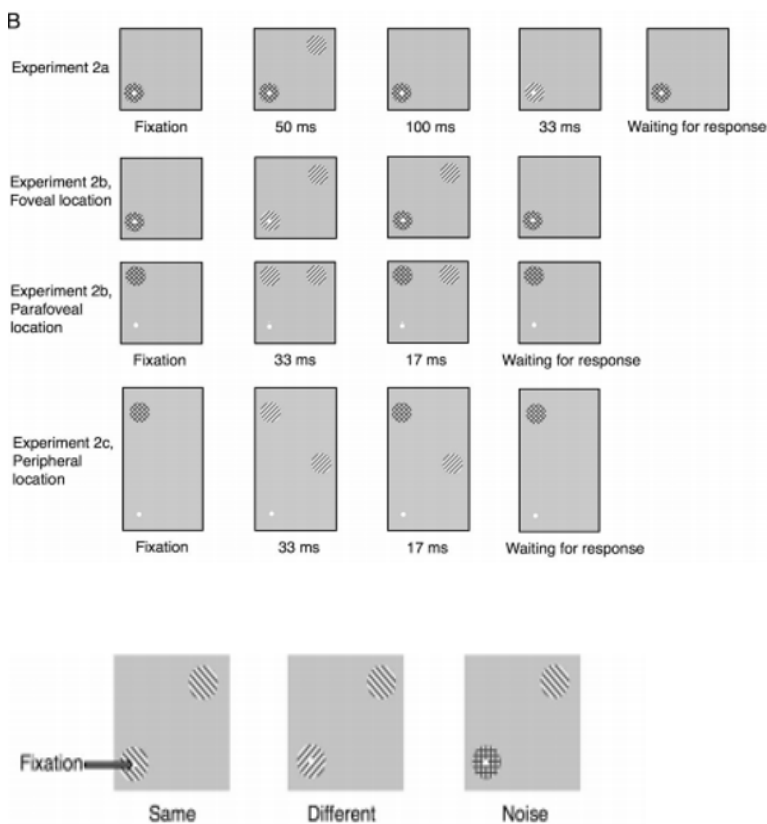


Fig. 14. In alto. esperimento e condizioni foil. In basso. Tipologie Foil (Yu et al. 2016).

Sono stati poi indagati i valori di discriminazione dei target periferici per ogni tipologia di foil. Dai risultati non si notano differenze in base alla tipologia di foil centrale (Fig. 15). La mancanza d'effetto del foil foveale per caratteristiche di basso livello, suggerirebbe che l'effetto del foveal feedback sia specifico con stimoli che contengono informazioni spaziali fini e che l'informazione foveale riguardi compiti di discriminazione di natura oggettiva che coinvolgono alti dettagli spaziali (Fan et al. 2016).

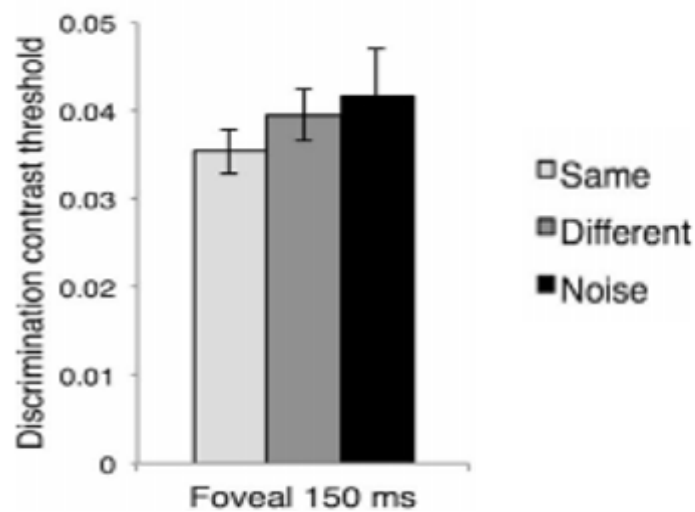


Fig. 15. Soglia media di contrasto nelle varie condizioni foil dell'esperimento (Fan et al. 2016).

Anche in un altro studio (Fant et al. 2016) viene confermata la specificità del fenomeno, dal momento che gli stimoli utilizzati avevano bassa frequenza spaziale (Fig.16).

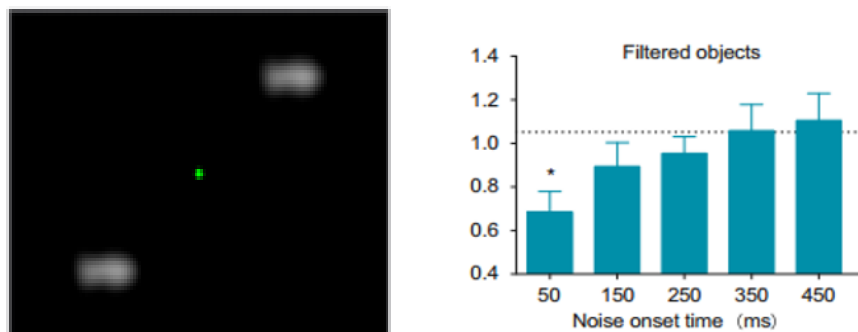


Fig. 16. A sinistra, Stimoli target a bassa frequenza spaziale derivati da spikes presentati in periferia visiva A destra, risultati (Fan et al. 2016).

3.5 Timing Foveal Feedback

L'informazione foveale ha effetto su una finestra temporale ampia o ristretta? In questo studio, sono stati presentati stimoli uguali o leggermente differenti per 100ms in quadranti diagonali ai lati del punto di fissazione (alto/destra e basso/sinistra o basso/destra e alto/sinistra). I soggetti dovevano decidere, sulla base delle caratteristiche dettagliate degli oggetti, se quest'ultimi fossero uguali o differenti. Un rumore dinamico è stato poi presentato per 83 ms nella regione foveale a diversi SOA (stimulus onset asynchronies), di 50, 150, 250, 350 e 450 dopo l'onset delle immagini oggettuali. (Fan et al. 2016). La performance dei soggetti (rappresentata come indice d') è chiaramente dipesa dal SOA del rumore foveale legato agli oggetti periferici. (Fig. 17)

Questo studio ha mostrato che l'elaborazione foveale venga alterata dopo 250ms dall'onset dell'immagine oggetto periferico, momento consistente con il coinvolgimento delle regioni corticali foveali. Per quanto concerne la caduta della performance a SOA di 50ms, il rumore foveale si sovrappone agli oggetti periferici e, così facendo, allontanerebbe l'attenzione dagli stimoli (Fan et al. 2016).

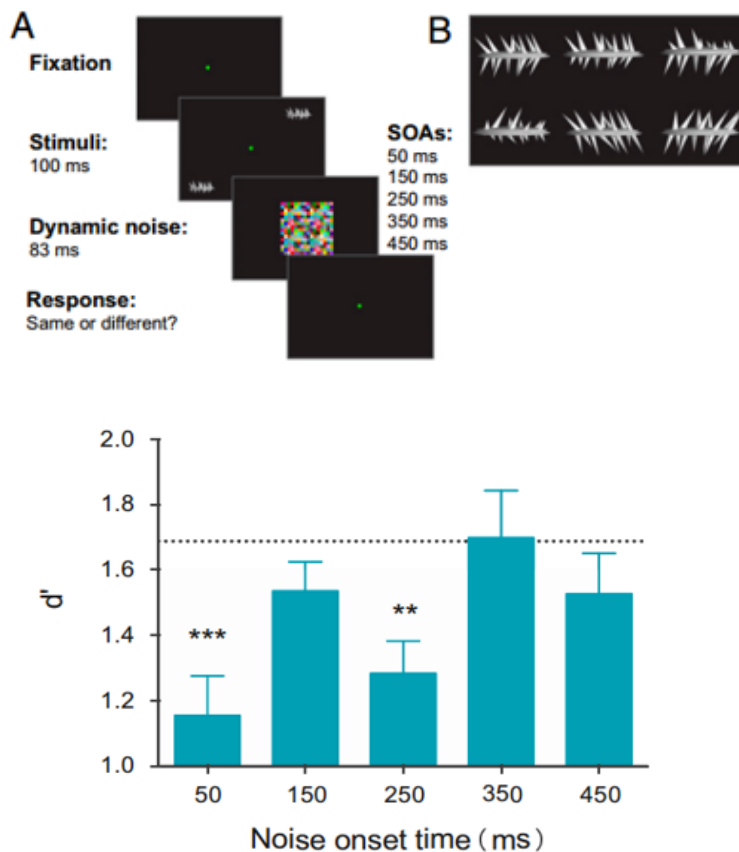


Fig. 17. In alto. Stimoli selezionati dal set spikey (destra) vengono presentati per 100ms in quadranti diagonali su due lati del punto di fissazione e i soggetti devono eseguire decisione uguale/differente premendo un bottone. Inoltre, un rumore dinamico viene presentato in fovea per 83ms a differenti SOA (sinistra). In basso. Indice d' (sensibilità alla discriminazione oggettiva) a differenti SOA. Si manifesta caduta significativa a SOA di 50 e 250ms (Fan et al. 2016).

