UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di laurea in Psicologia Clinica

Tesi di laurea Magistrale

Movimenti oculari e riconoscimento di scene: l'uso dell'eye tracking per rilevare ricordi autobiografici.

Eye movements and scene recognition: using eye tracking to detect autobiographical memories.

Relatore

Prof. Andrea Zangrossi

Laureando: Petrin Filippo

Matricola: 2114293

Anno Accademico 2024/2025

INDICE

INTRODUZIONE **5**

CAPITOLO 1 – LA MEMORIA DI RICONOSCIMENTO **7**

1.1 PREMESSE TEORICHE: LA MEMORIA 7

1.1.1 Come funziona la memoria? *7*

1.1.2 La memoria a lungo termine *9*

1.2 MEMORIA E TESTIMONIANZA 11

1.2.1 Ricordare di sé: la memoria autobiografica *11*

1.3 RIEVOCARE O RICONOSCERE? 14

1.3.1 Teoria di detezione del segnale *15*

1.3.2 Teoria di riconoscimento a doppio processo *17*

1.4 MEMORY DETECTION E INDICI FISIOLOGICI 19

1.4.1 Il Concelead Information Test *20*

SOMMARIO 22

CAPITOLO 2 – I MOVIMENTI OCULARI **24**

2.1 EYE MOVEMENTS: CARATTERISTICHE E FUNZIONI 24

2.1.1 Fisiologia dei movimenti oculari *24*

2.1.2 Lo sviluppo dell'eye-tracking *27*

2.1.3 Cognizione e movimenti oculari *28*

2.2 EYE MOVEMENTS E MEMORIA 31

2.2.1 Legami con la memoria semantica *32*

2.2.2 Legami con la memoria episodica *32*

2.2.3 Movimenti oculari e riconoscimento: il repetition effect *34*

2.3 EYE TRACKING IN AMBITO FORENSE 36

SOMMARIO 38

CAPITOLO 3 – LO STUDIO **40**

3.1 IPOTESI E OBIETTIVI 40

3.2 PARTECIPANTI 40

3.3 PROCEDURA SPERIMENTALE 41

3.3.1 Prima sessione *42*

3.3.2 Seconda sessione *43*
3.4 STIMOLI E STRUMENTAZIONE 45
3.5 ANALISI DEI DATI RACCOLTI 46
3.5.1 Pre-processing *48*
3.5.2 Analisi statistica *50*
3.6 I RISULTATI 51
3.6.1 Durata delle fissazioni *51*
3.6.2 Ampiezza delle saccadi *53*
3.6.3 Velocità delle saccadi *55*
3.6.4 K coefficient *57*
SOMMARIO 60
CAPITOLO 4 – DISCUSSIONE DEI RISULTATI 62
4.1 INTERPRETAZIONI E IMPLICAZIONI 62
4.1.1 Differenze oculomotorie tra luoghi familiari e nuovi *62*
4.1.2 Differenze oculomotorie tra luoghi visitati e visti in foto *66*
4.2 LIMITI DELLO STUDIO E PROSPETTIVE FUTURE 68
CONCLUSIONI 72
BIBLIOGRAFIA 76
SITOGRAFIA 87

INTRODUZIONE

La memoria è una facoltà centrale per la vita degli esseri umani, e non solo. Immaginando anche solo una giornata senza la capacità di ricordare quello di cui si fa esperienza traspare che verrebbe compromessa l'integrità funzionale dell'individuo, fino a minare la sua stessa sopravvivenza. Tuttavia, la memoria non equivale semplicemente alla capacità di ricordare: essa è un costrutto multicomponenziale molto complesso e sfaccettato, che proprio in ragione della sua complessità influenza a vari livelli il funzionamento globale di ogni soggetto. Una delle varie componenti della memoria che sono state largamente indagate dalla letteratura scientifica è la capacità di riconoscimento. Succede a tutti che un luogo, un oggetto o un'altra persona sembrino familiari e vengano riconosciuti senza che venga attivamente riattivato il ricordo della prima volta in cui se ne ha fatto esperienza. È un meccanismo automatico, e come tale esula la volontà del soggetto. Proprio questa caratteristica può essere cruciale in un contesto in cui è importante saggiare la presenza di un determinato ricordo nella mente di un individuo, al di là della sua volontà di riportare esplicitamente o meno tale ricordo: il contesto forense.

Il presente lavoro di tesi ha l'obiettivo di testare la possibilità di rilevare la presenza di tracce di memoria autobiografica utilizzando come marker un indice fisiologico: i movimenti oculari. Attraverso l'uso dell'eye tracker vi è la possibilità di impiegare i diversi pattern di movimenti oculari come misura covert per distinguere se un determinato ricordo è stato precedentemente immagazzinato dal soggetto o meno, nell'ottica di implementare le metodologie di memory detection disponibili nella valutazione delle testimonianze in psicologia forense. I movimenti oculari, come verrà discusso in seguito, presentano caratteristiche e funzioni che li rendono adatti per indagare la memoria di riconoscimento, fra tutte il fatto che sono in parte automatici e involontari. Il loro impiego nel contesto forense come misura implicita di riconoscimento costituirebbe quindi un approccio innovativo.

