



UNIVERSITÀ DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di laurea in Scienze Psicologiche Cognitive e Psicobiologiche

Elaborato finale

L'aggiunta di indizi di profondità di campo negli affreschi rinascimentali favorisce il fenomeno di Boundary Extension?

Does Adding Depth-of-Field Cues to Renaissance Frescoes Promote Boundary Extension?

Relatore

Prof. Marco Bertamini

Correlatrice

Dott.ssa Veronika Knedlikova Wankova, PhD

Correlatrice

Dott.ssa Samantha Barbolan

Laureanda: Marta Canepa

Matricola: 2012804

Anno Accademico 2025/2026

INDICE

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1: LA BOUNDARY EXTENSION	2
1.1 Definizione del fenomeno	2
1.2 Metodi di studio e paradigmi sperimentali	2
1.3 Variabili influenti	3
1.4 Modelli teorici	6
CAPITOLO 2: GLI AFFRESCHI RINASCIMENTALI E LA PERCEZIONE DELLO SPAZIO	8
2.1 Gli affreschi rinascimentali e la nascita della prospettiva lineare	8
2.2 Gli indizi di profondità	9
2.3 Sfocatura, profondità di campo e tilt-shift.....	11
CAPITOLO 3: LA RICERCA	13
3.1 Obiettivi e ipotesi	13
3.2 Metodologia.....	14
3.2.1 Il campione	14
3.2.2 Gli stimoli.....	14
3.2.3 Il disegno sperimentale.....	16
3.2.4 La procedura.....	16
3.2.5 L'analisi dei dati	18
3.3 Risultati.....	19
CAPITOLO 4: DISCUSSIONE	21
4.1 Interpretazione dei risultati.....	21
4.2 Limiti dello studio e prospettive future	24
BIBLIOGRAFIA	28
RINGRAZIAMENTI	

INTRODUZIONE

La memoria umana è soggetta a distorsioni sistematiche e si configura come un processo costruttivo, piuttosto che come una registrazione passiva delle informazioni. In particolare, la memoria visiva non può essere considerata una riproduzione fedele dello stimolo percepito, in quanto influenzata da bias che possono modificarne il ricordo (Chunharas et al., 2022). Tra queste distorsioni rientra la *Boundary Extension* (BE), definita come la tendenza a ricordare una porzione di scena più ampia rispetto a quella effettivamente presentata, includendo informazioni che potrebbero trovarsi appena oltre i suoi confini (Intraub & Richardson, 1989; Intraub et al., 1992).

Per comprendere i processi coinvolti nel fenomeno, è importante considerare le informazioni spaziali che il sistema visivo ricava dalle scene. Nel caso delle immagini bidimensionali, assumono particolare importanza gli indizi pittorici, tra cui la prospettiva lineare, che consente di rappresentare la profondità e le relazioni spaziali tra gli elementi (Tyler, 2020). Nonostante la sua presenza negli affreschi rinascimentali, precedenti studi condotti dallo stesso gruppo di ricerca non hanno osservato *Boundary Extension* con questa tipologia di stimoli. Il risultato suggerisce che la prospettiva lineare possa non essere sufficiente a favorire l'emergere del fenomeno, rendendo rilevante considerare ulteriori informazioni relative alla profondità. Tra queste, è di particolare interesse la profondità di campo, associata alla distribuzione della sfocatura nella scena. Una ridotta profondità di campo comporta infatti una maggiore sfocatura al di fuori del piano di messa a fuoco (Held et al., 2010). Studi recenti hanno mostrato che una ridotta profondità di campo può influenzare la percezione della distanza, facendo apparire le scene come più vicine e favorendo la *Boundary Extension* (Hafri et al., 2022; Gandolfo et al., 2023).

Alla luce di queste evidenze, il presente studio si propone di verificare se l'introduzione di indizi di profondità di campo possa favorire l'emergere della *Boundary Extension* negli affreschi rinascimentali. Nello specifico, è stata applicata digitalmente una sfocatura periferica radiale, volta a simulare una ridotta profondità di campo. Si prevede che, in coppie di immagini caratterizzate dalla stessa vista, la seconda venga giudicata più vicina rispetto alla prima, indicando che la scena è stata ricordata con confini più ampi, in linea con la presenza di *Boundary Extension*.

CAPITOLO 1: LA *BOUNDARY EXTENSION*

1.1 Definizione del fenomeno

Il termine *Boundary Extension* (BE) indica una distorsione mnestica in base alla quale gli osservatori tendono a ricordare una porzione di scena più ampia rispetto a quella effettivamente presentata (Intraub et al., 1992). Tale fenomeno è stato documentato per la prima volta da Intraub e Richardson (1989). Nel loro studio, gli autori osservarono che il ricordo di fotografie in primo piano (*close-ups*) includeva informazioni non presenti nell'immagine originale, ma coerenti con ciò che avrebbe potuto trovarsi appena oltre i suoi confini (Intraub & Richardson, 1989).

Numerosi studi successivi hanno indagato l'effetto di *Boundary Extension*, evidenziando come emerga con differenti tipologie di stimoli e compiti sperimentali (Hubbard, 2025). In particolare, è stato osservato sia con fotografie (Intraub et al., 1992) che con disegni (Gagnier & Intraub, 2012), ma anche con rappresentazioni artistiche come pitture rupestri (Hubbard & Ruppel, 2017). Ad oggi, la *Boundary Extension* è un fenomeno psicologico ampiamente riconosciuto (Bainbridge & Baker, 2020) ed empiricamente robusto (Hafri et al., 2022), che fornisce importanti informazioni sulla natura delle rappresentazioni mentali delle scene. Suggestisce infatti che tali rappresentazioni vadano oltre gli input percettivi disponibili, includendo informazioni potenzialmente rilevanti per l'interazione con l'ambiente (Hubbard, 2025).

1.2 Metodi di studio e paradigmi sperimentali

Come evidenziato da Hubbard (2025), gli studi svolti per indagare il fenomeno di *Boundary Extension* hanno impiegato differenti modalità di presentazione degli stimoli e diverse misure di risposta.

Per quanto riguarda l'organizzazione della presentazione dello stimolo iniziale (*target*), si possono distinguere due principali disegni sperimentali: il *blocked design* e il *trial-by-trial design*. Nel *blocked design* vengono mostrate tutte le immagini consecutivamente all'interno di un unico blocco e, in seguito, viene valutata la possibile presenza di *Boundary Extension* (ad esempio, Intraub & Richardson, 1989). Nel *trial-by-trial design* vengono presentati gli stimoli *target* singolarmente e, successivamente, viene misurata

l'eventuale presenza di *Boundary Extension* per ciascuno di essi (ad esempio, Intraub et al., 1992) (Hubbard, 2025).

Oltre alle differenze relative all'organizzazione della procedura, le ricerche hanno adottato diversi paradigmi per la presentazione degli stimoli. Studi recenti hanno utilizzato il *Rapid Serial Visual Presentation* (RSVP) (ad esempio Bainbridge & Baker, 2020; Hafri et al., 2022; Gandolfo et al., 2023), che prevede la presentazione rapida di una immagine *target* seguita da una maschera dinamica e, infine, un secondo stimolo (*probe*). *Target* e *probe* sono costituiti da versioni diverse della stessa immagine. Tali versioni includono una vista ravvicinata (*close-up*), una vista grandangolare (*wide-angle*) (ad esempio, Intraub & Richardson, 1989) e, in alcuni studi, una vista intermedia (*medium-angle view*) corrispondente all'immagine originale (ad esempio, Intraub et al., 1992). La combinazione tra il livello di inquadratura del *target* e quello del *probe* definisce le condizioni sperimentali (Hubbard, 2025).

Per valutare la presenza di *Boundary Extension*, gli studi hanno impiegato diverse misure di risposta, tra cui la valutazione su scala (*rating*) introdotta da Intraub e Richardson (1989). Ai partecipanti viene chiesto di indicare se il *probe* corrisponde allo stimolo *target* o se presenta una vista ravvicinata o più lontana. Il giudizio viene espresso tramite una scala a 5 punti, da -2 a +2. Un valore uguale a 0 indica che il *probe* è identico al *target*, valori negativi indicano che il *probe* appare più vicino (*closer*), valori positivi indicano che il *probe* appare più lontano (*farther*) (Intraub & Richardson, 1989). Una valutazione negativa indica la presenza di *Boundary Extension*, in quanto un *probe* giudicato come più ravvicinato suggerisce che il *target* sia ricordato come più lontano (Hubbard, 2025). Successivamente, in alcuni studi viene inoltre chiesto ai partecipanti di indicare il grado di sicurezza della loro risposta (Intraub et al., 1992; Gagnier & Intraub, 2012).

1.3 Variabili influenti

Le variabili che influenzano il fenomeno di *Boundary Extension* possono essere raggruppate in tre principali categorie: caratteristiche dello stimolo, della presentazione e dell'osservatore (Hubbard, 2025).