Sono poi stati effettuati tre esperimenti di controllo per escludere spiegazioni alternative per l'effetto d'interferenza ritardato:

1) Riduzione del rumore a 4x4

L'alterazione si mantiene a 250ms

2) Noise periferico

Non si verifica effetto alterazione

3) Posizione stimoli periferici

Il rumore foveale a 250ms è efficace anche quando gli oggetti periferici sono presentati sopra il punto di fissazione e il rumore foveale non appare in mezzo questi ultimi.

Questi dati implicherebbero fortemente che la corteccia foveale ad un certo momento verrebbe coinvolta. Ma l'elaborazione foveale viene richiesta quando il processamento feedforward si propaga ad alti livelli o solo quando vengono richieste informazioni su dettagli fini? Nell' esperimento di Fan (2016), per analizzare la natura del timing del coinvolgimento foveale, sono stati presentati due oggetti periferici in orientamenti differenti, di cui uno orizzontale mentre l'altro ruotato su un certo angolo. Ai soggetti veniva chiesto in primis di ruotare gli oggetti e poi di valutare se fossero uguali o differenti. L'esperimento è stato diviso in una condizione "**mental rotation**" ed in una "**no mental rotation**" e sono stati analizzati i tempi di reazione. Nella prima condizione, il tempo di reazione medio era più ampio rispetto alla seconda ed aumentava con l'aumentare dell'angolo di rotazione

È stato poi somministrato l'esperimento principale, per vedere se ci fosse una correlazione tra il grado di spostamento temporale con il grado di angolo di rotazione. Le differenze angolari tra i due oggetti erano di 0, 40, 80 gradi (Fig. 20). Nella condizione "no mental rotation", viene replicata la caduta della performance a 250ms mentre nella condizione a 40° è spostata a 450ms ed a 80° si presenta a 550ms

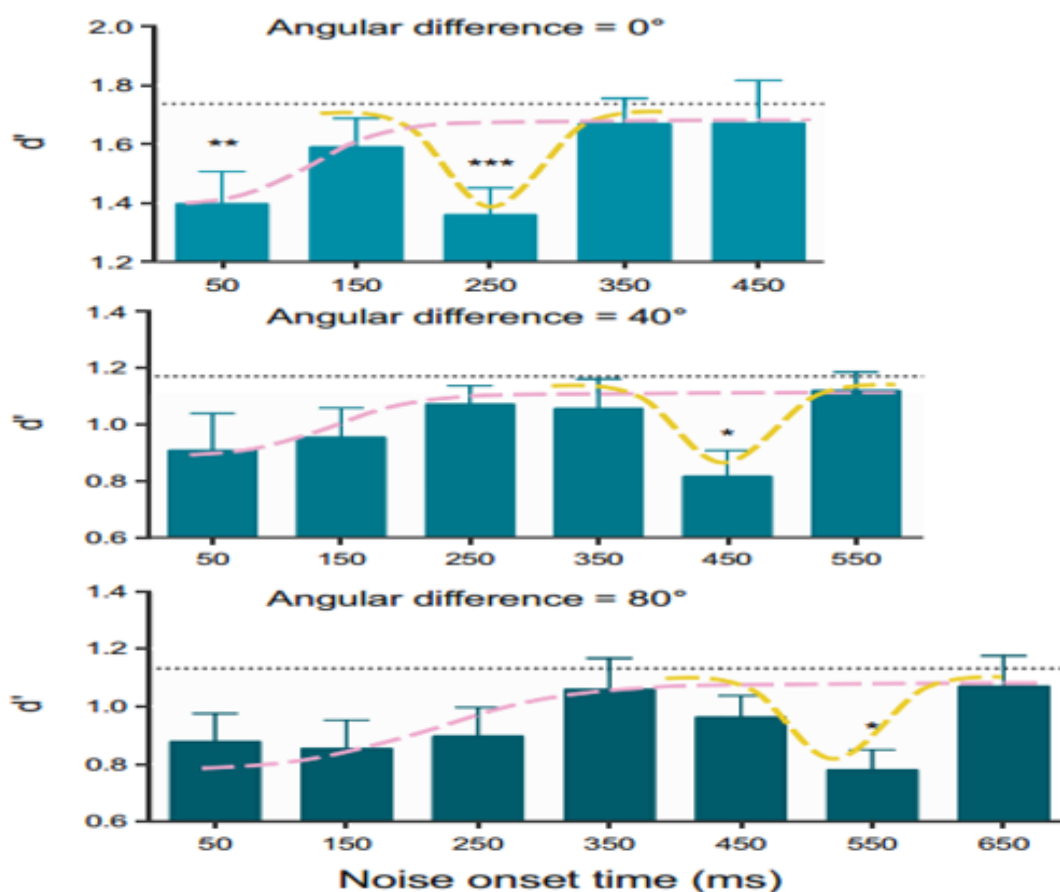


Fig. 18. Effetti della rotazione mentale sull'elaborazione foveale. Sopra: Nessuna rotazione mentale quando la differenza angolare è 0°. Si replica efficacia rumore a SOA di 250ms. Medio: Differenza angolare di 40°. L'efficacia del rumore viene spostata a 450ms. Basso: Differenza angolare di 80°. L'efficacia del rumore viene spostata a 550ms (Fan et al. 2016).

I risultati dal compito di rotazione mentale mostrerebbero quindi che l'elaborazione corticale foveale sarebbe flessibile e cambierebbe in base ai processi richiesti a livelli corticali più elevati (Fan et al. 2016).

3.6 Possibili alternative al foveal feedback?

L'effetto dell'elaborazione foveale sulla performance periferica può essere spiegato senza prendere in considerazione l'esistenza del fenomeno del foveal feedback?

1) Fonte del segnale alternativa?

È possibile che l'area foveale mostri pattern di risposta da attribuire invece all'area Object location per via di artefatti? Dallo studio di si evince come l'area foveale mostri informazioni categoriali "position invariant", caratteristica non presente nelle aree periferiche (Williams et al. 2008).

2) Elaborazione in fovea?

E se i partecipanti stessero elaborando gli stimoli in fovea? È improbabile perché l'elaborazione in fovea di uno dei due stimoli porrebbe l'altro così in periferia che la performance del compito sarebbe praticamente impossibile (Williams et al. 2008).

3) Effetti fissazione centrale?

I pattern individuati in area foveale potrebbero essere frutto della fissazione della croce? In un esperimento (Williams et al. 2008), la fissazione centrale è stata eliminata e sono state poste 4 croci nei luoghi di comparsa degli oggetti target. Ai soggetti è stato richiesto di fissare il punto d'intersezione delle quattro croci. I risultati venivano replicati.

4) Foveal Feedback o visione tunnel?

La caduta nella performance di categorizzazione periferica a seguito del foil foveale potrebbe essere dovuta al fenomeno della visione tunnel? (perdita di attenzione al compito periferico quando quello foveale acquisisce elevata priorità) Ai soggetti non viene richiesto alcun compito in fovea tranne quello di fissazione (Ramezani et al. 2019).

3.7 Foveal feedback e livelli di astrazione categoriale

Come abbiamo visto, il timing del foveal feedback è flessibile e dipenderebbe dalle richieste del compito. Ma il foil influenza la discriminazione periferica a qualsiasi livello di astrazione?

In uno studio (Ramezani et al. 2019), è stata misurata la performance della visione periferica nella categorizzazione, su 3 livelli di categorizzazione (sovraordinata, basica e subordinata), d'immagini di oggetti naturali (Fig. 19) mentre veniva manipolata la rappresentazione foveale, per indagare gli effetti del foil sul compito (Ramezani et al. 2019). Nello studio, sono state utilizzate immagini da differenti categorie, sia animali (uccelli, mammali e rettili) che non (macchine, strumenti da cucina ed altri oggetti fatti dall'uomo).



Fig. 19. Esempi d'immagini da differenti categorie (Ramezani et al. 2019).

Il compito di categorizzazione periferica è stato somministrato in due condizioni, una con mask foveale ritardato a diversi SOA e una seconda senza utilizzo del mask. Le immagini degli oggetti, in entrambi gli esperimenti, sono state presentate a 9 posizioni egualmente distanziate sullo schermo in un intervallo di eccentricità da -24 a +24 gradi su un'ipotetica linea orizzontale. (0 è visione foveale) (Fig. 20) (Ramezani et al. 2019).