Sulla base di tali premesse è stato condotto e verrà presentato uno studio sperimentale che ha tentato di rispondere a un duplice interrogativo: attraverso i pattern di movimenti oculari è possibile distinguere se un determinato luogo è familiare o meno? Nel caso in cui il luogo fosse riconosciuto, è possibile distinguere se il luogo è stato visitato dal vivo o solo visto in foto? Per rispondere a questi quesiti è stato strutturato un compito di free-viewing di scene complesse durante il quale i movimenti oculari dei

partecipanti sono stati registrati e successivamente analizzati. Come si vedrà, i risultati sono stati incoraggianti per quanto riguarda la rilevazione del riconoscimento; invece, sulla discriminazione tra luoghi visitati e visti in foto, i dati non sono stati altrettanto netti, ma possono comunque fornire informazioni interessanti. Nel complesso, si può affermare che questo studio lascia aperta la via per lo sviluppo di una nuova tecnica da annoverare tra le metodologie di memory detection impiegate nell'ambito forense.

Attualmente, il peso che la testimonianza esercita nell'ambito processuale è molto rilevante, al punto che viene spesso considerata la "prova regina". È quindi fondamentale lo sviluppo di nuove tecniche e metodi che possano implementare la valutazione della validità delle dichiarazioni testimoniali e, in generale, di tutte le deposizioni, in modo da ottimizzare l'iter processuale e, consequenzialmente, ridurre l'incidenza di errori giudiziari. In quest'ottica, l'impiego di indicatori fisiologici involontari, come i movimenti oculari, rappresenta una promettente frontiera oggetto del presente lavoro.

CAPITOLO 1

LA MEMORIA DI RICONOSCIMENTO

1.1 Premesse teoriche: la memoria

Il concetto di memoria è stato centrale in ogni cultura umana sin da tempi antichissimi. Anche senza gli strumenti, le tecniche e le misurazioni moderne, i filosofi e i sapienti antichi avevano compreso che senza la capacità di ricordare, si perde una componente fondamentale caratteristica dell'essere umano. Basti pensare che, nella mitologia greca, la memoria era personificata nella titanide Mnemosine: è dalla sua unione con Zeus che, secondo la tradizione, sono nate le nove muse, elevazione idealizzata dell'Arte su cui si fonda la cultura. Questo è solo un esempio che dimostra come anche il mondo greco, dal quale nasce la società occidentale moderna, riconoscesse l'importanza della memoria come facoltà alla base della civiltà. Ma nel dettaglio, come si può definire il concetto di memoria? Quali e quanti processi e meccanismi vi sono alla base? Per rispondere a questi quesiti, un contributo fondamentale proviene dalla psicologia cognitiva e dalle neuroscienze, che da decenni indagano questa tematica, ampliando in modo significativo le conoscenze a riguardo.

1.1.1 Come funziona la memoria?

Innanzitutto, l'American Psychological Association (2018) definisce la memoria come "*l'abilità di conservare informazioni o rappresentazioni di esperienze passate, la quale si basa sui processi mentali di apprendimento o codifica, mantenimento nel tempo e recupero o riattivazione del ricordo*". Si evince da questa definizione che la memoria non significa semplicemente "ricordare". Nella visione della psicologia cognitiva di Ulric Neisser (1967), tre sono i processi mnestici fondamentali: la codifica delle informazioni esperite, l'immagazzinamento di tali informazioni nel cervello, e, infine, il loro recupero. Questi processi sono fortemente intrecciati tra loro, in quanto il recupero delle informazioni dipende dal modo in cui queste sono state immagazzinate, il che a sua volta dipende dal processo di codifica. A rendere più articolata questa visione vi è il fatto che si potrebbe parlare non di "memoria" ma di "memorie", in quanto sono stati convenzionalmente distinti diversi sistemi mnestici, connessi tra loro ma legati all'attivazione di correlati anatomo-fisiologici cerebrali differenti. Un modello teorico

molto influente a riguardo è stato il *modello modale* di Atkinson e Shiffrin (1968). Secondo la versione originale di questa teoria, le informazioni vengono codificate e memorizzate in sistemi mnestici differenti seguendo il seguente ordine:

1. Dapprima vi è l'elaborazione in un magazzino di memoria sensoriale, che funge da interfaccia tra percezione e cognizione;
2. Successivamente, l'informazione passa a un sistema di memoria a breve termine (MBT), che gli autori definiscono anche memoria di lavoro, in quanto presiede a una manipolazione attiva delle informazioni che verranno immagazzinate nella memoria a lungo termine. Questo sistema negli anni è stato connesso alle funzioni esecutive, proprio per questa sua caratteristica di elaborazione attiva e strategica delle informazioni;
3. Infine, le tracce mnestiche vengono immagazzinate in un sistema di memoria a lungo termine (MLT), nel quale possono essere mantenute per molto più tempo rispetto ai precedenti sistemi e che, come vedremo, presenta una componente esplicita e una implicita.