Per quanto riguarda le caratteristiche dello stimolo, la letteratura ha evidenziato come l'entità del fenomeno vari in funzione della tipologia dello stimolo, dell'angolo di visuale (*view angle*) e della profondità di campo (*depth of field*).

Negli esperimenti sulla *Boundary Extension* sono state utilizzate diverse tipologie di stimoli target, tra cui le più comunemente impiegate sono fotografie e disegni (Hubbard, 2025). In particolare, Gagnier e Intraub (2012) hanno confrontato fotografie e disegni raffiguranti le stesse scene. Le due tipologie di stimolo condividevano il medesimo punto di vista, la stessa disposizione degli oggetti, il medesimo rapporto tra gli oggetti e i confini dell'immagine e lo stesso significato complessivo della scena. La differenza riguardava il livello di realismo, in quanto le fotografie fornivano una rappresentazione più ricca e realistica (Gagnier & Intraub, 2012). I risultati hanno evidenziato la presenza di *Boundary Extension* sia con le fotografie sia con i disegni, ma l'effetto risultava significativamente maggiore in questi ultimi. Gli autori hanno interpretato questo risultato ipotizzando che, nei disegni, vi sia una maggiore somiglianza tra le informazioni visive presenti nell'immagine (modali) e la loro possibile continuazione amodale oltre i confini della scena rispetto alle fotografie. Questa maggiore somiglianza potrebbe rendere più difficile distinguere le due tipologie di informazioni. Le informazioni amodali potrebbero quindi essere erroneamente attribuite all'esperienza percettiva, determinando un errore nel monitoraggio della fonte. I partecipanti tenderebbero così a ricordare una porzione della scena più ampia rispetto a quella effettivamente osservata (Gagnier & Intraub, 2012).

In relazione alle caratteristiche dello stimolo, uno dei risultati più replicati nella letteratura sulla *Boundary Extension* riguarda l'angolo di visuale. La maggior parte degli esperimenti (ad esempio Intraub & Richardson, 1989; Intraub et al., 1992) ha utilizzato stimoli raffiguranti una vista ravvicinata (*close-up*) o grandangolare (*wide-angle*) della medesima scena. Nella vista ravvicinata, l'angolo visivo occupato dall'oggetto o dagli oggetti centrali è relativamente più ampio, mentre l'angolo visivo occupato dallo sfondo è relativamente ridotto. Al contrario, nella vista grandangolare, l'angolo visivo occupato dall'oggetto o dagli oggetti centrali è più piccolo, mentre l'angolo visivo occupato dallo sfondo è relativamente più ampio. Nel complesso, i risultati hanno evidenziato come la presentazione di una vista ravvicinata generalmente produca una maggiore *Boundary Extension* rispetto alla presentazione di una vista grandangolare (Hubbard, 2025). Una possibile spiegazione è che le viste ravvicinate generino una maggiore aspettativa circa

la continuità della scena oltre i confini dell'immagine, poiché ciò che si trova immediatamente al di fuori dell'inquadratura risulta più prevedibile rispetto a una vista grandangolare (Intraub, 2002). Più recentemente, Bainbridge e Baker (2020) hanno osservato come la trasformazione dei confini sia correlata con la distanza percepita della scena. In particolare, scene percepite come vicine, caratterizzate dalla presenza di pochi oggetti centrali e ravvicinati, tendono a produrre un'estensione dei confini; al contrario, scene percepite come lontane, caratterizzate da oggetti più piccoli, distribuiti nello spazio e collocati a maggiore distanza, tendono a produrre una contrazione dei confini (*Boundary Contraction*). La trasformazione dei confini potrebbe quindi riflettere un processo di normalizzazione verso una distanza di osservazione tipica delle scene (Bainbridge & Baker, 2020).

Alla luce dei risultati riportati da Bainbridge e Baker (2020), Hafri e collaboratori (2022) hanno indagato il ruolo causale della distanza percepita della scena nel determinare la trasformazione dei confini. A tal fine, hanno confrontato l'entità della *Boundary Extension* per scene distanti e per le loro corrispondenti versioni ravvicinate, ottenute tramite un effetto di miniaturizzazione. Per ottenere le false miniature, gli autori hanno applicato alle immagini originali un gradiente di sfocatura verticale e aumentato la saturazione, così da simulare digitalmente l'effetto *tilt-shift* tipico delle fotografie caratterizzate da una ridotta profondità di campo (*shallow depth of field*). Questa manipolazione permetteva di modificare la distanza percepita della scena senza alterarne le altre caratteristiche, consentendo così di valutare il ruolo della distanza percepita nella trasformazione dei confini. I risultati hanno mostrato che le fotografie manipolate mediante la simulazione dell'effetto *tilt-shift*, caratterizzate da una ridotta profondità di campo, venivano percepite come più vicine e determinavano una maggiore *Boundary Extension* rispetto alle fotografie originali (Hafri et al., 2022). Successivamente, Gandolfo e collaboratori (2023) hanno indagato il ruolo della profondità di campo, confrontando fotografie caratterizzate da una profondità di campo ridotta e fotografie con profondità di campo estesa. Nel primo caso, solo una porzione limitata della scena risultava a fuoco, riproducendo alcune caratteristiche della visione umana. Al contrario, nelle fotografie con profondità di campo estesa tutti gli elementi risultavano nitidi, generando immagini con caratteristiche che si discostavano da quelle tipiche della normale esperienza percettiva. I risultati dello studio hanno mostrato la presenza di *Boundary Extension* nelle fotografie

con profondità di campo ridotta, mentre le immagini con profondità di campo estesa inducevano l'effetto opposto, definito *Boundary Contraction*. Tali risultati suggeriscono che il fenomeno di *Boundary Extension* emerga principalmente quando gli osservatori percepiscono scene con proprietà visive simili a quelle dell'esperienza percettiva quotidiana (Gandolfo et al., 2023).

Tra le caratteristiche della presentazione dello stimolo, una delle variabili maggiormente indagate è la durata di esposizione dello stimolo target. Come evidenziato da Hubbard (2025), la *Boundary Extension* è stata osservata in un ampio intervallo di tempi di esposizione, compresi tra 46 ms e 30 s. La durata di presentazione non sembra quindi influenzare l'entità del fenomeno, a sostegno dell'ipotesi che la *Boundary Extension* rifletta l'attivazione automatica di conoscenze basate su schemi (Hubbard, 2025). Alcuni studi hanno osservato differenze tra esposizioni brevi e prolungate (ad esempio, Intraub et al., 1996), ma questi risultati costituiscono una eccezione rispetto al quadro generale della letteratura.

1.4 Modelli teorici

Nonostante i numerosi studi sulla *Boundary Extension*, sono state proposte relativamente poche teorie per spiegare questo fenomeno. Il *Multisource Model* costituisce il principale modello teorico di riferimento, sebbene recentemente siano state avanzate anche altre interpretazioni, fondate sui processi di *Boundary Transformation* e di *Mental Imagery* (Hubbard, 2025).

Nel *Multisource Model* proposto da Intraub (2010), la rappresentazione di una scena non viene concettualizzata come una semplice rappresentazione visiva, ma come un atto di cognizione spaziale, basato sull'integrazione di molteplici fonti di informazione (Intraub, 2010). In questo quadro, il fenomeno di *Boundary Extension* costituisce l'esito di un processo in due fasi. La prima fase riguarda le diverse fonti di informazione coinvolte nella costruzione della rappresentazione della scena. L'input percettivo *bottom-up* e fattori *top-down*, quali il completamento amodale, la conoscenza basata su schemi e le associazioni contestuali, vengono integrati nella rappresentazione prima della codifica in memoria. La seconda fase riguarda gli errori nel monitoraggio della fonte durante il recupero delle informazioni relative alla scena. La *Boundary Extension* può essere considerata un fallimento del monitoraggio della fonte, in cui, durante il recupero, i

partecipanti non riescono a distinguere correttamente tra l'input percettivo originale e le aggiunte generate dai processi *top-down* (Hubbard, 2025).

Bainbridge e Baker (2020) hanno criticato il *Multisource Model*. Nel loro studio hanno infatti evidenziato la presenza del fenomeno opposto, ovvero la *Boundary Contraction*, mettendo in discussione l'idea che la *Boundary Extension* costituisca un fenomeno universale nella rappresentazione delle scene (Bainbridge & Baker, 2020). Gli autori hanno quindi proposto un approccio più generale, definito *Boundary Transformation*, che comprende sia processi di estensione sia di contrazione dei confini (Hubbard, 2025). Secondo tale teoria, la trasformazione dei confini sarebbe il risultato di un processo di normalizzazione, attraverso il quale la rappresentazione dell'immagine viene adattata verso uno schema spaziale tipico della scena. La direzione della trasformazione dipenderebbe quindi dalle caratteristiche percettive dello stimolo visivo, come la distanza apparente e la composizione della scena. Inoltre, gli autori suggeriscono che tale processo possa iniziare già durante la fase percettiva, prima ancora della codifica dell'informazione in memoria (Bainbridge & Baker, 2020).