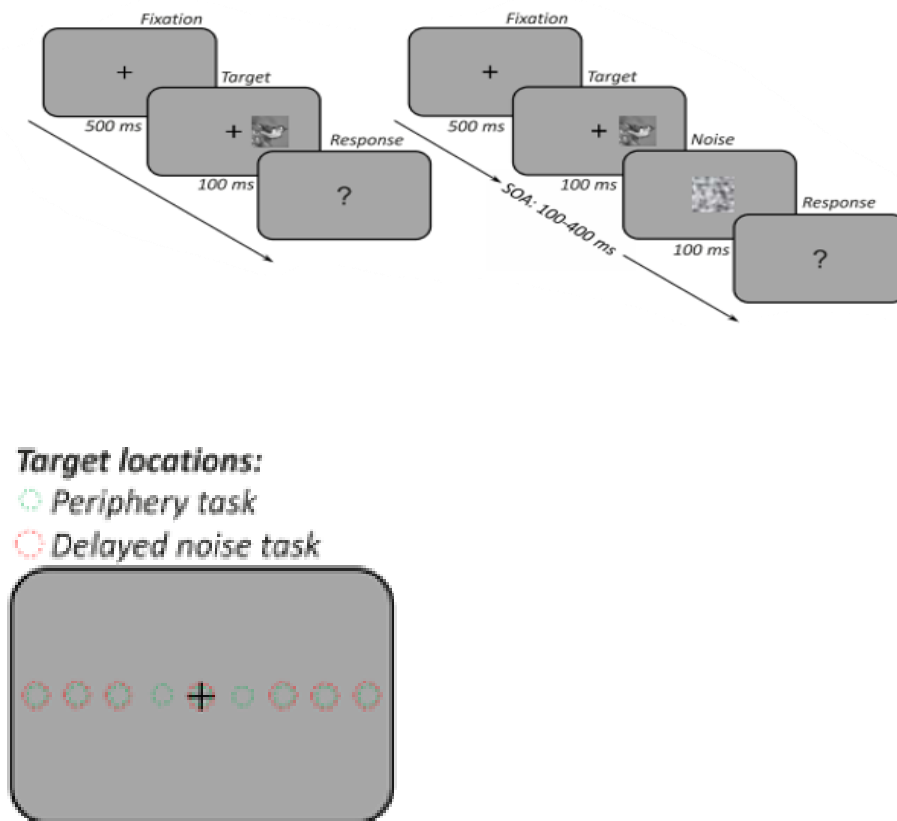


Fig. 20. In alto. categorizzazione oggettuale periferica senza mask (sinistra) e categorizzazione periferica con mask dinamico presentato per 100ms (destra). In basso. Differenti posizioni di presentazione degli stimoli (Ramezani et al. 2019).

Nella prima parte dell'esperimento è stato quindi indagato se soggetti umani riescano a categorizzare immagini presentate perifericamente. L'accuratezza media della categorizzazione nel campo visivo centrale sembra essere leggermente ma significativamente migliore a livelli sovraordinati e base rispetto a quelli subordinati, confermando un vantaggio sovraordinato per quanto riguarda il campo visivo centrale (Ramezani et al. 2019).

Tuttavia, l'accuratezza manifesta una caduta significativa in funzione del grado di eccentricità. Al massimo livello di eccentricità, l'accuratezza si mantiene all'80% per il livello sovraordinato, mentre diminuisce al 60% a livello subordinato (Fig. 21).

Si manifesta quindi un'interazione tra livello di categorizzazione e di eccentricità. Nella pratica, quindi, in visione periferica, è più facile individuare un animale ma è molto più difficile dire cosa sia e di che specie (Ramezani et al. 2019).

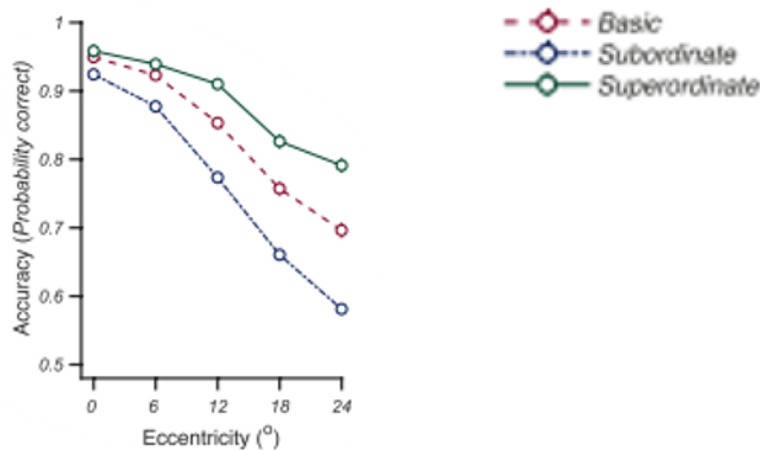


Fig. 21. Performance di categorizzazione in condizione no mask (Ramezani et al. 2019).

È stata calcolata anche la mediana dei tempi di reazione per ogni livello di categorizzazione e di eccentricità sia nella condizione no mask che col mask a differenti SOA. Nella prima condizione, i soggetti erano più veloci nella categorizzazione superordinata e più lenti in quella subordinata in tutti i livelli di eccentricità testati. Nella condizione mask, invece, il noise viene presentato a diversi SOA e studiato per ogni livello di astrazione ed ogni grado di eccentricità. Come si vede dai risultati, il foveal noise influenzerebbe l'accuratezza della categorizzazione periferica a livello basico e subordinato ma non a livello sovraordinato.

Nello specifico, nella condizione di categorizzazione base, l'accuratezza diminuisce del 6,9% a SOA di 300ms a partire dai 12° di eccentricità (In linea con i dati per cui il più alto declino nell'accuratezza di categorizzazione si ha a SOA di 250ms.). La percentuale è del 5,41% per quanto riguarda il livello subordinato. A livello sovraordinato, il noise non influenza l'accuratezza della categorizzazione periferica in nessuno dei livelli di eccentricità. I tempi di reazione, invece, aumentano in funzione dei SOA anche a livello sovraordinato. (Ramezani et al. 2019) (Fig. 22).