Come puntualizzato da Baddeley (2021), il modello modale, successivamente abbondantemente rivisto e rielaborato, si focalizza sui diversi tipi di magazzini di memoria in maniera abbastanza statica; altri autori (es. Nairne 1990; 2002) preferiscono focalizzarsi sui processi, ossia sulle somiglianze nei meccanismi coinvolti in compiti di memoria anche molto diversi tra loro, sostenendo l'idea di un sistema mnestico più unitario e corale. Sicuramente, anche grazie al contributo delle neuroscienze e del neuroimaging, ora non prevale una visione riduzionista che vede la memoria suddivisibile in compartimenti stagni: è ampiamente provato ad esempio che nel processo del modello modale precedentemente descritto, il flusso delle informazioni fluisce anche nel verso opposto, coinvolgendo e influenzando altre facoltà quali attenzione e funzioni esecutive, e lavorando quindi come un'unità. Tuttavia, sostiene sempre Baddeley, prendere in esame i diversi sistemi di memoria è importante anche per analizzare nel dettaglio le loro differenze e così comprendere al meglio le interconnessioni e i processi sottostanti, comunque non soffermandosi in un'ottica puramente descrittiva ma anche processuale.

1.1.2 La memoria a lungo termine

Il presente lavoro di tesi si focalizzerà nello specifico sul sistema di memoria a lungo termine, un costrutto la cui descrizione e suddivisione classica si rifà al lavoro di Squire (1992). L'autore suddivide la MLT in due componenti principali:

- *Memoria esplicita* (o *dichiarativa*): si tratta di quel processo a cui il senso comune fa riferimento quando parla di memoria, ossia l'atto di ricordare eventi specifici o conoscenze generiche. A sua volta, la memoria esplicita si suddivide in:
    - *Memoria semantica*: riguarda la conoscenza generale di fatti e nozioni sul mondo. Come suggerisce il nome, concerne il significato che attribuiamo alle parole, ma non solo: il modo in cui bisogna comportarsi in certe situazioni, l'associazione tra esperienze sensoriali e oggetti (ad esempio, il colore di un limone, il suo gusto, …), l'ordine dei giorni della settimana, e così via. Le basi neurali della memoria semantica sono state oggetto di molti studi, e sembrano spaziare dai lobi temporali anteriori, alla corteccia prefrontale ventromediale fino alle aree sensoriali e motorie modalità-specifiche legate all'elaborazione di un determinato concetto (Lambon Ralph et al., 2017).
    - *Memoria episodica*: riguarda la conoscenza specifica di eventi circoscritti nel tempo e nello spazio. Tulving (2002) parla a questo proposito di "*viaggio mentale nel tempo*" per riferirsi al processo di rievocazione di un evento collocato nel passato. A livello neuro-anatomico, vi è soprattutto attivazione temporo-mediale, con l'ippocampo che gioca un ruolo centrale nella rappresentazione spazio-temporale dell'evento, e di altre aree corticali come il giro paraippocampale, la corteccia prefrontale mediale e la corteccia cingolata posteriore, che, operando in concerto, intervengono nei processi di costruzione, recupero e consolidamento dell'evento (Rugg e Vilberg, 2013).
- *Memoria implicita* (o *procedural*e): concerne quelle situazioni in cui non vi è recupero di un ricordo vivido e preciso contestualizzato nel tempo e nello spazio, ma, in ragione di un precedente processo di apprendimento, si riflette nella messa

in atto di un'azione in maniera automatica. L'esempio più classico è l'andare in bicicletta: una volta che si impara da bambini, quest'abilità viene richiamata in maniera implicita dalla memoria senza lo sforzo cognitivo di ripensare attivamente all'episodio in cui è avvenuto l'apprendimento e alle azioni da compiere. Ciò riflette la plasticità neurale del nostro cervello: la memoria implicita implica un set di diverse modalità di apprendimento (condizionamento, priming, …), che possono coinvolgere diverse strutture neurali e perciò non si rifanno a un unico sistema di memoria implicita, quanto più sono accomunate dal fatto che sono rappresentative di come il cervello adatti i propri pattern neurali in base all'esperienza (Reber, 2013). Concettualmente, quindi, la memoria implicita riflette semplicemente un principio di plasticità corticale generalizzata.

Il modello teorico sulla memoria di Squire (1992; fig.1.1) è stato sicuramente molto influente nel panorama scientifico poiché ha permesso una sistematizzazione dei diversi sistemi di memoria a lungo termine che ha agevolato lo studio dei vari processi che la sottendono, distinguendo, tra gli altri aspetti, aree funzionali e pattern neurali coinvolti. Negli anni le trattazioni sull'argomento si sono molto ampliate e, anche grazie allo sviluppo delle tecniche di neuroimaging, si sono potuti analizzare i meccanismi mnestici in maniera più precisa, prendendo in esame i correlati anatomici. I progressi in tale ambito hanno permesso di ampliare l'iniziale modello di Squire (1992), includendo e approfondendo nuovi costrutti. È il caso, ad esempio, del concetto di *memoria*