Nanay (2022) ha proposto una teoria della *Boundary Extension* basata sulla *Mental Imagery*, intesa come “rappresentazione prodotta dall'elaborazione percettiva nelle prime aree sensoriali della corteccia, in assenza di una stimolazione sensoriale diretta” (Nanay, 2022). Il modello si articola in due fasi. Nella prima fase, l'osservazione dell'immagine porta all'attivazione di una rappresentazione corticale precoce che comprende anche lo spazio situato oltre i confini della scena osservata. Il risultato è una rappresentazione ibrida, nella quale alle informazioni percepite si affiancano le immagini mentali. Nella seconda fase, questa rappresentazione ibrida viene trasferita alla memoria (Hubbard, 2025). Il fenomeno di *Boundary Extension* non costituirebbe quindi né un aggiustamento percettivo né un aggiustamento della memoria, ma sarebbe il risultato della memorizzazione di una rappresentazione ibrida, nella quale percezione e immaginazione mentale risultano già integrate (Nanay, 2022).

CAPITOLO 2: GLI AFFRESCHI RINASCIMENTALI E LA PERCEZIONE DELLO SPAZIO

2.1 Gli affreschi rinascimentali e la nascita della prospettiva lineare

L'affresco rappresenta una delle principali tecniche di pittura murale, in cui i pigmenti vengono applicati sull'intonaco ancora umido, venendo incorporati nella superficie durante l'asciugatura. Durante il Rinascimento, la pittura ad affresco conobbe una nuova fase di sviluppo, caratterizzata da importanti innovazioni artistiche e tecniche, tra cui progressi nella prospettiva e nella rappresentazione delle proporzioni (Jiménez-Desmond et al., 2024). I cambiamenti sociali, politici e intellettuali del XV secolo determinarono infatti profonde trasformazioni anche nel campo delle arti visive. Rispetto alla tradizione medievale, nel Rinascimento gli artisti svilupparono nuovi approcci alla rappresentazione dello spazio, delle proporzioni e della figura umana, recuperando e reinterpretando la tradizione della mimesi e cercando di rappresentare il mondo visibile in modo più realistico (Mather, 2014).

La rappresentazione dello spazio, in particolare, assunse un ruolo centrale in questa ricerca di maggiore realismo. Tyler (2020) sottolinea come, durante il Rinascimento, un importante sviluppo fu la comprensione di come le informazioni spaziali tridimensionali venissero proiettate in relazione al punto di vista dell'osservatore. Nel XV secolo, Filippo Brunelleschi intuì il rapporto tra la distanza degli oggetti e la loro proiezione sul piano dell'immagine. Successivamente, una comprensione più sistematica della convergenza centrale si sviluppò con Leon Battista Alberti, che illustrò la costruzione prospettica del piano del pavimento attraverso una griglia geometrica. Un ruolo significativo fu svolto poi da Piero della Francesca, il quale sviluppò uno schema completo di proiezione applicabile ad oggetti di qualsiasi forma disposti sul piano del pavimento (Tyler, 2020).

L'importanza della prospettiva non si limita però al piano artistico. Questo indizio di profondità rappresenta, infatti, un elemento rilevante anche nell'ambito della psicologia della percezione. In questo contesto, le immagini rinascimentali possono essere considerate sia opere d'arte sia "esperimenti" percettivi, poiché pongono la questione di quanto le immagini possano replicare la percezione di una scena in maniera efficace (Goldstein, 2008).

2.2 Gli indizi di profondità

Uno dei principali oggetti di interesse nel campo della ricerca sulla visione riguarda come il sistema visivo costruisce una rappresentazione tridimensionale del mondo a partire dall'immagine bidimensionale proiettata sulle retine. Al fine di percepire la profondità, il sistema visivo utilizza informazioni che permettono di ricostruire le configurazioni tridimensionali degli oggetti, le loro strutture e le loro posizioni nello spazio. Tali informazioni, contenute nell'immagine retinica bidimensionale, sono definite “indizi di profondità” (*depth cues*) (Tsutsui et al., 2005).

Come evidenziato da Hibbard e collaboratori (2025), questi indizi differiscono per il tipo di informazione fornita e possono essere classificati in base alla loro fonte. Gli indizi binoculari (*binocular cues*) derivano dalle informazioni fornite dai due occhi. Possono essere distinti in indizi retinici, come la disparità binoculare (*binocular disparity*), e indizi extra-retinici, come la convergenza binoculare (*binocular convergence*). Gli indizi di movimento (*motion cues*) derivano dai cambiamenti dell'informazione sensoriale nel tempo, che possono riguardare le immagini retiniche (retinici) oppure i movimenti degli occhi, della testa e del corpo (extra-retinici). Gli indizi pittorici (*pictorial cues*) sono invece costituiti dalle informazioni che si possono ricavare da una singola immagine retinica in un determinato momento e permettono di percepire la disposizione tridimensionale nelle immagini bidimensionali (Hibbard et al., 2025).

Cutting e Vishton (1995) hanno individuato cinque principali indizi pittorici. L'occlusione si verifica quando un oggetto copre parzialmente o completamente un altro oggetto, permettendo di stabilire l'ordine di profondità, senza però fornire informazioni sulla distanza tra essi. La dimensione relativa riguarda la diversa grandezza retinica con cui oggetti fisicamente simili vengono proiettati quando si trovano a distanze differenti, mentre la densità relativa si riferisce alla variazione della densità apparente di insiemi di oggetti o texture. Entrambi possono fornire informazioni sui rapporti tra le distanze degli oggetti. L'altezza nel campo visivo riguarda invece la posizione delle basi degli oggetti rispetto al campo visivo dell'osservatore. Infine, la prospettiva aerea deriva dalle modificazioni dell'aspetto degli oggetti dovute alla quantità di umidità oppure sostanze inquinanti nell'atmosfera (Cutting & Vishton, 1995).

È interessante notare come gli autori non considerino la prospettiva lineare un indizio di profondità indipendente, ma una combinazione sistematica di diverse fonti di informazione. In quest'ottica, la prospettiva lineare integra e organizza gli indizi percettivi già presenti nell'immagine, come l'occlusione, la dimensione relativa e la densità relativa (Cutting & Vishton, 1995).

Il ruolo della prospettiva lineare nella percezione della profondità è stato indagato nello specifico da Saunders e Backus (2006). In particolare, gli autori si sono concentrati sull'informazione fornita dalla convergenza di linee parallele (convergenza prospettica). Nella prospettiva lineare, le linee parallele degli oggetti e delle superfici che si estendono in profondità vengono rappresentate come convergenti verso un punto di fuga. Assumendo che le linee convergenti nell'immagine corrispondano a linee parallele nello spazio tridimensionale, la loro configurazione permette, in linea di principio, di ricostruire l'orientamento tridimensionale della superficie e le sue dimensioni relative (Saunders & Backus, 2006). Gli autori hanno verificato sperimentalmente che l'informazione relativa alla sola convergenza prospettica è sufficiente per permettere agli osservatori di ricavare una struttura tridimensionale da un'immagine bidimensionale. Inoltre, mantenendo costante la convergenza prospettica e manipolando la dimensione degli stimoli, hanno osservato un cambiamento della profondità percepita, sebbene minore rispetto a quello previsto dalle regole geometriche della prospettiva. Il sistema visivo sembrerebbe quindi utilizzare la prospettiva lineare come indizio pittorico, sebbene sia presente un effetto di compressione percettiva che porta a sottostimare la profondità (Saunders & Backus, 2006).

Per ottenere una stima più accurata della distanza, il sistema visivo può combinare le informazioni provenienti da molteplici indizi di profondità. Questa idea era già stata discussa da Cutting e Vishton (1995), i quali sottolinearono come le diverse fonti di informazione possano rafforzarsi e vincolarsi reciprocamente (Cutting & Vishton, 1995). Più recentemente, Hibbard e collaboratori (2025) hanno formalizzato questo processo in termini di combinazione degli indizi: le informazioni provenienti da ciascun indizio vengono integrate in funzione della loro relativa affidabilità, contribuendo così alla precisione della stima della profondità (Hibbard et al., 2025).