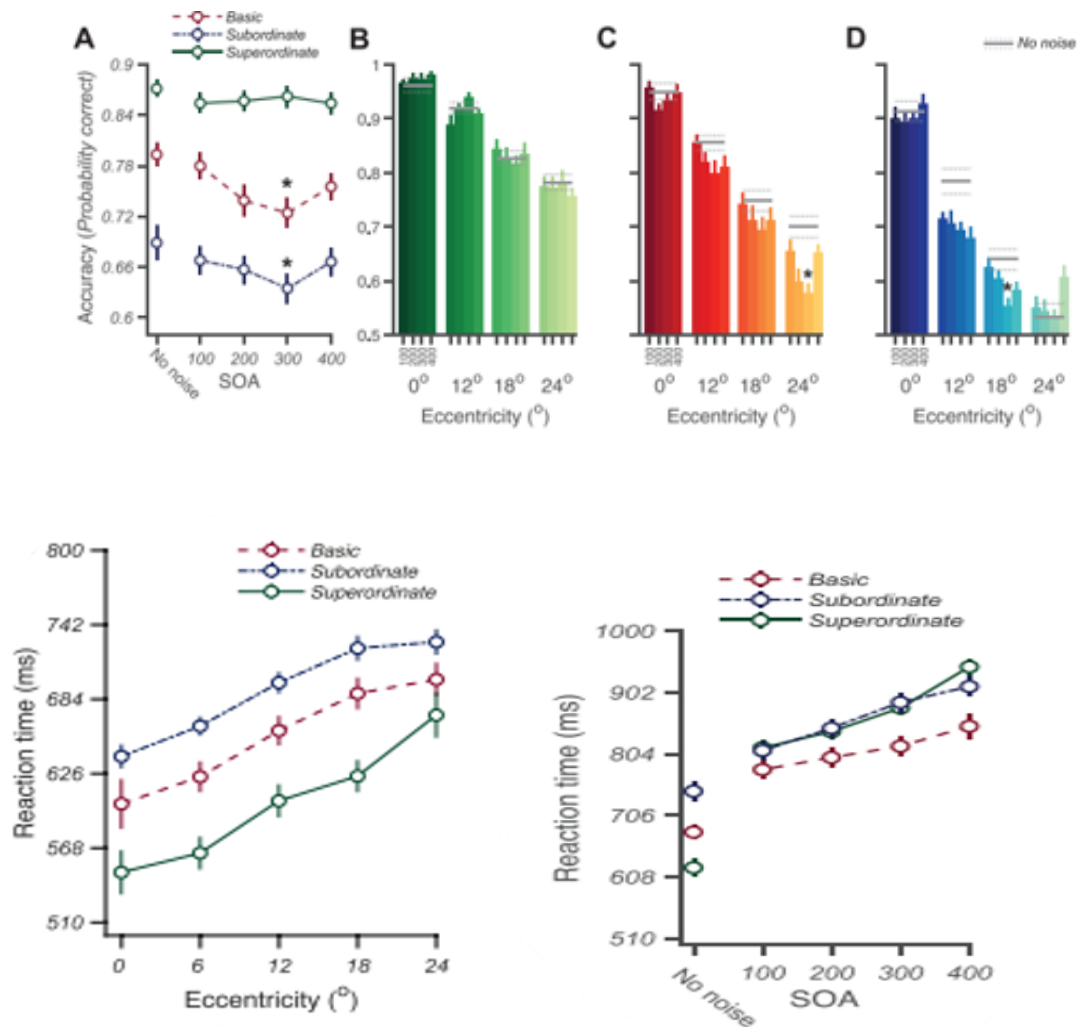


Fig. 22. In alto. Accuratezza media a livello sovraordinato, base e subordinato in funzione dei SOA. Accuratezza media presentata per ogni SOA ed eccentricità a livello sovraordinato, base e subordinato. In basso. Tempi di reazione medi a vari gradi di eccentricità e a differenti livelli di categorizzazione nella condizione no mask. (Sinistra) ed in funzione del SOA (Destra) (Ramezani et al. 2019).

I risultati suggerirebbero quindi che, almeno per la categorizzazione periferica ad alti livelli (es. Individuare se uno stimolo è un animale). l'informazione visiva periferica sarebbe sufficiente. Una categorizzazione più fine, invece (es. Individuare un piccione) avrebbe bisogno di una saccade verso l'oggetto target, necessitando quindi del contributo del feedback foveale, come dimostrato dalla caduta della performance a seguito del noise (Ramezani et al. 2019).

Nello specifico, infatti, i soggetti potrebbero facilmente categorizzare immagini a livello sovraordinato (accuratezza dell'80%) anche a 24 gradi di eccentricità. mentre, per categorizzazione subordinata, la performance non superava il caso al più lontano grado di eccentricità (24 gradi).

Questa visione è in linea con il dato della **preview parafoveale** secondo cui, quando si presta attenzione ad un target periferico prima di una saccade, le caratteristiche visive elaborate parafovealmente faciliterebbero il riconoscimento del target dopo la saccade verso quest'ultimo. Misure fisiologiche in diversi studi hanno mostrato attivazioni presaccadiche in diverse aree neurali dove i neuroni diventano responsivi a stimoli visivi che sarebbero condotti nel loro campo recettivo grazie ad una saccade imminente.

I risultati, infine, sarebbero consistenti con alcune teorie di letteratura circa l'attività feedback del sistema visivo:

1) Teoria gerarchia inversa:

L'iniziale elaborazione feedforward lungo la corteccia visiva fornirebbe un "suggerimento" alle aree visive high level riguardo l'input dell'immagine e poi informazioni dettagliate vengono richieste tramite interazioni feedback con le aree più "basse".

2) Teoria facilitazione top-down

Un'immediata idea su un oggetto viene effettuata in primis grazie ad informazioni di bassa frequenza spaziale proiettate velocemente alla corteccia prefrontale. Successivamente, connessioni feedback top-down modulerebbero le informazioni feedforward tardive di alta frequenza spaziale proiettate alla corteccia IT, in maniera da facilitare la categorizzazione oggettiva a livelli più fini.

I dati dell'esperimento suggerirebbero che la finestra temporale di 300ms sarebbe importante per l'esecuzione di discriminazioni periferiche, probabilmente prima che una saccade fovei l'oggetto target. La caduta di accuratezza sarebbe dovuta all'inconsistenza tra il feedback periferico top-down (dell'oggetto target) e l'informazione tardiva dettagliata feedforward (del rumore masked) (Ramezani et al. 2019).

3.8 Considerazioni finali

Presi insieme, i risultati dei vari studi presentati suggerirebbero che il sistema di foveal feedback giocherebbe un ruolo importante nella coordinazione tra percezione visiva foveale e periferica e può contribuire ad una categorizzazione più fine in periferia. Studi futuri dovrebbero far luce su come le aree del cervello siano coinvolte in questi processi, che tipo d'informazione visiva viene riportata alla corteccia foveale e la dinamica temporale di queste interazioni feedback (Ramezani et al. 2019).

CAPITOLO III

RELAZIONE MENTAL IMAGERY E FOVEAL FEEDBACK

1. Foveal Feedback e Mental Imagery: analisi di uno studio condotto

1.1 Foveal feedback e discriminazione periferica

Come già discusso precedentemente, la corteccia foveale fungerebbe, in compiti di discriminazione visiva periferica, da unità computazionale accessoria. Infatti, l'utilizzo di un mask foveale ritardato a SOA di circa 150ms può influenzare la performance in base alla congruenza di quest'ultimo col target. Nello specifico, si verifica un effetto di miglioramento quando il mask presenta caratteristiche visive simili al target (condizione congruente) mentre altera la performance in caso sia uno stimolo rumoroso (condizione incongruente).

Ancora, il timing dell'effetto del mask foveal può essere ritardato laddove viene aggiunto un compito cognitivamente complesso, ad esempio un compito di rotazione mentale (Fan et al. 2016). L'alterazione della performance potrebbe essere spiegata dalla prossimità temporale della rappresentazione feedback e del mask foveale, che causerebbero un contrasto d'informazione tale da alterare la rappresentazione interna degli stimoli periferici.

Il mask influenzerebbe la soglia di discriminabilità (indice d' prime). Inoltre, in questo intervallo temporale, i soggetti adotterebbero un bias di tipo conservativo nei criteri decisionali (Più risposte "differenti"). Secondo la teoria della detezione del segnale, il bias rappresenta la soglia decisionale individuale utilizzata per categorizzare gli stimoli come segnali o rumore. Questo significa che il foveal mask interferirebbe a diversi stadi, da quelli più precoci di rappresentazione percettiva a quelli più tardivi legati a processi decisionali (Contemori et al. 2024).

Tuttavia, il timing dell'impatto del mask può mostrare delle variazioni. Ricerche precedenti hanno infatti riportato un range che varia da 50 a 350ms. Come abbiamo visto, la variazione può essere legata anche alle operazioni mentali richieste prima di effettuare il compito di comparazione. Inoltre, anche differenze individuali influenzerebbero questa variazione, dal momento che sono state identificate differenze di timing non solo a livello sperimentale ma anche tra i vari soggetti nello stesso esperimento (Contemori et al. 2024).

Considerando il ruolo della fovea come accessorio rappresentazionale ad alta risoluzione di stimoli periferici al fine di migliorare la precisione nella decisione percettiva e la presenza di significative differenze individuali in fattori quali vividezza, precisione o expertise, in questo studio è stato ipotizzato che parte della variabilità legata all'effetto mask sia legata a differenze individuali nella rappresentazione mentale degli stimoli periferici (Contemori et al. 2024).

1.2 Ipotesi studio

In questo paragrafo verrà quindi presentata una ricerca che ha indagato la relazione tra immaginazione ed effetto foveal feedback. Nello specifico, l'esperimento ha avuto come obiettivo l'analisi di una possibile correlazione tra le variazioni della performance di discriminazione indotte dal mask foveale, come rappresentato dai cambiamenti ai punteggi al d' prime e i diversi questionari progettati per valutare il mental imagery (Contemori et al. 2024).

È stata investigata in primis una correlazione tra vividezza mental imagery e punteggi d' in una condizione baseline in assenza di mask foveale, con l'idea che soggetti con livelli di vividezza più alta presentino migliori performance al compito di discriminazione. Un risultato nullo in generale sfiderebbe la visione di un diretto collegamento tra foveal feedback e mental imagery.

Successivamente, abbiamo indagato due ipotesi principali legati alla possibilità che la vividezza moduli gli effetti del mask sulla performance di discriminazione:

1) Suscettibilità

I soggetti con sviluppata immaginazione esperiscono aumentata suscettibilità alla distruzione causata dal mask foveale, portando ad una correlazione negativa tra punteggi di mental imagery e performance (punteggio d') mask relata.

2) Resilienza

I soggetti con sviluppata immaginazione possono manifestare aumentata resilienza agli effetti distruttivi del foveal mask, portando ad una correlazione positiva tra punteggi d'imagery e performance mask relata.

2. Metodo

2.1 Esperimento

L'esperimento è stato somministrato a 64 soggetti (40 identificatesi come donne), di età compresa tra 19-39 anni e con normale o corretta visione, in un periodo tra settembre 2022 e luglio 2023.