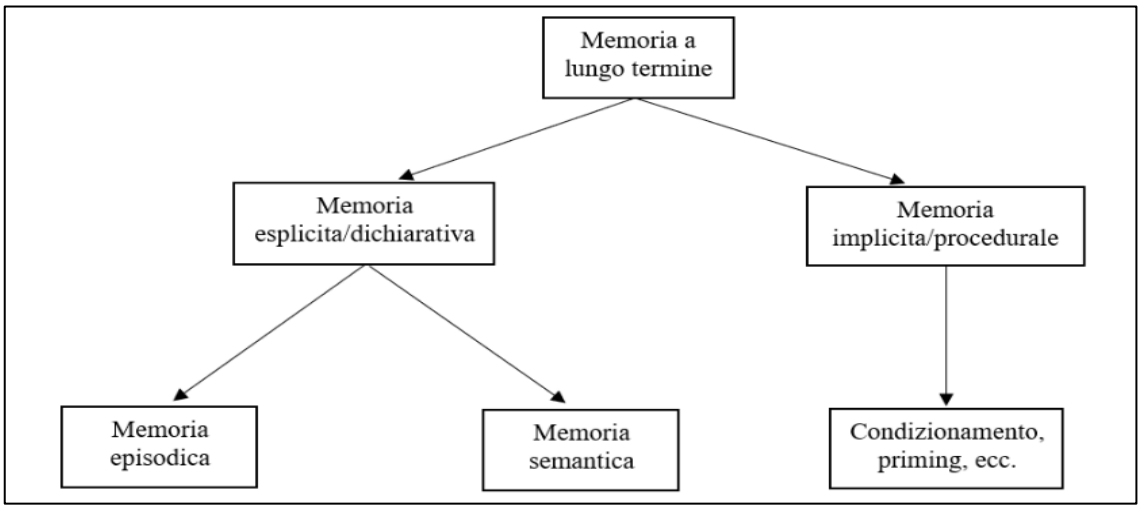

Figura 1.1 I sistemi della memoria a lungo termine secondo Squire (1992)
Fonte: adattato da Baddeley (2021)

autobiografica. Tale sistema di memoria risulta centrale nella psicologia forense, in particolare per quanto riguarda la tematica della testimonianza, come discusso di seguito.

1.2 Memoria e testimonianza

Qual è il peso di una testimonianza oculare in un processo penale? Secondo uno studio condotto da Simons e Chabris (2011) sull'accuratezza delle credenze popolari in tema di memoria, il 37,1% degli americani crede che la testimonianza di un teste che si sente "sicuro" di essa sia una prova sufficiente per condannare un sospettato di un certo reato. L'associazione tra sicurezza e accuratezza è un luogo comune frequente, ma è stato dimostrato che la correlazione tra questi fattori è in realtà molto debole (Sporer et al., 1995). Grazie allo sviluppo delle tecniche di analisi del materiale genetico, negli USA sono stati rivisitati molti casi in cui all'epoca della condanna non era disponibile l'impiego della prova del DNA: è stato dimostrato che in caso di errore giudiziario, quando cioè viene condannato un innocente, la principale causa risiede in un'identificazione erronea del colpevole da parte del teste, che tuttavia si definisce sicuro del proprio ricordo (The Innocence Project, s.d.). Risulta quindi evidente che basare le scelte giudiziarie sulla semplice sicurezza riposta dal testimone sul proprio ricordo può essere rischioso. In linea generale si può affermare che la memoria autobiografica, cioè il tipo di memoria chiamato in causa in aula di tribunale, potrebbe non essere una prova giudiziale affidabile come si può pensare, a causa delle caratteristiche che la contraddistinguono.

1.2.1 Ricordare di sé: la memoria autobiografica

La memoria autobiografica trae concettualmente origine dalla memoria episodica; Tulving (2002), parla di *coscienza autonoetica*, cioè una componente della memoria episodica tipica degli esseri umani che riguarda la facoltà di pensare al passato tenendo il Sé come punto di riferimento, in quanto soggetto che vive l'esperienza. La coscienza autonoetica è fondamentale perché permette di pensare al Sé come all'ente che ha vissuto le esperienze di cui ha ricordo, e perciò riesce a collocarle temporalmente, contribuendo alla costruzione della propria storia personale. Appare chiaro quindi che la memoria autobiografica si intreccia strettamente con il concetto di Sé, una caratteristica che la distingue rispetto agli altri sistemi mnestici. Un tentativo di sistematizzare e integrare queste caratteristiche in una teorizzazione complessiva sul tema è stato condotto da

Martin Conway (2005), il quale sostiene che la memoria autobiografica è un sistema mnestico composto sì da componenti episodiche, ma anche da elementi semantici, seppur non sovrapponendosi completamente né con la memoria episodica né semantica. Il sistema di memoria autobiografica, secondo l'autore, funziona tramite l'interazione tra due componenti: la *base di conoscenze autobiografiche* e il *sé di lavoro* (*working self*). La base di conoscenze riguarda i ricordi di eventi o periodi della propria vita, e si struttura in maniera gerarchica. Include sia conoscenze concettuali astratte e generali, di natura semantica (es. "ho frequentato l'università"), suddivisi in temi, periodi di vita ed eventi generali, sia ricordi episodici veri e propri, di natura senso-percettiva; i ricordi concettuali sono connessi a quelli episodici, e a loro volta sono connessi tra loro, formando così lo scheletro di base della storia personale individuale. Su questa base di conoscenze autobiografiche agisce il sé di lavoro, che già in un lavoro precedente Conway e Pleydell-Pearce (2000) avevano paragonato alla memoria di lavoro, in quanto svolge nella memoria autobiografica un ruolo simile a quello che essa svolge nella cognizione. Il sé di lavoro è una struttura che integra immagini di sé e obiettivi attivi nel momento presente. In base agli scopi contingenti, il sé di lavoro modula attivamente l'accesso ai ricordi della base di conoscenze, attivando solo quelli coerenti con l'immagine di sé in relazione agli obiettivi attuali. Naturalmente, la base di conoscenze influenza a sua volta il sé di lavoro, in quanto quest'ultimo si forma a partire da tutte le esperienze pregresse e dalle rappresentazioni concettuali di sé. In ragione di ciò, si può affermare che il sé di lavoro è una struttura attiva e dinamica, che regola in maniera top-down l'accesso alle informazioni nella memoria a lungo termine riguardanti le proprie esperienze e la propria identità.