2.3 Sfocatura, profondità di campo e *tilt-shift*

Vari indizi percettivi forniscono quindi informazioni sulle relazioni di profondità relative. Per ricavare stime della profondità egocentrica (assoluta) e delle dimensioni degli oggetti, il sistema visivo deve però disporre di informazioni sulla distanza egocentrica, ossia sulla distanza degli oggetti dall'osservatore (Gogel, 1963; Loomis & Knapp, 2003). Una potenziale fonte di informazione monoculare è la sfocatura retinica. Quando si fissa un oggetto ad una determinata distanza, l'accomodazione del cristallino permette di mettere a fuoco l'immagine proiettata sulla fovea. Gli elementi della scena situati a distanze diverse da quella di fissazione risultano invece progressivamente più sfocati, producendo un pattern di sfocatura sulla retina extrafoveale (Mather, 1996; Wang et al., 2006). A parità di condizioni, il grado di sfocatura aumenta quanto più ravvicinata è la distanza di fissazione. Il sistema visivo potrebbe quindi sfruttare la relazione tra distanza di fissazione e sfocatura come fonte di informazione sulla distanza egocentrica percepita (Vishwanath & Blaser, 2010).

Vishwanath e Blaser (2010) si sono posti l'obiettivo di indagare gli effetti dei gradienti di sfocatura sulla percezione della distanza, al fine di determinare se questi possano agire come indizi quantitativi, e non soltanto come indizi qualitativi (ordinali) delle relazioni di profondità (Vishwanath & Blaser, 2010). A questo scopo, hanno condotto due esperimenti nei quali hanno esaminato i giudizi degli osservatori sulla distanza percepita in presenza o in assenza di sfocatura, manipolando il grado e la direzione del gradiente di sfocatura, la sua coerenza con la struttura di profondità relativa della scena e, nel secondo esperimento, la disponibilità di altri indizi extraretinici di distanza. I risultati hanno evidenziato che la presenza della sfocatura portava a percepire le superfici come più vicine. In particolare, l'effetto aumentava con l'aumentare del grado di sfocatura e risultava sostanzialmente indipendente dalla coerenza tra gradiente di sfocatura e struttura di profondità della scena. Gli autori hanno quindi proposto che i gradienti di sfocatura possano agire come indizi quantitativi della distanza egocentrica, integrandosi con gli altri segnali disponibili (Vishwanath & Blaser, 2010).

Held e collaboratori (2010) chiariscono i principi ottici sottostanti la relazione tra sfocatura e distanza attraverso il concetto di profondità di campo. La profondità di campo è definita come l'ampiezza della regione che si sviluppa attorno al piano focale in cui il

raggio del cerchio di sfocatura rimane al di sotto della soglia di nitidezza. A una determinata distanza relativa, la sfocatura aumenta al diminuire della distanza di messa a fuoco. Di conseguenza, la profondità di campo diventa più stretta quando diminuisce la distanza di messa a fuoco (Held et al., 2010; Kingslake, 1992). Una profondità di campo ridotta può essere ottenuta mediante obiettivi *tilt-and-shift*, che modificano l'orientamento del piano focale e restringono la regione della scena a fuoco. La conseguente sfocatura è simile a quella prodotta dalla ripresa ravvicinata di un piano inclinato (Okatani & Deguchi, 2007) che presenta un gradiente lineare (McCloskey & Langer, 2009). L'effetto del *tilt-shift* può essere approssimato digitalmente applicando a un'immagine nitida un gradiente lineare di sfocatura. Questa manipolazione può modificare la scala percepita della scena: applicando la sfocatura a immagini di scene reali distanti, queste possono apparire come modelli in miniatura (effetto di miniaturizzazione) (Held et al., 2010).

Per spiegare come la manipolazione della sfocatura possa modificare la distanza percepita, Held e collaboratori hanno sviluppato un modello probabilistico della percezione della profondità (Held et al., 2010). La sfocatura non permette da sola di determinare la distanza assoluta di un oggetto, poiché la stessa quantità di sfocatura può essere associata a diverse combinazioni di distanza dell'oggetto e distanza di messa a fuoco. Gli indizi prospettici, al contrario, forniscono informazioni sulla distanza relativa tra gli oggetti, ma non sulla loro distanza assoluta. Il modello mostra quindi che è dalla combinazione tra sfocatura e informazioni prospettiche che il sistema visivo può ricavare una stima della distanza assoluta (Held et al., 2010).

Sulla base di questo modello, Held e collaboratori hanno sviluppato un algoritmo per manipolare la sfocatura delle immagini e ottenere una determinata scala apparente e hanno poi verificato le previsioni attraverso uno studio psicofisico, confrontando diversi pattern di sfocatura (Held et al., 2010). I risultati hanno mostrato che sia la sfocatura calcolata in funzione delle distanze della scena, sia un gradiente lineare di sfocatura orientato nella stessa direzione della variazione di distanza, modificano sistematicamente la distanza percepita, mentre un gradiente orientato diversamente produce un effetto molto più debole. Gli autori concludono quindi che la sfocatura può influenzare la percezione della distanza e della scala soprattutto quando è coerente con gli altri indizi di profondità presenti nell'immagine (Held et al., 2010).

CAPITOLO 3: LA RICERCA

L'obiettivo della presente ricerca consiste nell'indagare se l'aggiunta di indizi di profondità di campo negli affreschi rinascimentali favorisca il fenomeno di *Boundary Extension*.

Precedenti studi compiuti dallo stesso gruppo di ricerca dell'Università di Padova hanno indagato il fenomeno in relazione a fotografie ed affreschi del Rinascimento. A tal fine, sono stati condotti tre esperimenti, ciascuno basato su un disegno *trial-by-trial*. Il primo esperimento era volto a replicare i risultati riportati nella letteratura sulla *Boundary Extension*. Sono stati quindi utilizzati come stimoli 40 fotografie, scattate con un obiettivo da 35 mm a una distanza di 5 metri. I risultati hanno evidenziato la presenza di *Boundary Extension*, in linea con quanto riportato nella letteratura. Il secondo esperimento si poneva l'obiettivo di verificare la presenza dello stesso fenomeno in contesti artistici, in particolare nell'arte del Rinascimento. A tal fine, gli stimoli utilizzati erano costituiti da una raccolta di 40 immagini di affreschi rinascimentali, standardizzate nelle dimensioni (600 × 401 pixel). In questo caso, non si è osservato l'effetto, nonostante la presenza di prospettiva lineare. Il terzo esperimento impiegava sia fotografie sia affreschi rinascimentali, per verificare se la presenza di entrambe le tipologie di stimoli influenzasse la loro modalità di elaborazione. Sono state utilizzate 60 immagini, 30 fotografie e 30 affreschi provenienti dalle precedenti prove. L'esperimento ha confermato la presenza di *Boundary Extension* solo per gli stimoli fotografici.

Si è ipotizzato che la prospettiva lineare non sia sufficiente a determinare il manifestarsi dell'effetto e che indizi percettivi di profondità tipici della fotografia, come la profondità di campo (Gandolfo et al., 2023), possano svolgere un ruolo chiave. Per questo motivo si è voluto verificare se l'introduzione artificiale di tali indizi possa favorire l'emergere di *Boundary Extension*.

3.1 Obiettivi e ipotesi

Il presente studio si propone di indagare il fenomeno di *Boundary Extension* in contesti artistici, utilizzando come stimoli affreschi del Rinascimento e introducendo artificialmente indizi di profondità di campo tipici della fotografia. A tal fine, le immagini sono state manipolate applicando digitalmente una sfocatura periferica (*blur*) a simmetria

radiale, in modo da ridurre la distanza percepita mantenendo inalterate le altre proprietà della scena (Hafri et al., 2022).

L'ipotesi centrale è che l'introduzione di indizi artificiali di profondità di campo negli affreschi rinascimentali favorisca l'emergere del fenomeno di *Boundary Extension*. Nello specifico, si prevede che in coppie di immagini caratterizzate dalla stessa vista (condizione *same-same*), la seconda venga giudicata più vicina. Ciò indicherebbe che i confini della scena originaria sono stati estesi e ricordati come più ampi rispetto a quelli effettivamente presentati.

3.2 Metodologia

Di seguito vengono descritte le caratteristiche del campione, gli stimoli utilizzati, il disegno sperimentale, la procedura e l'analisi dei dati.

3.2.1 Il campione

I partecipanti sono stati reclutati su base volontaria tramite i principali canali online. I criteri di inclusione prevedono un'età minima di 18 anni, la conoscenza della lingua inglese e l'assenza di problemi visivi non corretti.

3.2.2 Gli stimoli

Per il presente studio sono state selezionate 40 immagini di affreschi del Rinascimento italiano. I criteri di selezione si basano sia su requisiti artistico-formali che tecnici, allo scopo di ottenere un set di dati coerente e permettere il corretto funzionamento degli *script* di elaborazione. Sono stati scelti affreschi caratterizzati dalla presenza della prospettiva lineare e sono stati esclusi dipinti su tela, opere provenienti da altri Paesi ed immagini troppo panoramiche.