I partecipanti hanno preso parte in un primo momento ad un compito di discriminazione percettiva periferica "uguale/differente" con l'aggiunta di un mask centrale dinamico. Lo stimolo foveale mask viene presentato per 50ms a SOA che variano da 0 a 400ms, insieme ad una condizione "no rumore" (nessun mask viene presentato in fovea) include circa 600 trial divisi in tre blocchi, preceduti da un blocco pratica di 80 trial. Durante quest'ultimo, è stato fornito un feedback per ogni risposta corretta. In ogni trial, due target vengono presentati per 100ms e successivamente viene presentato, a vari SOA, un mask colorato dinamico foveale di dimensione 7x7 per 83ms.

Come anticipato, è stata inclusa anche una condizione baseline in cui non viene utilizzato alcun rumore mask. è stato infine utilizzato un Eye tracker (Gazepoint GP3) per garantire che il punto di fissazione rimanesse entro due gradi dal punto centrale di fissazione (in maniera da assicurare che i partecipanti stiano utilizzando la visione periferica durante il compito).

Come stimoli target sono stati utilizzati "spike" tridimensionali, di dimensione 3x15, variabili nella lunghezza ed orientamento delle spine. Entrambi gli stimoli sono stati presentati a livelli di eccentricità di 7 gradi (Fig. 23).

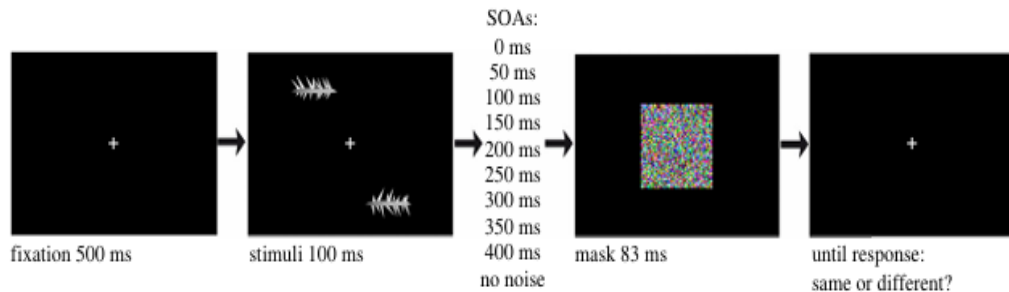


Fig. 23. Schema esperimento. Due figure “Spike”, che differiscono per lunghezza ed orientamento delle spine superiori e inferiori, appaiono brevemente per 100ms agli angoli opposti del campo visivo. Viene poi presentato un mask rumore dinamico in visione centrale per 83 ms a SOA differenti: 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400ms. Nella condizione baseline, non viene presentato il mask. In ogni trial vengono randomicamente selezionate due figure da un pool di 1296 possibili, con la stessa probabilità di essere “uguali” o “differenti” (Contemori et al. 2024).

Nella seconda parte dello studio, invece, ai partecipanti sono stati somministrati, senza alcun limite di tempo, due questionari per valutare le loro abilità immaginative:

1) Vividness of Visual Imagery Questionnaire (VVIQ)

Come già anticipato nella prima parte dell'elaborato, il VVIQ è uno strumento self-report sviluppato da Marks nel 1973 che valuta le capacità rappresentative dei soggetti e nello specifico la vividezza delle immagini mentali generate.

2) Object-Spatial Imagery and Verbal Questionnaire (OSIVQ)

Sviluppato da Blazhenkova & Kozhevnikov nel 2009, valuta diverse dimensioni del mental imagery.

Ai soggetti veniva suggerito di chiudere gli occhi ed immergersi nelle situazioni descritte mentre cercavano di rispondere agli item.

2.2 *Analisi effettuate*

I dati di letteratura suggerirebbero che la sottoscala object dell'OSIVQ, legata agli aspetti visivi dell'immaginazione correli fortemente con i punteggi al VVIQ. Dal momento che ci aspettiamo che tale componente del mental imagery sia influenzata maggiormente dal mask foveale, abbiamo ipotizzato che quest'ultimo influenzi i punteggi e della sottoscala oggettiva e del VVIQ.

Inoltre, dal momento che alcune ricerche hanno individuato una correlazione tra mental imagery spaziale e mental rotation, è stata attesa anche una correlazione tra sottoscala spaziale dell'OSIVQ e punteggi a d'. Non è stata invece ipotizzata una correlazione tra sottoscala verbale dell'OSIVQ e dip nel punteggio d' a seguito del mask.

Come anticipato, per analizzare una relazione tra imagery e foveal feedback, è stata analizzata la correlazione tra punteggi ai questionari e media di d' in assenza di condizione mask.

Per studiare, invece, la correlazione tra i punteggi ai questionari e le variazioni nel punteggio d' mask relate, i primi sono stati valutati, per ogni partecipante, con i punteggi d' a 100ms. La scelta del SOA a 100ms è stata suggerita da ricerche che hanno trovato come, mediamente, il mask alteri il punteggio d' intorno ai 94ms.

Tuttavia, considerando la variabilità nel timing, il solo focus su 100ms per le correlazioni con i questionari potrebbe essere troppo rigido. Per questo, sono state valutate due correlazioni aggiuntive:

1) Valori d' a minima performance individuale e punteggi ai questionari

2) Timing performance minima e punteggi ai questionari

In base alle ipotesi di studio, infatti, è possibile che le capacità di visualizzazione dei partecipanti influenzino il momento in cui l'effetto del foveal mask incida sulla performance. Ad esempio, possiamo ipotizzare che i buoni immaginatori impieghino più o meno tempo per creare una rappresentazione degli stimoli periferici, col risultato di spostare (ritardandola o anticipandola) la finestra temporale dell'effetto del mask foveale sulla performance. Per analizzare le varie correlazioni, è stato utilizzato il coefficiente di Spearman

3. Risultati

3.1 Effetti del mask su d'

Per quanto concerne l'effetto del mask foveale sulla performance di discriminazione, analisi di comparazione indicherebbero che quattro livelli di SOA, nell'intervallo 0-250ms, differiscono significativamente dalla condizione baseline, con punteggio d' minimo a 50ms (Tab.1), confermando le informazioni di letteratura

SOA (ms)	mean d'	s.e.	d.f.	lower.CL	upper.CL	null	t-ratio	p-value
0	1.25	0.0654	184	1.07	1.43	1.56	-4.755	<0.001***
50	1.23	0.0654	184	1.05	1.41	1.56	-5.066	<0.001***
100	1.26	0.0654	184	1.08	1.44	1.56	-4.589	<0.001***
150	1.31	0.0654	184	1.12	1.49	1.56	-3.858	<0.001***
200	1.38	0.0654	184	1.20	1.56	1.56	-2.751	0.0117*
250	1.38	0.0654	184	1.20	1.57	1.56	-2.691	0.0117*
300	1.43	0.0654	184	1.25	1.61	1.56	-2.013	0.0512
350	1.43	0.0654	184	1.24	1.61	1.56	-2.047	0.0512
400	1.53	0.0654	184	1.35	1.71	1.56	-0.455	0.6494

Tab. 1. Comparazioni di d' ad ogni livello SOA rispetto a condizione no mask

Infatti, la mediana dei valori minimi di d' è 0,739 con intervallo di confidenza di 95 e la media è 0,753 (95% CI) mentre il timing mediano dei valori minimi si attesta intorno a 100ms ed il timing medio intorno ai 133ms (95% CI) (fig. 24) (Contemori et al. 2024).

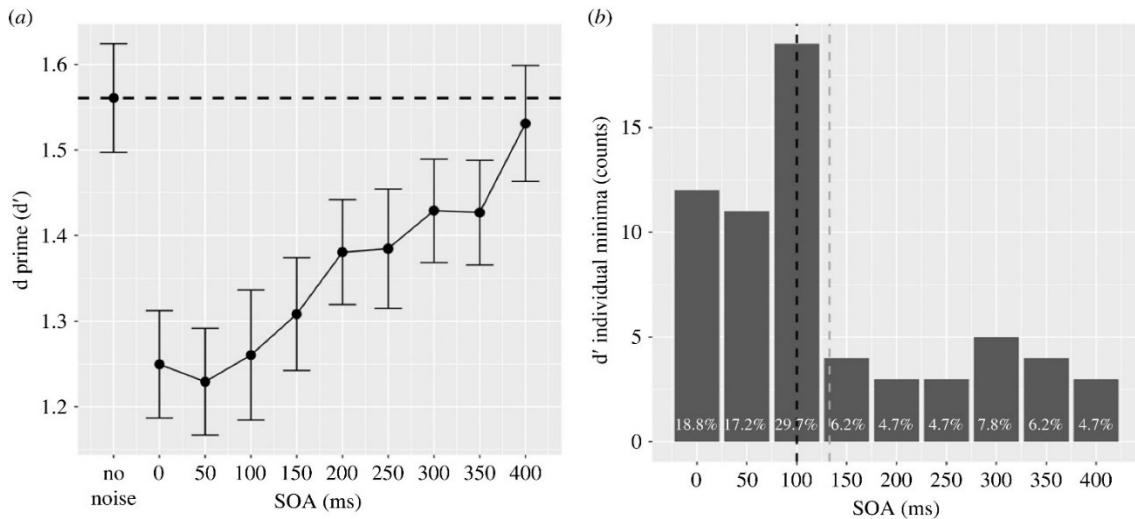


Fig. 24. Sinistra. Distribuzione punteggi medi d' a vari SOA. Destra. Distribuzione punteggi minimi d' a vari SOA. Le linee tratteggiate nere e grigie rappresentano rispettivamente la mediana e la media dei timing (Contemori et al. 2024).