È evidente che la memoria autobiografica si configura come un sistema mnestico indipendente e peculiare, e ciò è corroborato anche da diverse evidenze neuroanatomiche

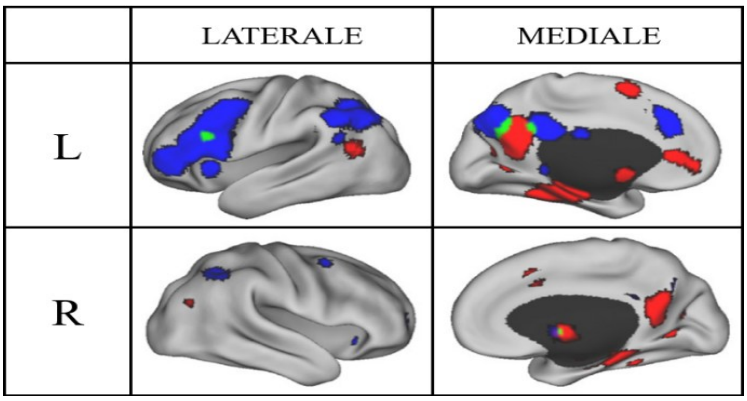

Fig. 1.2 In rosso le aree cerebrali attivate da compiti di recupero autobiografico; in blu le aree cerebrali attivate da compiti di recupero episodico; in verde le aree di sovrapposizione.

Fonte: adattato da McDermott, Szpunar e Christ (2009)

e funzionali. In una metanalisi di McDermott, Szpunar e Christ (2009), sono stati analizzati vari studi di neuroimaging funzionale e sono state messe a confronto le aree cerebrali attivate in compiti di recupero episodico e aree attivate in compiti di recupero autobiografico. Come si evince dalla figura 1.2, confrontando i risultati emersi dagli studi fMRI, le aree coinvolte nei due tipi di memoria sono funzionalmente distinte e le zone di sovrapposizione (in verde in figura) sono minime. La memoria autobiografica coinvolge un network neurale più ampio, che giustifica il modello teorico di Conway (2005). Una review di Svoboda, McKinnon e Levine (2006) evidenzia innanzitutto che ad attivarsi sono le regioni frontali, soprattutto sinistre, in particolare la corteccia prefrontale ventromediale (vmPFC) e la corteccia prefrontale dorsolaterale (dlPFC). Queste aree, strettamente connesse alle funzioni esecutive, sono legate in particolare al concetto di sé di lavoro. La vmPFC è legata alle rappresentazioni di schemi riguardanti il sé, la riflessione autoriferita, il recupero strategico e la selezione di informazioni; la dlPFC è maggiormente legata al controllo esecutivo e al monitoraggio del recupero. Altre regioni di attivazione in relazione alla memoria autobiografica sono l'ippocampo, l'area paraippocampale e la corteccia mediale posteriore (tra cui corteccia cingolata posteriore e precuneo). Queste regioni sono state messe in relazione al recupero episodico, in quanto sono rispettivamente coinvolte nella rievocazione contestualizzata di eventi lontani nel tempo e nella imagery visiva, cioè la costruzione di scenari mentali dettagliati associati al ricordo. Inoltre, vi è attivazione anche della corteccia temporale sinistra, un'area che, come si è detto precedente, è legata al recupero di ricordi di natura concettuale, semantica, e quindi è probabilmente legata alla rievocazione, riprendendo il modello di Conway (2005), di temi, periodi della vita o eventi generali. Infine, una recente metanalisi di Shepardson, Dahlgren & Hamann (2023), in aggiunta alle suddette aree, ha riscontrato una significativa attivazione del lobulo parietale inferiore, nella corteccia parietale, e una più estesa attività nella corteccia prefrontale rispetto a quanto riportato da altre metanalisi, soprattutto nelle zone laterali.

Alla luce di tutto ciò, si può affermare che la memoria autobiografica è un sistema mnestico peculiare, il quale è lungi dall'essere una rappresentazione univocamente fedele della realtà, e perciò non sempre può essere considerata oggettiva. Il sé di lavoro, si è visto, filtra le informazioni accessibili, per favorire la coerenza identitaria in relazione agli obiettivi del momento presente. Questa caratteristica, come si può immaginare, ha un

impatto significativo in ambito forense. Contrariamente alle evidenze scientifiche, il 63% della popolazione generale americana crede che la memoria funzioni come una videocamera, che registra gli eventi da recuperare poi a proprio piacimento (Simons e Chabris, 2011). Non sono immuni a luoghi comuni di questo tipo nemmeno gli "addetti ai lavori" in ambito processuale, come avvocati e giudici (per es., Wise e Safer, 2004; 2010). Tuttavia, bisogna tenere presente che la memoria è un processo ricostruttivo attivo, in cui possono intervenire elementi cognitivi, affettivi, sociali e ambientali che influenzano il recupero dei ricordi, anche in maniera del tutto inconsapevole da parte del soggetto.