Dopo aver selezionato le immagini in formato PNG, è stato utilizzato uno *script* MATLAB per estrarre e standardizzare specifiche regioni di interesse e generare diverse versioni dello stesso affresco. In primo luogo, lo *script* imposta un parametro che definisce la dimensione del bordo da rimuovere dopo il ritaglio. Successivamente, identifica una cornice rossa presente nell'immagine, analizzando i valori dei canali RGB. In tal modo, lo *script* individua e seleziona i *pixel* con una componente rossa elevata e componenti verdi e blu nulle e genera una maschera binaria che evidenzia la regione

corrispondente alla cornice. In seguito, calcola il rettangolo minimo che la racchiude e ritaglia l'immagine originale, isolando l'area interna e rimuovendo un ulteriore bordo lungo i lati. L'immagine ritagliata viene poi ridimensionata a una dimensione fissa ($600 \times 401 \text{ pixel}$). Infine, lo *script* genera due varianti dell'immagine standardizzata: applica un ingrandimento verticale, mantenendo le proporzioni, e successivamente ritaglia la porzione centrale, ripristinando le dimensioni di $600 \times 401 \text{ pixel}$. Questo processo produce immagini che simulano una visione più ravvicinata, una con un ingrandimento moderato e una con un ingrandimento più marcato.

Un secondo script è stato utilizzato per applicare un filtro di defocus spazialmente variabile. Si è così ottenuto l'effetto di sfocatura (*blur*) necessario a simulare la profondità di campo tipica delle fotografie. In primo luogo, lo *script* individua il centro geometrico dell'immagine standardizzata, che corrisponderà al punto di massima nitidezza. Successivamente, calcola l'eccentricità di ciascun *pixel*. Sulla base di questi valori, definisce un profilo di sfocatura a simmetria radiale, la cui intensità varia secondo una funzione non lineare. Si ottiene così un incremento graduale del *blur* vicino al centro e un aumento progressivamente più rapido e marcato verso la periferia dell'immagine. Inoltre, lo script modella la sfocatura utilizzando una funzione di diffusione circolare (*disk blur*), in grado di approssimare il “cerchio di confusione” prodotto dal defocus ottico in modo più accurato rispetto a una sfocatura gaussiana. I parametri sono stati definiti in modo da ottenere un'intensità massima del *blur* assimilabile a quella prodotta da una apertura di diaframma $f/4$. Il centro risulta quindi nitido, mentre le regioni periferiche presentano un livello di sfocatura crescente, fino a un raggio massimo pari a circa 12 pixel . Ne deriva una perdita di dettagli ad alte frequenze spaziali, che rende l'effetto visibile ma realistico.

Le elaborazioni effettuate hanno permesso di ottenere quattro versioni di ciascun affresco: una visuale intermedia con *blur* e tre versioni prive di sfocatura, corrispondenti a una visuale intermedia, una più ravvicinata e una più estesa. Tali immagini sono state successivamente utilizzate in coppia per definire le condizioni sperimentali.

3.2.3 Il disegno sperimentale

Lo studio adotta un disegno sperimentale entro i soggetti (*within-subject*), in cui ogni partecipante è esposto a tutte le condizioni sperimentali, per un totale di 120 prove

presentate in ordine casuale e bilanciato. In ciascuna prova viene presentata una coppia di immagini, separate da una maschera dinamica. In particolare, la prima immagine di ogni coppia consiste nella vista intermedia dell'affresco, manipolata con l'effetto di sfocatura volto a simulare la profondità di campo. Essa rappresenta il punto di riferimento (*baseline*) per il confronto. La seconda immagine è costituita da una versione dell'affresco priva di *blur*, la quale può presentare una visuale identica (*same*), più ravvicinata (*closer*) o più estesa (*farther*) rispetto alla precedente.

Sono state così determinate tre condizioni sperimentali: nella condizione *same-same* la seconda immagine presenta la stessa visuale della prima; nella condizione *same-closer* viene presentata come seconda immagine una versione più ravvicinata della scena; infine, nella condizione *same-farther* la seconda immagine mostrata è costituita da versione più ampia, che include una porzione maggiore dell'affresco. La variabile indipendente è costituita dalla versione dell'affresco presentata come secondo stimolo all'interno di ciascuna coppia. Le variabili dipendenti sono costituite da due differenti valutazioni fornite dai partecipanti dopo ogni prova. In particolare, viene chiesto in primo luogo di esprimere un giudizio relativo alla differenza di distanza percepita tra la prima e la seconda immagine di ogni coppia e, in secondo luogo, di indicare il grado di sicurezza della propria risposta.

3.2.4 La procedura

L'esperimento è stato condotto online attraverso la piattaforma *Jatos* (versione 3.6.1) e prevedeva una durata di circa 30 minuti per partecipante.

Le istruzioni preliminari richiedevano di svolgere il compito in un luogo tranquillo e di utilizzare un *computer*. Inoltre, è stato indicato di avere a disposizione un righello, necessario per ridimensionare una immagine iniziale. Prima dell'esperimento è stato infatti chiesto ai partecipanti di trascinare un'immagine che compariva sullo schermo fino a raggiungere una lunghezza di 10 centimetri. Tale passaggio ha permesso di standardizzare le proporzioni delle dimensioni delle immagini-stimolo su *computer* diversi.

Inizialmente, sono state poste alcune domande preliminari relative alle caratteristiche socio-demografiche (genere, età) e alla conoscenza delle arti visive. Nello specifico è

stato chiesto se si ritenessero degli appassionati di pittura o arti visive (“Ti ritieni un appassionato di pittura o arti visive?”: Sì/No) e se si considerassero esperti d’arte (“Ti ritieni un esperto d’arte?” Sì/No). Successivamente, sono state presentate ai partecipanti le istruzioni per svolgere il compito. Innanzitutto, è stato spiegato che avrebbero dovuto osservare una immagine, cercando di ricordarla il più accuratamente possibile. A seguire, sarebbe comparsa una maschera e, immediatamente dopo, una seconda immagine con le stesse dimensioni in *pixel*. Quest’ultima avrebbe potuto rappresentare la medesima scena (*same*), una porzione più ravvicinata (*closer*), nella quale gli oggetti apparivano più grandi rispetto all’immagine iniziale, oppure una porzione più ampia (*farther*), nella quale gli oggetti apparivano più piccoli. Successivamente, sono state illustrate le modalità di risposta. Ai partecipanti è stato spiegato come esprimere il proprio giudizio relativo alla seconda immagine presentata utilizzando una barra corrispondente ad una scala continua. In modo analogo, è stato illustrato come indicare il grado di sicurezza della risposta tramite una seconda barra. In entrambi i casi, è stato mostrato un esempio della scala ed è stato specificato che la risposta poteva essere fornita selezionando un qualsiasi punto della barra. È stato poi richiesto di mantenere lo sguardo al centro dell’immagine, indicato dalla croce di fissazione verde al centro dello schermo. Infine, è stato fornito un esempio delle immagini nella condizione *closer* e nella condizione *farther*, in modo tale da permettere ai partecipanti di notare le differenze tra le due versioni.

L’esperimento è stato preceduto da una fase di pratica, costituita da quattro prove, finalizzata a consentire ai partecipanti di familiarizzare con la struttura del compito e la sua modalità di svolgimento. Successivamente, i partecipanti hanno completato un totale di 120 prove sperimentali. Sia le prove della fase di pratica sia quelle dell’esperimento presentavano la sequenza di seguito riportata. Inizialmente, al centro del monitor appariva una croce di fissazione verde della durata di 1000 ms, necessaria ad orientare lo sguardo dei partecipanti verso una posizione iniziale comune. Dopo i primi 1000 ms, venivano mostrati contemporaneamente per 500 ms la croce di fissazione e il primo stimolo (*target*), costituito dall’immagine intermedia dell’affresco manipolata mediante l’effetto di sfocatura, la cui regione centrale risultava allineata con la croce di fissazione. Al termine della presentazione della croce di fissazione e del primo stimolo, appariva sullo schermo una maschera dinamica costituita da quadrati bianchi e neri in rapido movimento. Lo scopo della maschera era quello di interrompere l’elaborazione visiva

dell'immagine. In questo modo le risposte dei partecipanti potevano essere ricondotte alla loro rappresentazione in memoria e non a un confronto percettivo tra le due immagini. Il mascheramento era della durata complessiva di 600 ms, ovvero 100 ms per ognuna delle sei singole maschere. In seguito, veniva presentata una schermata vuota per 100 ms, al termine della quale veniva presentato il secondo stimolo (*probe*), costituito da una versione dell'affresco priva di *blur*, con visuale identica (*same*), più ravvicinata (*closer*) o più estesa (*farther*) rispetto al *target*. La durata di presentazione del *probe* non era prestabilita: l'immagine rimaneva visibile sullo schermo fino alla risposta dei partecipanti. Ai partecipanti veniva quindi chiesto di esprimere un primo giudizio relativo alla differenza di distanza percepita tra lo stimolo *target* e il *probe*. La valutazione avveniva mediante il posizionamento di un cursore lungo una barra, corrispondente ad una scala continua da 0 a 100. Gli estremi erano indicati con le etichette “molto più vicina” e “molto più lontana”, mentre il centro corrispondeva all'etichetta “uguale”. Veniva poi chiesto di indicare il grado di sicurezza della propria risposta attraverso una scala analoga. In questo caso, gli estremi della scala corrispondevano alle etichette “non ricordo” e “completamente sicuro”, mentre due punti intermedi erano identificati dalle etichette “poco sicuro” e “sicuro”.