3.2 Correlazioni punteggi questionari e media d'.

In questo paragrafo, vengono presentate le correlazioni tra i punteggi ai questionari di mental imagery e la media dei valori di d'.

Come atteso, la correlazione tra VVIQ e la sottoscala oggettuale dell'OSIVQ è positiva, statisticamente significativa e larga ($\rho=0.37$, $S=21670.13$, $p=0.004$), confermando i risultati precedenti. Non si notano correlazioni significative né tra VVIQ e sottoscale spaziali e verbali, né tra le tre sottoscale dell'OSIVQ. (Fig. 26)

Inoltre, le analisi in questa sezione indicano un'assenza di correlazione significativa tra i punteggi di tutti i questionari e i valori medi di d'. (Fig. 26).

Data la presenza di dati estremi sono stati eliminati per sicurezza partecipanti con deviazione standard di oltre 2.5 da ognuna variabile. Questo ha portato a rimuovere due soggetti, uno con VVIQ con valore di 19 ed un altro con OSIVQ verbale di 52. Il pattern generale si mantiene largamente consistente, eccetto per una correlazione statisticamente significativa di forza media tra punteggio al VVIQ e media di d' ($\rho=0.27$, $S=30307.00$, $p=0.031$).

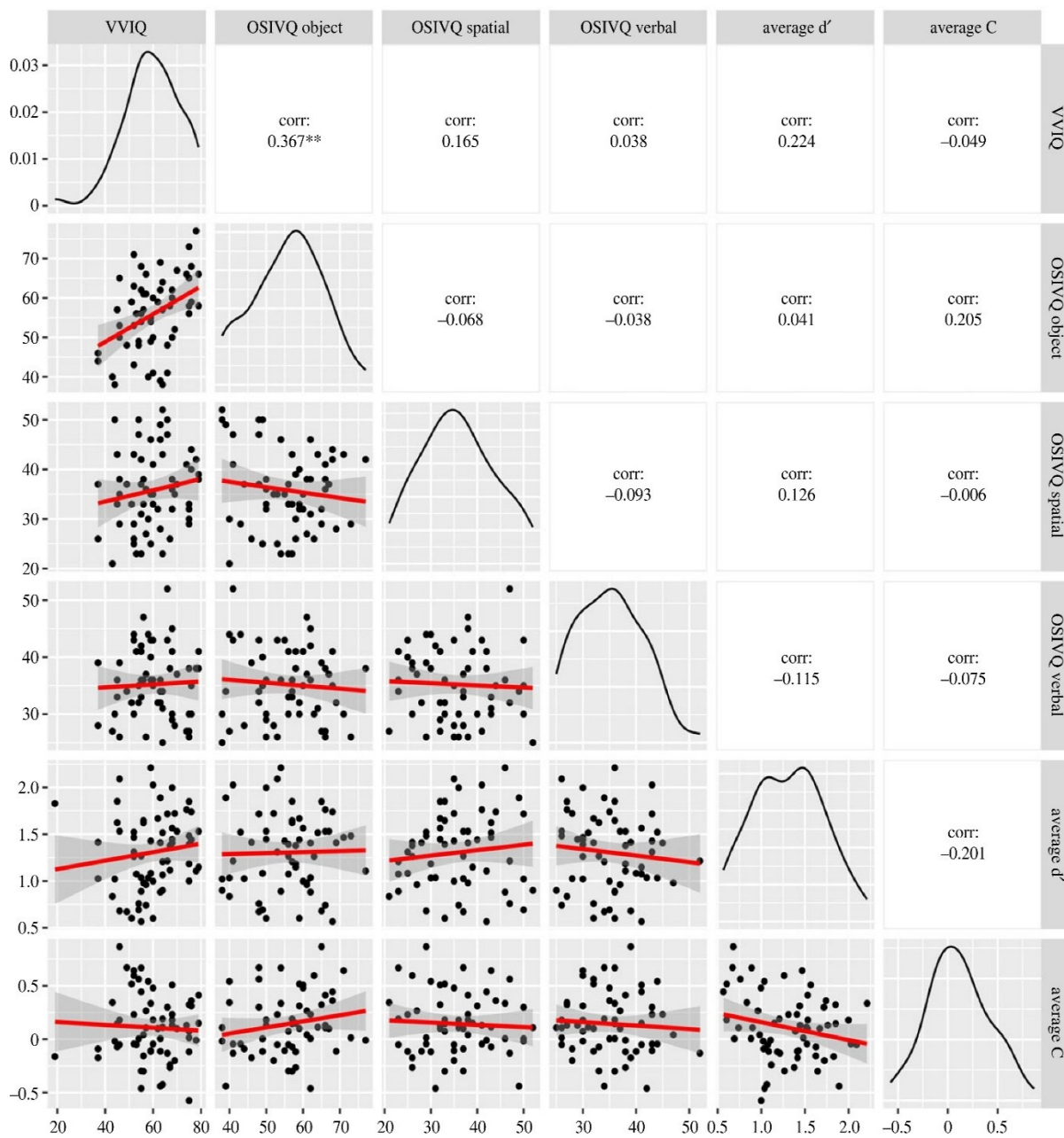


Fig. 26. Matrice di grafici di dispersione con i valori di correlazione di Spearman di ogni variabile (sopra la diagonale), la distribuzione di ogni variabile (diagonale) e grafici di dispersione (sotto la diagonale) (Contemori et al. 2024).

3.3 Correlazioni variazioni d' e questionari

Per analizzare la correlazione tra i cambiamenti in d' mask relati ed i punteggi ai questionari, l'ampiezza della variazione di d' è stata ottenuta sottraendo il valore di d' a SOA di 0 (condizione no noise) da quello a 100 ms e al valore minimo raggiunto nell'intervallo tra 0-400ms. Il timing minimo in d' corrisponde invece al momento temporale in cui questo valore raggiunge il minimo assoluto. Di seguito, le correlazioni tra variazioni d' e VVIQ (fig. 27):

1) VVIQ e variazione d' a 100ms

Correlazione negativa, piccola e non significativa ($\rho = -0.03$, $S = 44\ 822.15$, $p = 0.837$)

2) VVIQ e variazione a valore d' minimo

Correlazione negativa, piccola e non significativa ($\rho = -0.04$, $S = 45\ 610.95$, $p = 0.729$)

3) VVIQ e timing d' minimo

Correlazione negativa, piccola e non significativa ($\rho = -0.17$, $S = 50\ 974.90$, $p = 0.187$)

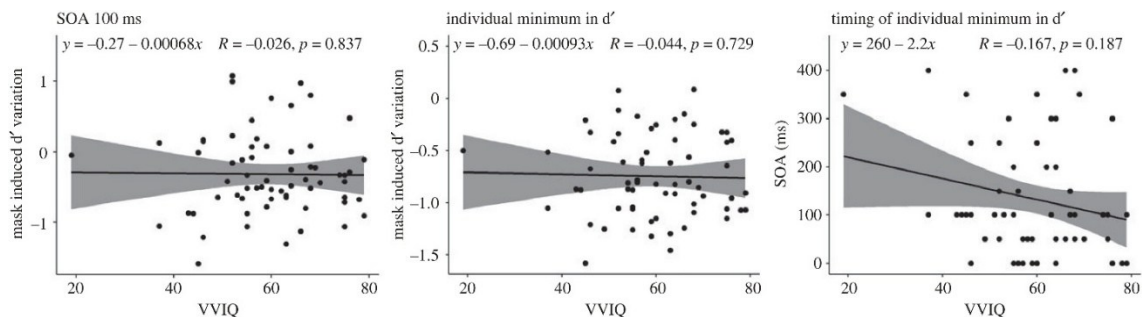


Fig. 27. Correlazioni tra VVIQ e variazioni punteggi d' , con intervalli di confidenza del 95% (bande grigie).