1.3 Rievocare o riconoscere?

Fino a questo momento, si è discusso del ricordare come di un processo consapevole e volontario, legato alla possibilità di accedere attivamente alle tracce mnestiche presenti nei magazzini di memoria. In realtà, un'altra importante distinzione da tenere in considerazione quando si parla di processi mnestici autobiografici è quella che contrappone *rievocazione* e *riconoscimento*. Se la prima è proprio il meccanismo attivo e volontario a cui si è fatto riferimento precedentemente, il riconoscimento è un processo automatico non controllato dalla volontà individuale. Per chiarire questa distinzione, può essere utile un esempio. Può capitare a tutti di incontrare una persona per strada e di riconoscerne il viso, ma di non ricordare proprio dove la si è vista prima, e nemmeno il suo nome; ecco, la facoltà che permette di riconoscere quella persona come qualcuno di conosciuto è proprio la memoria di riconoscimento, che non richiede nessuno sforzo cognitivo da parte del soggetto, mentre il deficit che risulta nell'impossibilità di ricordare chi sia la persona riguarda la rievocazione, che invece richiede risorse cognitive. È evidente che la memoria di riconoscimento presenta processi specifici rispetto alla rievocazione e ciò ha diverse implicazioni, di rilevanza anche in ambito forense.

Innanzitutto, si tenga presente che il riconoscimento presuppone un giudizio: ho già visto quel determinato stimolo? Quando lo stimolo target viene presentato insieme ad altri distrattori, le cose si complicano, in quanto la persona tende a esprimere una congettura che deriva dalla necessità di prendere una decisione anche di fronte all'incertezza. In ambito forense, è ampiamente dimostrato l'alto tasso di errore dei confronti all'americana (Valentine, Pickering e Darling, 2003). Un *confronto all'americana (line-up)* è una

procedura adottata dalla polizia in presenza di un testimone oculare nella quale il sospettato viene presentato al testimone insieme ad altre persone aventi caratteristiche simili, in modo da favorire l'identificazione. Questo procedimento porta ad un alto tasso di errore e incertezza, in quanto il testimone tende a compiere l'identificazione anche tirando a indovinare sulla base del sospetto più simile al proprio ricordo, quindi seguendo un giudizio di familiarità. Ecco, dunque, un problema nella misurazione della memoria di riconoscimento: la distinzione tra memoria di per sé e presa di decisione. Per comprendere al meglio e affrontare questa problematica è opportuno prendere in considerazione le teorizzazioni principali sui processi mnestici coinvolti nel riconoscimento.

1.3.1 Teoria di detezione del segnale

Un modello teorico influente sul tema è la *teoria di detezione del segnale*, che origina dagli studi sulla percezione uditiva di Green e Swets (1966). Questa teoria, traslata nel campo della memoria, è stata sviluppata attraverso i cosiddetti "test di riconoscimento sì/no": al partecipante vengono fatti studiare degli stimoli e poi, in una fase successiva, gli vengono presentati uno alla volta stimoli sia vecchi che nuovi e viene richiesto di discriminare, per ognuno, se esso fosse stato presentato in precedenza o meno. Secondo la teoria di detezione del segnale, in questo tipo di test, vi possono essere quattro tipi di casistiche che scaturiscono dalla prestazione del soggetto. Vi può essere il caso di *successo (hit)*, in cui il partecipante riconosce in maniera corretta un item bersaglio precedentemente presentato; il caso di *falso negativo (miss)*, quando un item studiato non viene riconosciuto; il caso di *falso positivo (false alarm)*, se il soggetto afferma di riconoscere un item distrattore che però non gli era mai stato mostrato; infine, il caso di *rifiuto corretto (correct rejection)*, in cui il soggetto afferma correttamente che non ha mai visto un item distrattore (Anderson, 2021). Questo pattern di esiti al test dipende dal valore di forza delle tracce mnestiche nel soggetto. Secondo la teoria, ogni ricordo ha un *valore di forza* che equivale al livello di attivazione della traccia nella memoria, che si traduce nel suo grado di familiarità. Il valore di forza dei distrattori nel test aumenta se quegli stimoli sono stati incontrati frequentemente al di fuori del test o se sono molto simili agli item bersaglio. Assumendo che il valore di forza assuma una distribuzione normale, la capacità di distinguere tra item nuovi e item studiati dipende dalla differenza tra i due valori medi di familiarità, chiamata distanza d' (fig. 1.3). Tendenzialmente, la familiarità media degli item studiati sarà maggiore di quella dei distrattori, in quanto sono