3.2.5 L'analisi dei dati

I giudizi dei partecipanti relativi sia alla differenza di distanza percepita che al grado di sicurezza sono stati inizialmente ricodificati utilizzando la seguente formula:

$$risposta\ ricodificata = \left(\frac{risposta}{100} \cdot 4 \right) - 2$$

Tale operazione ha permesso il passaggio dal valore espresso lungo la scala continua da 0 a 100, a un valore compreso tra -2 e +2. In relazione alla distanza percepita, il valore -2 corrisponde quindi al giudizio “*closer*”, mentre il valore +2 al giudizio “*farther*”. Per quanto riguarda, invece, la sicurezza della risposta, il valore -2 corrisponde al giudizio “non ricordo”, mentre il valore +2 al giudizio “completamente sicuro”. Le risposte dei partecipanti relative alla differenza di distanza percepita sono state successivamente moltiplicate per il grado di sicurezza associato alla risposta. Il valore pesato ottenuto ha permesso di attribuire maggior rilevanza alle risposte date con maggiore sicurezza,

tenendo conto quindi non solo della direzione della risposta, ma anche della sua affidabilità.

Per indagare la presenza dell'effetto di *Boundary Extension*, le analisi si sono concentrate sulla condizione *same-same*, in cui il *probe* presentava una visuale identica al *target*. Nella prima analisi è stata inizialmente calcolata, per ogni partecipante, la media delle risposte relative alla distanza percepita, senza considerare il grado di sicurezza associato ai giudizi. È stato poi eseguito un t-test a campione singolo (*one-sample t-test*) per verificare se la media delle risposte differisse significativamente da 0. Nella seconda analisi è stata invece calcolata, per ogni partecipante, la media delle risposte relative alla distanza percepita, considerando il grado di sicurezza associato ai giudizi. La media pesata è stata quindi calcolata moltiplicando il valore corrispondente alla distanza percepita per il grado di sicurezza indicato. È stato poi eseguito un secondo t-test a campione singolo per verificare se la media pesata delle risposte differisse significativamente da 0. Specificatamente, un risultato al t-test pari a 0 rappresenta l'assenza di distorsioni nel ricordo dell'immagine, mentre valori negativi indicano che la scena è stata giudicata più ampia rispetto all'immagine originale, evidenziando quindi la presenza di *Boundary Extension*.

Per l'analisi dei dati è stato utilizzato il *software* R (versione 4.5.2).

3.3 Risultati

Hanno preso parte allo studio 34 partecipanti, di età compresa tra i 20 e i 48 anni ($M = 27$, S.D. = 7,10; range = 20–48), di cui 21 donne (61,8%) e 13 uomini (38,2%).

I risultati del t-test condotto per verificare se la media delle risposte differisse da 0 non mostrano una differenza statisticamente significativa: $t(33) = -1.82$, $p = .078$, IC95% [-0.144, 0.008]. Nonostante la media mostri una lieve tendenza negativa ($M = -0.068$), essa non si discosta sufficientemente da zero per poter concludere che sia presente *Boundary Extension*.

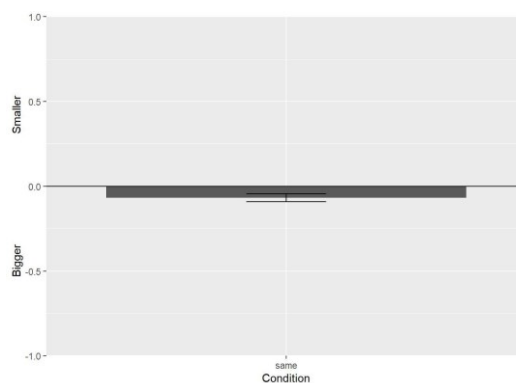


Figura 1

Media della condizione *same-same*.

La media si sposta leggermente nella direzione “*Bigger*”, corrispondente al giudizio di distanza percepita “*Closer*”. I partecipanti mostrano una tendenza, seppur non significativa, a ricordare gli oggetti come più grandi e il *probe* come più ravvicinato rispetto al *target*. Questa tendenza è coerente con quanto atteso in presenza dell’effetto di *Boundary Extension*.

I risultati del t-test condotto per verificare se la media pesata delle risposte differisse da 0 non mostrano anch’essi una differenza statisticamente significativa: $t(33) = -1.71$, $p = .097$, IC95% [-10.441, 0.906]. Nonostante la media mostri una lieve tendenza negativa ($M = -4.767$), essa non si discosta sufficientemente da zero per poter concludere che sia presente *Boundary Extension*.

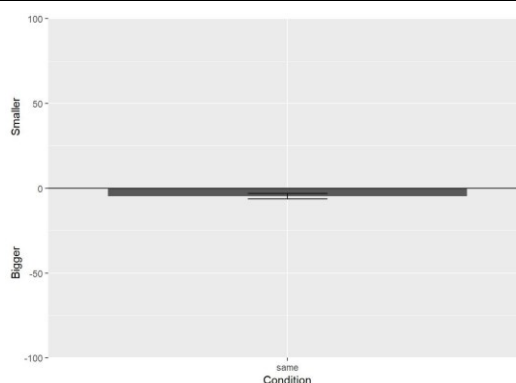


Figura 2

Media della condizione *same-same* pesata sulla base del livello di sicurezza dei partecipanti rispetto alla loro risposta.

La media si sposta leggermente nella direzione “*Bigger*”, corrispondente al giudizio di distanza percepita “*Closer*”. I partecipanti mostrano una tendenza, seppur non significativa, a ricordare con sicurezza gli oggetti come più grandi e il *probe* come più ravvicinato rispetto al *target*. Questa tendenza è coerente con quanto atteso in presenza dell’effetto di *Boundary Extension*.

CAPITOLO 4: DISCUSSIONE

Il presente studio si è proposto di verificare se l'introduzione di indizi di profondità di campo negli affreschi rinascimentali potesse favorire l'emergere della *Boundary Extension*. L'ipotesi derivava dai risultati di precedenti esperimenti condotti dallo stesso gruppo di ricerca dell'Università di Padova, nei quali la *Boundary Extension* era emersa in presenza di fotografie, ma non in presenza di affreschi rinascimentali. La presenza della prospettiva lineare non sembrava essere sufficiente, in questo contesto, a favorire l'emergere del fenomeno. Considerando le evidenze che collegano la ridotta profondità di campo alla distanza percepita e alla *Boundary Extension* (Bainbridge & Baker, 2020; Hafri et al., 2022; Gandolfo et al., 2023), si era quindi ipotizzato che l'introduzione di indizi di profondità di campo potesse favorire l'emergere del fenomeno anche negli affreschi rinascimentali.

I risultati non hanno fornito evidenza statistica della presenza di *Boundary Extension* negli affreschi nonostante fossero sottoposti alla manipolazione. Nella condizione *same-same*, la risposta media si è collocata nella direzione prevista dal fenomeno, senza raggiungere però la significatività statistica. Anche l'analisi che teneva conto della sicurezza dei partecipanti ha mostrato una tendenza nella stessa direzione, anch'essa non significativa.

L'ipotesi secondo cui l'introduzione di indizi di profondità di campo favorisse l'emergere della *Boundary Extension* negli affreschi non è stata quindi confermata. Diverse caratteristiche della manipolazione e degli stimoli possono essere considerate per interpretare questo risultato.

4.1 Interpretazione dei risultati

Una prima possibile interpretazione riguarda la coerenza della manipolazione con la struttura prospettica degli affreschi. Nel presente studio, la ridotta profondità di campo è stata simulata attraverso una sfocatura periferica a simmetria radiale, applicata a tutti gli affreschi a partire dal centro geometrico dell'immagine, indipendentemente dalla specifica struttura prospettica della scena. Di conseguenza, il gradiente di sfocatura non rifletteva necessariamente la variazione di profondità rappresentata nella scena. Questo aspetto è rilevante alla luce del modello proposto da Held e collaboratori (2010), secondo

cui l'informazione fornita dalla sfocatura viene integrata con gli altri indizi di profondità presenti nella scena, in particolare con la prospettiva. Gli autori hanno mostrato che l'effetto della sfocatura sulla distanza percepita dipende dalla coerenza tra il gradiente di sfocatura e la variazione di profondità indicata dagli altri indizi: quando le due informazioni sono coerenti, la sfocatura può modificare la distanza percepita, mentre il suo effetto risulta più debole quando sono incongruenti (Held et al., 2010). È quindi possibile che, in alcuni affreschi del presente studio, la sfocatura a simmetria radiale non fosse sufficientemente coerente con la struttura di profondità suggerita dalla prospettiva lineare. In questo caso, la manipolazione non avrebbe prodotto la variazione della distanza percepita necessaria a far apparire la scena come una vista più ravvicinata. Di conseguenza, l'effetto della ridotta profondità di campo sulla percezione della distanza potrebbe essere stato troppo debole per favorire l'emergere della *Boundary Extension*.