Qui, invece, i risultati per quanto concerne la correlazione tra variazioni d' e sottoscale OSIVQ (fig. 28):

1) OSIVQ object e variazione d' a 100 ms

negativa, non significativa e piccola ($\rho = -0.04$, $S = 35\ 456.98$, $p = 0.786$)

2) OSIVQ object e variazione d' a minima degli individui

negativa, non significativa e piccola ($\rho = -0.18$, $S = 40\ 359.85$, $p = 0.174$)

3) OSIVQ object e timing minima individui

negativa, non significativa e piccola ($\rho = -0.07$, $S = 36\ 613.87$, $p = 0.599$)

4) OSIVQ verbal e variazione d' a 100 ms

negativa, non significativa e piccola ($\rho = -0.14$, $S = 39\ 007.59$, $p = 0.291$)

5) OSIVQ verbal e variazione d' a minima degli individui

negativa, non significativa e piccola ($\rho = -0.28$, $S = 43\ 679.96$, $p = 0.034$)

6) OSIVQ verbal e timing minima individui

negativa, non significativa e piccola ($\rho = -0.32$, $S = 45\ 002.18$, $p = 0.015$).

7) OSIVQ spatial e variazione d' a 100 ms

negativa, non significativa e piccola ($\rho = -0.07$, $S = 36\ 502.90$, $p = 0.616$)

8) OSIVQ spatial e variazione d' a minima degli individui

negativa, non significativa e piccola ($\rho = -0.11$, $S = 37\ 919.71$, $p = 0.415$)

9) OSIVQ spatial e timing minima individui

positiva, non significativa e piccola ($\rho = 0.15$, $S = 29\ 190.50$, $p = 0.267$)

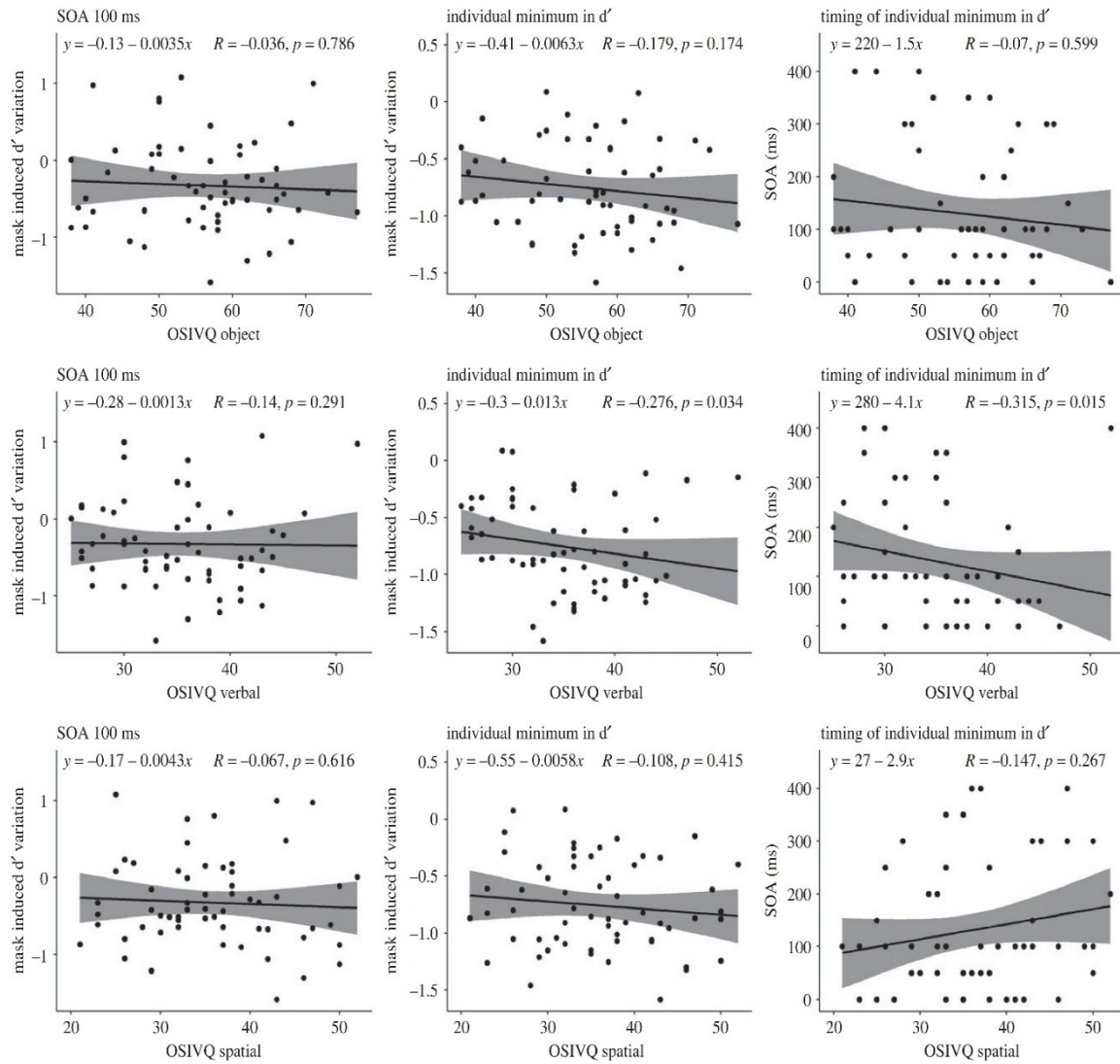


Fig. 28. Correlazioni tra OSIVQ e variazioni punteggi d' , con intervalli di confidenza del 95% (bande grigie).

4. Considerazioni

4.1 *Esperimento e risultati*

In questo studio, è stata indagata la relazione tra mental imagery e foveal feedback durante l'esecuzione di un compito di discriminazione visiva. Pertanto, sono stati analizzati i punteggi dei partecipanti a due questionari (VVIQ e OSIVQ) in relazione alla loro abilità nel discriminare stimoli periferici. Il compito di discriminazione ha previsto una condizione baseline (no mask) ed un'altra con mask foveale presentato a SOA con un intervallo temporale da 0 a 400ms.

è stata in seguito calcolata la media dei punteggi d' a 100ms ed al punto temporale corrispondente al valore più basso per poi correlarli con i punteggi ai questionari.

Per quanto concerne il fenomeno del foveal feedback, i risultati confermerebbero che il mask ritardato alteri i criteri di discriminabilità. Infatti, l'applicazione di un mask tra 0 e 250ms è associato a diminuzione dell'accuratezza di risposta con un valore minore di d' intorno ai 100ms. Come dimostrato anche da studi precedenti, il visual mask interferirebbe quindi con l'elaborazione periferica dello stimolo durante questa finestra temporale critica.

Per quanto riguarda, invece, la relazione tra mental imagery ed effetto del foveal feedback, è stato ipotizzato che differenze individuali nelle capacità rappresentative influenzino la variabilità nell'effetto del mask. Nello specifico, sono stati considerati due scenari: Nel primo caso, è stato ipotizzato che i soggetti con più alta imagery sarebbero più affetti dal mask (ipotesi suscettibilità) mentre nel secondo scenario sarebbe proprio questo gruppo il più affetto dall'interferenza del mask (suscettibilità)

Pertanto, è stata attesa una correlazione tra le variazioni al punteggio d' associate al mask ed i punteggi all'OSIVQ object ed al VVIQ. Quest'ipotesi è stata rafforzata dall'osservazione che il foveal feedback sia più attivo durante compiti impegnativi che richiedono l'elaborazione di forme dettagliate ed identificazione di oggetti. Inoltre, considerando che nello studio di Fan et al. è stato inserito un compito di rotazione mentale, task che correlerebbe con i punteggi all'OSIVQ spaziale, è stata attesa anche una correlazione con questo sottoscala.

Tuttavia, i dati non supportano alcuna predizione. Infatti, nonostante un cambio nella discriminabilità in associazione col mask, non è possibile supportare l'idea di un collegamento del fenomeno con il mental imagery.

Dopo aver eliminato dalle analisi un punteggio VVIQ 19, che rappresenterebbe un soggetto afantastico, abbiamo individuato una correlazione tra punteggio VVIQ e media dei soggetti a d'. Nonostante questa tenue correlazione tra vividezza del mental imagery e abilità di discriminazione periferica, non sono state individuate associazioni tra variazioni mask-correlate in d' e punteggi VVIQ, OSIVQ object o OSIVQ spaziale.

Infine, in contrasto con le predizioni, sono state identificate due correlazioni significative con OSIVQ verbali, una con il punteggio minimo degli individui e una con il timing del punteggio minimo di d', sebbene queste correlazioni siano difficili da interpretare. Potrebbe essere falso positivo o suggerire differenze tra verbalizzatori e visualizzatori. I primi, dato il loro ridotto affidamento al mental imagery visivo, possono essere meno influenzati dal mask. Questo porterebbe ad un declino nella performance più basso e più precoce, probabilmente a seguito d'interferenza attentiva piuttosto che per l'effetto del mask foveale (Contemori et al. 2024).