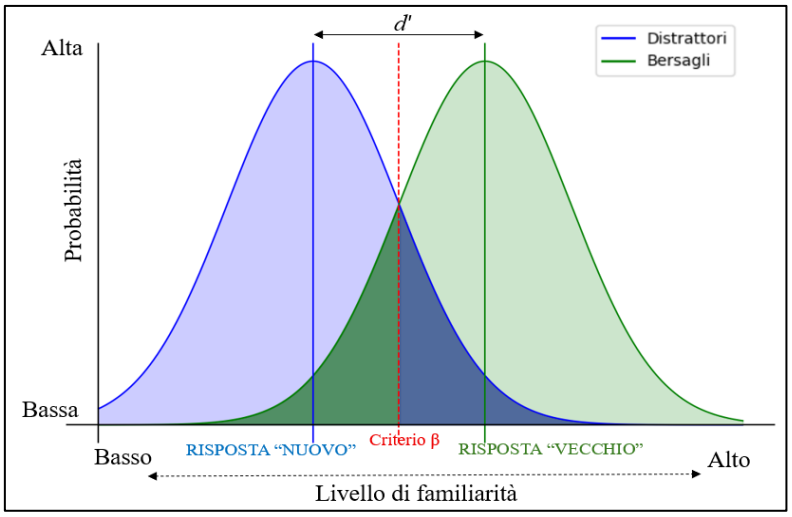

Fig. 1.3 Distribuzioni di familiarità di bersagli e distrattori secondo la teoria di detezione del segnale. L'area in blu scuro rappresenta i casi di falsi positivi; l'area in verde scuro i casi di falsi negativi. Invece, le aree verde chiaro e azzurro rappresentano rispettivamente i successi e i rifiuti corretti.

Fonte: adattato da Anderson (2021)

item studiati; tuttavia, se le distribuzioni dei valori di forza degli item bersagli e distrattori sono troppo vicine tra loro, si possono spiegare i falsi positivi o negativi precedentemente descritti. Infatti, come si evince dalla figura, le distribuzioni possono sovrapporsi, magari perché uno stimolo target è stato codificato male o uno stimolo distrattore è stato frequentemente incontrato al di fuori dell'esperimento.

Il modello della detezione del segnale spiega come ogni individuo basa il proprio giudizio di riconoscimento di uno stimolo. Le persone pongono, infatti, un *livello critico* di familiarità su cui fondare la propria risposta: se uno stimolo supera tale livello, viene reputato già visto, quindi riconosciuto, mentre se non lo supera viene giudicato nuovo (Anderson, 2021). Naturalmente, come si evince dalla figura 1.4, il valore in cui viene collocato il criterio lungo il continuum di familiarità, chiamato valore β, influenza l'esito delle risposte e la possibilità di errori. Se, all'interno dell'intervallo di distanza d', esso

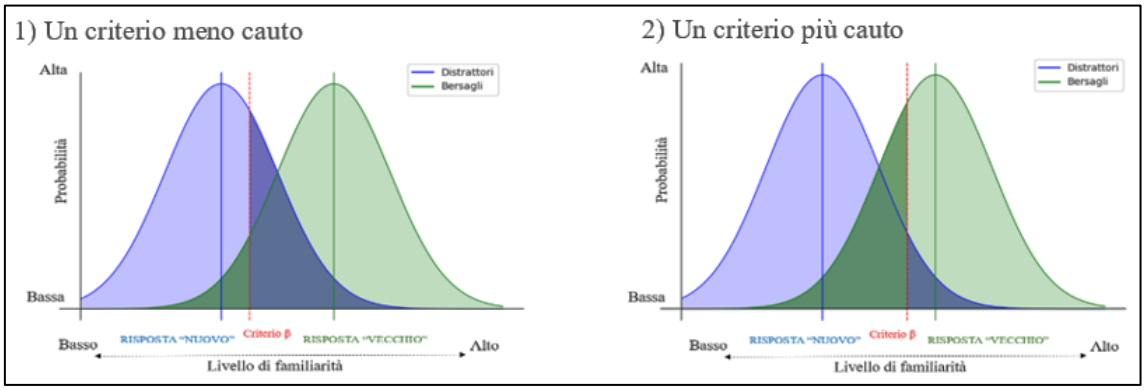

Fig. 1.4 In base allo spostamento del criterio β, gli errori seguono un andamento complementare: una strategia più temeraria (1) prevede un aumento dei falsi positivi ma una diminuzione dei falsi negativi; una strategia più cauta (2) prevede l'andamento opposto.

Fonte: adattato da Anderson (2021)

viene collocato verso sinistra, aumenta la percentuale di successi, diminuisce il rischio di falsi negativi ma aumenta quello di falsi positivi. Invece, se β è collocato verso l'estremità destra, diminuisce il rischio di falsi positivi, ma aumenta il rischio di falsi negativi. Si possono tradurre questi diversi pattern di esiti in termini di strategie di decisione, rispettivamente più rischiosa o cauta.

La teoria di detezione del segnale, quindi, sostiene che i ricordi si collochino in un continuum di forza di attivazione della traccia e che gli individui basino il giudizio di riconoscimento su un proprio valore interno di familiarità posto come una sorta di valore soglia. Questa teoria è utile per spiegare, ad esempio, perché il confronto all'americana nella testimonianza oculare può risultare fallace. Il testimone potrebbe essere tratto in errore dal fatto che ha già visto in precedenza uno dei distrattori oppure che la persona che identifica somigli al vero colpevole.