Una seconda possibile interpretazione riguarda la possibilità che la manipolazione utilizzata nel presente studio non abbia prodotto gli stessi effetti percettivi osservati con il *tilt-shift* nella letteratura. Hafri e collaboratori (2022) hanno utilizzato una manipolazione che simulava l'effetto *tilt-shift* e produceva un effetto di miniaturizzazione. Hanno osservato che le immagini manipolate venivano percepite come più vicine e mostravano una maggiore *Boundary Extension*. Nel presente studio, invece, è stata usata una sfocatura periferica a simmetria radiale. Sebbene entrambe le manipolazioni siano volte a simulare una ridotta profondità di campo, esse differiscono nelle modalità con cui la sfocatura viene distribuita nell'immagine e potrebbero quindi non produrre gli stessi effetti percettivi. È possibile che la sfocatura utilizzata nel presente studio non abbia determinato una variazione della distanza percepita paragonabile a quella prodotta dalla manipolazione *tilt-shift* utilizzata da Hafri e collaboratori (2022). Se la manipolazione non ha indotto una percezione sufficientemente marcata di maggiore vicinanza della scena, ciò potrebbe aver contribuito alla mancata manifestazione della *Boundary Extension*.

Un'ulteriore interpretazione può essere ricavata dai risultati di Gandolfo e collaboratori (2023). Gli autori hanno osservato *Boundary Extension* nelle fotografie con profondità di campo ridotta, simile a quella dell'esperienza visiva quotidiana, e *Boundary Contraction* in quelle con profondità di campo estesa. Hanno quindi proposto che la *Boundary*

Extension rifletta un meccanismo predittivo attraverso il quale l'osservatore integra l'informazione visiva con le proprie aspettative su ciò che si trova oltre i confini della scena. Secondo gli autori, questo processo sarebbe favorito quando la scena è presentata in condizioni simili a quelle dell'esperienza visiva quotidiana (Gandolfo et al., 2023). Nel presente studio, la sfocatura periferica è stata introdotta con l'obiettivo di simulare una ridotta profondità di campo. Tuttavia, la manipolazione ha modificato soltanto questa specifica caratteristica degli affreschi, lasciando inalterate altre caratteristiche, come lo stile pittorico, i colori, gli elementi raffigurati e la composizione della scena. È quindi possibile che l'introduzione di una profondità di campo simile a quella della normale esperienza percettiva non sia stata sufficiente a rendere la rappresentazione complessivamente simile alle condizioni della visione quotidiana. Di conseguenza, la manipolazione potrebbe non aver favorito i processi predittivi proposti da Gandolfo e collaboratori (2023), contribuendo alla mancata manifestazione della *Boundary Extension*.

Un ulteriore elemento da considerare è che la *Boundary Extension* è stata osservata in rappresentazioni visive molto diverse, tra cui fotografie, disegni e pitture rupestri (Intraub et al., 1992; Gagnier & Intraub, 2012; Hubbard & Ruppel, 2017), mentre non è emersa negli affreschi rinascimentali, nonostante la presenza di indizi di profondità, tra cui la prospettiva lineare. Nel presente studio, l'introduzione della sfocatura periferica, volta a simulare una ridotta profondità di campo e a introdurre un'ulteriore informazione relativa alla profondità della scena, non ha determinato l'emergere del fenomeno. Inoltre, Gagnier e Intraub (2012) hanno osservato una maggiore *Boundary Extension* nei disegni rispetto alle fotografie raffiguranti le stesse scene. Nel complesso, questi risultati potrebbero suggerire che la presenza di un particolare indizio di profondità, o la sua aggiunta, non sia di per sé sufficiente a favorire la *Boundary Extension*. L'effetto potrebbe infatti dipendere dal modo in cui lo specifico indizio viene integrato con le altre informazioni disponibili nella scena. Questa possibilità può essere interpretata alla luce del *Multisource Model* di Intraub (2010), secondo il quale la rappresentazione di una scena deriva dall'integrazione di molteplici fonti di informazione, che comprendono sia l'input percettivo sia informazioni generate da processi *top-down*. In quest'ottica, l'effetto di una specifica informazione visiva potrebbe dipendere dal modo in cui essa viene integrata con le altre disponibili. Nel presente studio, la sfocatura periferica potrebbe non aver prodotto

l'effetto atteso sulla *Boundary Extension* non necessariamente perché la manipolazione sia inefficace in sé, ma perché il suo effetto potrebbe essere dipeso dall'integrazione con le altre informazioni disponibili nella scena. Non è tuttavia possibile stabilire quali caratteristiche specifiche degli affreschi possano aver contribuito.

4.2 Limiti dello studio e prospettive future

I risultati del presente studio devono essere interpretati considerando alcuni limiti, che indicano possibili prospettive per future ricerche.

Un primo limite riguarda la modalità di applicazione della manipolazione. La sfocatura periferica a simmetria radiale è stata applicata a partire dal centro geometrico di ciascuna immagine, senza tenere conto della specifica struttura prospettica dei singoli affreschi rinascimentali. L'assenza di *Boundary Extension* potrebbe quindi essere dovuta alla scarsa coerenza tra la sfocatura e la prospettiva degli affreschi, che potrebbe non aver prodotto una variazione nella percezione della distanza sufficientemente marcata da far emergere il fenomeno. Tuttavia, non si può escludere che la manipolazione abbia prodotto l'effetto previsto sulla percezione della distanza, senza che questo si traducesse nell'emergere della *Boundary Extension*. In studi successivi, la manipolazione potrebbe essere applicata tenendo conto della specifica struttura prospettica dei singoli affreschi, in modo che il gradiente di sfocatura sia coerente con la variazione di profondità rappresentata nella scena. Ad esempio, si potrebbe utilizzare la sfocatura a simmetria radiale su affreschi caratterizzati da una prospettiva lineare con punto di fuga centrale, in modo che il centro della sfocatura coincida con il punto di fuga della scena.

Un secondo limite riguarda l'assenza di una verifica preliminare dell'efficacia della manipolazione. La sfocatura è stata applicata agli affreschi rinascimentali al fine di simulare una ridotta profondità di campo e modificare la percezione della distanza. Gli affreschi manipolati sono stati poi utilizzati all'interno di un compito di memoria per verificare la presenza di *Boundary Extension*. Non è stata però effettuata una verifica preliminare dell'efficacia della sfocatura sulla percezione dello stimolo. Non è quindi possibile stabilire se la manipolazione abbia effettivamente prodotto il cambiamento percettivo previsto. Ciò impedisce di distinguere se l'assenza di *Boundary Extension* sia dovuta a un mancato effetto sulla distanza percepita oppure al fatto che, pur avendo modificato la distanza percepita, la manipolazione non sia stata sufficiente a far emergere

il fenomeno negli affreschi rinascimentali. Studi futuri potrebbero verificare se la sfocatura utilizza nel presente studio produca effettivamente il cambiamento atteso nella percezione della distanza. La letteratura presenta alcuni esempi di paradigmi utilizzati per indagare questo effetto (Held et al., 2010; Vishwanath & Blaser, 2010), ma tali approcci sono stati sviluppati utilizzando come stimoli fotografie di scene urbane reali (Held et al., 2010), fotografie di superfici rocciose e pattern geometrici generati al computer (Vishwanath & Blaser, 2010). In questo caso, si potrebbero mostrare gli affreschi con e senza sfocatura uno alla volta e in ordine randomizzato e chiedere ai partecipanti di indicare, su una scala continua da 0 a 100 o su una scala *Likert*, quanto percepiscono distanti gli elementi sullo sfondo rispetto al protagonista della scena.