4.2 Limiti e studi futuri

Dati i risultati, non è ancora chiara l'origine dell'alta variabilità individuale e pertanto sono richiesti ulteriori approfondimenti. È possibile pensare a correlazioni tra caduta in d' ed altri aspetti del visual imagery non analizzati dal VVIQ ed OSIVQ.

Infatti, mentre i questionari si focalizzano principalmente sul mental imagery cosciente e volontario, è possibile che l'irruzione del mask interferisca con processi più automatici, come la memoria iconica o working memory. Il nostro studio non analizza direttamente la working memory, che precedenti ricerche hanno suggerito essere connessa con processi di visual imagery e compiti di discriminazione percettiva. Pertanto, l'ipotesi di una connessione tra stimoli periferici, mask foveale e working memory oltre che misure più implicite di mental imagery rimane un topic interessante per la ricerca futura.

CONCLUSIONI

In quest'elaborato si è tentato di analizzare, dopo una rassegna del fenomeno del mental imagery e Foveal Feedback, le possibili motivazioni alla base della variabilità individuale che si evince in quest'ultimo.

Infatti, nonostante in media la caduta della performance di discriminazione dovuta al mask foveale si attesterebbe intorno a SOA di 150ms, da un'analisi più approfondita si evincerebbe una forte variabilità individuale per quanto riguarda e l'ampiezza della variazione in d' e del timing di quest'ultimo.

Secondo la teoria del foveal feedback, il coinvolgimento dell'area foveale da parte delle aree visive high level per compiti di discriminazione periferica fa sì che la prima abbia una funzione rappresentazionale, data la sua capacità di elaborazione ad alta risoluzione. Questa funzionalità farebbe sì che quest'area aiuti a ricreare una rappresentazione ad alta risoluzione degli stimoli in periferia visiva così da migliorare la performance di discriminazione.

Considerando queste informazioni e la presenza di un'ampia variabilità individuale anche per quanto concerne le capacità di visualizzazione, in questo studio è stato ipotizzato che la vividezza spieghi in parte la variabilità associata agli effetti del mask foveale.

Per questo motivo, è stato condotto un esperimento in cui in primis è stato somministrato il paradigma di discriminazione con mask foveale a vari SOA e, successivamente, è stata misurata la vividezza dei partecipanti tramite i questionari VVIQ ed OSIVQ.

Il risultato atteso era che le differenze individuali nella vividezza potessero modulare gli effetti del mask sulla performance ed anche il timing del dip. Nello specifico, è stato ipotizzato che soggetti con buoni livelli di vividezza potessero mantenere comunque alti livelli di performance nonostante il mask (resilienza) o che proprio questo gruppo risentisse maggiormente dell'interferenza a seguito dell'affidamento su uno stile cognitivo maggiormente visivo (susceptibilità). In aggiunta, è stato anche ipotizzato che nello stesso gruppo il timing del dip potesse essere anticipato perché, date le buone capacità di visualizzazione, venisse impiegato meno tempo a ricreare la rappresentazione

degli stimoli periferici o che, in alternativa, potesse essere spostato perché, facendo affidamento su strategie visive, impiegassero più tempo nel ricreare in fovea gli stimoli target.

Sono state quindi valutate diverse correlazioni, nello specifico tra i questionari di vividezza e la performance generale (media d'), le variazioni del punteggio d' a 100ms, il punteggio minimo di d' ed infine i timing di quest'ultimi.

I risultati, pur confermando l'effetto del mask sulla performance di discriminazione (i punteggi di d' diminuiscono nel range tra 0 e 250ms con valori minimi che in media si attestano sui 100ms), non hanno permesso di riscontrare alcuna correlazione tra le capacità di visualizzazione ed effetti del mask foveale. Una possibile spiegazione è che quest'ultimo alteri processi più automatici come la memoria iconica o la working memory, non valutati dai questionari proposti, che indagano invece la componente esplicita del mental imagery.

Per concludere, l'ipotesi di una connessione tra stimoli periferici, mask foveale e working memory oltre che misure più implicite di mental imagery, rappresentano topic che necessitano di ulteriori studi ed approfondimenti.

BIBLIOGRAFIA

Adam Zeman (2024) *Aphantasia and hyperphantasia: exploring imagery vividness extremes in Trends in Cognitive Science*

Alan D. Baddeley, Jackie Andrade (1999) *Working memory and the Vividness of Imagery in Journal of Experimental Psychology: General, Vol. 129, No. 1, 126-145*

Alfredo Spagna (2022) *Visual mental imagery: Inside the mind's eyes in Handbook of Clinical Neurology, Vol. 187 (3rd series) The temporal Lobe*

Alfredo Spagna, Dounia Hajhajate et al. (2021) *Visual mental imagery engages the left fusiform gyrus, but not the early visual cortex: A meta-analysis of neuroimaging evidence in Neuroscience and Biobehavioral Reviews 122, 201-2017*

Bergmann, J., Genç, E., Kohler, A., Singer, W., & Pearson, J. (2015). *Smaller primary visual cortex is associated with stronger, but less precise mental imagery. Cerebral Cortex*

Childers, T. L., Houston, M. J., & Heckler, S. E. (1985). *Measurement of individual differences in visual versus verbal information processing. Journal of Consumer Research, 12 (2), 125–134*

David F. Marks (1973) *Visual Imagery differences in the recall of Pictures in Br. J. Psychol. 64, 1, 17-24*

Dentico, D. et al. (2014) *Reversal of cortical information flow during visual imagery as compared to visual perception. Neuro image, 100, 237–243*

Farzad Ramezani, Saeed Reza Kheradpisheh (2019) *Object categorization in visual periphery is modulated by delayed foveal noise in Journal of Vision 19, 1-12*

Friston, K.J. et al. (2003) *Dynamic causal modelling. Neuro image, 19, 1273–1302*

Giorgio Ganis, Haline E. Schendan (2010) *Visual Imagery*

Giulio Contemori, Carolina Maria Oletto, Luca Battaglini, Marco Bertamini. (2024) *On the relationship between foveal mask interference and mental imagery in peripheral object recognition*

Jing-Ya Huang, Xiao-Juan Xue, Zhi-Xin Wang Ze-Feng Li, Rui-Su, Nian-Nian Wang, Xiao-Yan Huang, Hao Li, Hai-Lin Mac, Ming Liu De-Long Zhang (2024) *The relationship between attention networks and individual differences in visual mental imagery vividness*

Joel Pearson, Stephen M. Kosslyn (2015) *The heterogeneity of mental representation: Ending the imagery debate in Perspective*

Joel Pearson, Thomas Naselaris, Emily A. Holmes, Stephen M. Kosslyn (2015) *Mental Imagery: Functional Mechanisms and Clinical Applications in Trends in Cognitive Sciences*

Jon Fulford, Fraser Milton et al. (2017) *The neural correlates of visual imagery vividness e an fMRI study and literature review in Cortex 105, 26-40*

Kilintari, M., Narayana, S., Babajani-Feremi, A., Rezaie, R., Papanicolaou, A.C., 2016. Brain activation profiles during kinesthetic and visual imagery: an fMRI study. *Brain Res.* 1646, 249–261.

Lacey, S., & Lawson, R. (2013). *Imagery questionnaires: Vividness and beyond*. In S. Lacey & R. Lawson (Eds.), *Multisensory imagery* (pp. 271–282). Springer Science + Business Media

Lukas Paulun, Anne Wendt, Nikola Kasabov (2018) *A Retinotopic Spiking Neural Network System for Accurate Recognition of Moving Objects Using Neu Cube and Dynamic Vision Sensors in Frontiers in Computational Neuroscience*

Mark A Williams, Chris I Baker et al. (2008) *Feedback of visual object information to foveal retinotopic cortex in Nature Neuroscience*

Nadine Dijkstra, Sander E. Bosch (2019) *Shared Neural Mechanisms of Visual Perception and Imagery in Trends in Cognitive Science*

Qing Yu, Won Mok Shim (2016) *Modulating foveal representation can influence visual discrimination in the periphery in Journal of Vision, 1-12*

Reshanne R. Reeder (2016) *Individual differences shape the content of visual representations in Vision Research*

Winlove, C. et al. (2018) *The neural correlates of visual imagery: a co-ordinate-based meta-analysis*. *Cortex*, 105, 4–25

Xiaoxu Fan, Lan Wanga, Hanyu Shao, Daniel Kersten, and Sheng He (2016) *Temporally flexible feedback signal to foveal cortex for peripheral object recognition*