Un ulteriore limite riguarda l'assenza di una condizione di confronto. Nel presente studio, gli affreschi sono stati manipolati applicando una sfocatura con l'obiettivo di favorire la *Boundary Extension*. Nonostante la manipolazione, non si è osservato il fenomeno. Non è stato però verificato l'effetto della stessa manipolazione sulla comparsa della *Boundary Extension* in altre tipologie di immagini. Per questo motivo, non è possibile stabilire se la sua assenza nel presente studio sia dovuta all'inefficacia della manipolazione utilizzata o alla specificità degli affreschi rinascimentali. Sarebbe quindi utile applicare la stessa sfocatura a simmetria radiale a immagini diverse, per verificare se la specifica manipolazione sia in grado di favorire la *Boundary Extension* anche al di fuori di questo tipo di rappresentazione. Ad esempio, si potrebbero utilizzare fotografie con profondità di campo estesa, nelle quali Gandolfo e collaboratori (2023) hanno osservato *Boundary Contraction*, e applicare la sfocatura utilizzata nel presente studio. Se la sfocatura in questo caso favorisse la *Boundary Extension*, sarebbe possibile ipotizzare che la mancata manifestazione del fenomeno negli affreschi sia legata a caratteristiche proprie di questo tipo di rappresentazione. Studi successivi potrebbero quindi approfondire quali caratteristiche degli affreschi possano contribuire a questa differenza.

CONCLUSIONI

Il presente studio si è proposto di verificare se l'introduzione di indizi di profondità di campo negli affreschi rinascimentali potesse favorire la *Boundary Extension*. L'ipotesi derivava dai risultati di diversi studi precedenti che avevano evidenziato la presenza del fenomeno in fotografie con ridotta profondità di campo, il ruolo della sfocatura come indizio di profondità e l'assenza di *Boundary Extension* negli affreschi rinascimentali. I risultati ottenuti non hanno fornito evidenza statistica della presenza del fenomeno negli affreschi sottoposti alla manipolazione. Le risposte hanno mostrato una lieve tendenza nella direzione prevista dal fenomeno, ma questa non ha raggiunto la significatività statistica. L'ipotesi secondo cui l'introduzione di una sfocatura volta a simulare una ridotta profondità di campo potesse favorire l'emergere della *Boundary Extension* negli affreschi non è stata quindi confermata. I risultati non consentono tuttavia di stabilire se ciò dipenda dall'efficacia della manipolazione o da caratteristiche proprie degli affreschi. Considerato che la *Boundary Extension* è stata osservata in diverse tipologie di rappresentazione, ma non negli affreschi rinascimentali, questi ultimi rappresentano un caso particolarmente interessante per comprendere quali condizioni favoriscano o ostacolino l'emergere del fenomeno. Più in generale, lo studio della *Boundary Extension* è rilevante perché permette di indagare come la rappresentazione mnestica di una scena venga costruita a partire dall'informazione visiva disponibile, integrandola con informazioni che vanno oltre ciò che è direttamente presente nell'immagine. Approfondire le condizioni in cui il fenomeno emerge o non emerge può quindi contribuire a comprendere come percezione e memoria interagiscono nella costruzione e nel ricordo delle scene.

BIBLIOGRAFIA

- Bainbridge, W. A., & Baker, C. I. (2020). Boundaries Extend and Contract in Scene Memory Depending on Image Properties. *Current Biology*, 30(3), 537-543.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.12.004>
- Chunharas, C., Rademaker, R. L., Brady, T. F., & Serences, J. T. (2022). An adaptive perspective on visual working memory distortions. *Journal of experimental psychology. General*, 151(10), 2300–2323. <https://doi.org/10.1037/xge0001191>
- Cutting, J. E., & Vishton, P. M. (1995). Perceiving layout and knowing distances: The integration, relative potency, and contextual use of different information about depth. In W. Epstein & S. J. Rogers (Eds.), *Perception of space and motion* (pp. 69–117). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012240530-3/50005-5>
- Gagnier, K. M., & Intraub, H. (2012). When less is more: Line drawings lead to greater boundary extension than do colour photographs. *Visual Cognition*, 20(7), 815–824. <https://doi.org/10.1080/13506285.2012.703705>
- Gandolfo, M., Nägele, H., & Peelen, M. V. (2023). Predictive Processing of Scene Layout Depends on Naturalistic Depth of Field. *Psychological science*, 34(3), 394–405. <https://doi.org/10.1177/09567976221140341>
- Gogel, W. C. (1969). The effect of object familiarity on the perception of size and distance. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 21(3), 239–247. <https://doi.org/10.1080/14640746908400218>
- Goldstein, E. B. (2008). Pictorial Perception and Art. In E. B. Goldstein (Ed.), *Blackwell Handbook of Sensation and Perception* (1st edn, pp. 344–378). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470753477.ch11>
- Hafri, A., Wadhwa, S., & Bonner, M. F. (2022). Perceived Distance Alters Memory for Scene Boundaries. *Psychological science*, 33(12), 2040–2058. <https://doi.org/10.1177/09567976221093575>
- Held, R. T., Cooper, E. A., O'Brien, J. F., & Banks, M. S. (2010). Using blur to affect perceived distance and size. *ACM Transactions on Graphics*, 29(2), 1–16. <https://doi.org/10.1145/1731047.1731057>

Hibbard, P. B., Asher, J. M., & Hornsey, R. L. (2025). The contributions of pictorial, motion, and binocular cues to the perception of depth and distance. *Vision Research*, 234, 108653. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2025.108653>

Hubbard, T. L. (2025). Setting the scene for boundary extension: Methods, findings, connections, and theories. *Psychonomic Bulletin & Review*, 32(1), 97–138. <https://doi.org/10.3758/s13423-024-02545-w>

Hubbard, T. L., & Ruppel, S. E. (2017). The (Dynamic) Mind in the Cave: Representational Space of Cave Paintings and Petroglyphs. *Empirical Studies of the Arts*, 35(1), 67–92. <https://doi.org/10.1177/0276237416638487>

Intraub, H. (2002). Anticipatory spatial representation of natural scenes: Momentum without movement? *Visual Cognition*, 9(1-2), 93–119. <https://doi.org/10.1080/13506280143000340>

Intraub, H. (2010). Rethinking Scene Perception. In *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 52, pp. 231–264). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(10\)52006-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(10)52006-1)

Intraub, H., & Richardson, M. (1989). Wide-angle memories of close-up scenes. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 15(2), 179–187. <https://doi.org/10.1037//0278-7393.15.2.179>

Intraub, H., Bender, R. S., & Mangels, J. A. (1992). Looking at pictures but remembering scenes. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 18(1), 180–191. <https://doi.org/10.1037//0278-7393.18.1.180>

Jiménez-Desmond, D., Pozo-Antonio, J. S., & Arizzi, A. (2024). The fresco wall painting techniques in the Mediterranean area from Antiquity to the present: A review. *Journal of Cultural Heritage*, 66, 166–186. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.11.018>

Kingslake, R. (1992). *Optics in photography*. SPIE Press

Loomis, J., & Knapp, J. (2003). Visual perception of egocentric distance in real and virtual environments. In L. J. Hettinger & M. W. Haas (Eds.), *Virtual and adaptive environments: Applications, implications, and human performance issues* (pp. 21–46). Lawrence Erlbaum Associates Publishers. <https://doi.org/10.1201/9781410608888.pt1>

- Mather G. (1996). Image blur as a pictorial depth cue. *Proceedings. Biological sciences*, 263(1367), 169–172. <https://doi.org/10.1098/rspb.1996.0027>
- Mather, G. (2014). *The Psychology of Visual Art. Eye, Brain and Art*. Cambridge: Cambridge University Press.
- McCloskey, S., & Langer, M. S. (2009). Planar orientation from blur gradients in a single image. In *2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 2318–2325). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2009.5206618>
- Nanay, B. (2022). Boundary extension as mental imagery. *Analysis*, 81(4), 647–656. <https://doi.org/10.1093/analys/anab023>
- Saunders, J. A., & Backus, B. T. (2006). The accuracy and reliability of perceived depth from linear perspective as a function of image size. *Journal of Vision*, 6(9), 7. <https://doi.org/10.1167/6.9.7>
- T. Okatani and K. Deguchi, Estimating Scale of a Scene from a Single Image Based on Defocus Blur and Scene Geometry, *2007 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Minneapolis, MN, USA, 2007, pp. 1-8, doi: [10.1109/CVPR.2007.383217](https://doi.org/10.1109/CVPR.2007.383217).
- Tsutsui, K., Taira, M., & Sakata, H. (2005). Neural mechanisms of three-dimensional vision. *Neuroscience research*, 51(3), 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.neures.2004.11.006>
- Tyler, C. W. (2020). The Intersection of Visual Science and Art in Renaissance Italy. *Perception*, 49(12), 1265–1282. <https://doi.org/10.1177/0301006620974973>
- Vishwanath, D., & Blaser, E. (2010). Retinal blur and the perception of egocentric distance. *Journal of Vision*, 10(10), 26–26. <https://doi.org/10.1167/10.10.26>
- Wang, B., Ciuffreda, K. J., & Irish, T. (2006). Equiblur zones at the fovea and near retinal periphery. *Vision research*, 46(21), 3690–3698. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2006.04.005>

RINGRAZIAMENTI

A tutte le persone che mi sono state accanto in questi anni e non solo.

Grazie per aver creduto in me, anche quando io non riuscivo a farlo.

Questo traguardo è anche vostro.