1.3.2 Teoria di riconoscimento a doppio processo

Un ulteriore ampliamento sulle teorie riguardo la memoria di riconoscimento è stato fornito dalle cosiddette *teorie del riconoscimento a doppio processo* (Aggleton & Brown, 1999; Atkinson & Juola, 1974; Jacoby & Dallas, 1981; Mandler, 1980; Yonelinas, 1999). Come riassunto da Anderson (2021), questo tipo di teorizzazioni distinguono due tipi di processi che intervengono nella produzione di un giudizio di riconoscimento. Vi può essere il *riconoscimento basato sulla familiarità*, per cui, come descritto dalla teoria di detezione del segnale, il giudizio si basa su quanto uno stimolo appare familiare; oppure si può basare sulla rievocazione episodica di quando lo stimolo è stato incontrato per la prima volta, e in questo caso si parla di *recollection*. Se il primo processo è rapido e automatico, ma aspecifico, il secondo è più lento e gravoso per l'attenzione, perché si tratta di un recupero consapevole di informazioni contestuali specifiche. Secondo le teorie del riconoscimento a doppio processo, entrambi questi meccanismi possono contribuire alla produzione di un giudizio di riconoscimento. Tipicamente, per distinguere la componente di riconoscimento da quella di recollection, si ricorre all'ormai classica procedura di *source monitoring* "ricordo"/"so" (Tulving, 1985), in cui al soggetto si chiede se riconosce un determinato evento perché ne "ricorda" i dettagli, oppure perché "sa" che è avvenuto, dunque avverte un senso di familiarità. Andrew Yonelinas (2002) ha raccolto in una review i risultati di studi che impiegano metodologie di questo tipo per distinguere i due processi, ed è giunto ad alcune conclusioni che avvalorano la distinzione

tra i due meccanismi nel giudizio di riconoscimento. Innanzitutto, la recollection è molto sensibile alla distrazione, e se durante la codifica di un'esperienza l'attenzione del soggetto è divisa, sarà molto più difficile rievocare quella stessa esperienza; al contrario la familiarità di essa non viene intaccata. Inoltre, individui anziani o con lesioni alle regioni prefrontali che presentano problemi attentivi, nei test presentano evidenti difficoltà di recollection, mentre la sensazione spontanea di familiarità con uno stimolo non è alterata. Infine, la distinzione tra recollection e riconoscimento è avvallata anche dagli studi di neuroimaging.

Se, come si può immaginare in base alle premesse a inizio capitolo, la recollection, essendo un processo di rievocazione episodica, è associata all'attivazione dell'ippocampo, soprattutto posteriore (Moscovitch et al., 2016), il senso di familiarità è invece correlato ad attività nella zona della corteccia peririnale, adiacente all'area ippocampale. Maggiore è il senso di familiarità esperito, maggiore è l'attivazione di suddetta area (Montaldi et al., 2006). Riprendendo l'esempio proposto all'inizio del paragrafo, il fatto di riconoscere una persona incontrata per strada senza riuscire a ricordarne il nome o il contesto in cui la si è vista in precedenza indica un deficit di recollection, legato a un mancato recupero da parte dell'ippocampo, mentre l'attivazione della corteccia peririnale ha permesso il semplice riconoscimento della persona.

In conclusione, la distinzione tra familiarità e recollection, supportata da differenti circuiti neurali, sottolinea la complessità del riconoscimento come atto mnestico. Comprendere le dinamiche del riconoscimento è cruciale non solo per delineare il funzionamento della memoria, ma anche per sviluppare strumenti valutativi affidabili, soprattutto nei contesti forensi, dove può avere implicazioni significative. Infatti, il riconoscimento di determinate scene, di volti, di voci, può essere centrale in un processo, nonostante, come si è visto, possa comunque essere soggetto ad errori. Ecco quindi che gli studi sulla memoria del testimone si concentrano in particolare sulla memoria autobiografica incidentale, cioè sui meccanismi di familiarità precedentemente descritti. D'altronde, il riconoscimento sta alla base delle principali tecniche di memory detection più frequentemente impiegate per la rilevazione di ricordi in soggetti coinvolti in un procedimento giudiziario. Ma nello specifico, come funzionano queste tecniche e su quali principi si fondano?

1.4 Memory Detection e indici fisiologici

Un caso emblematico nella storia della psicologia forense quando si tratta di valutazione della memoria risale alla metà del secolo scorso, nel periodo post-bellico, quando Rudolf Hess, gerarca nazista ex vice di Hitler, fu imputato al processo di Norimberga (1945-1946) per crimini di guerra (Sartori G., 2021b). Dopo la sua cattura da parte delle forze alleate, Hess dichiarò di non ricordare nulla del proprio coinvolgimento nel regime nazista a causa di una forma di amnesia retrograda globale riferita rispetto all'intero periodo del Terzo Reich. Vista la rilevanza politica e penale del suo ruolo, fu sottoposto a un'approfondita valutazione clinica da parte di una dozzina di esperti internazionali tra medici legali, psichiatri e psicologi. Inizialmente, questo collegio peritale di specialisti considerò la possibilità di un'autentica amnesia di origine psicogena, nonostante la rarità di questo genere. Tuttavia, nel corso del processo, Hess stesso ammise spontaneamente di aver simulato deliberatamente l'amnesia allo scopo di evitare il giudizio e di ostacolare le indagini. Questo caso si può considerare emblematico della problematicità che il colloquio clinico rappresenta se viene usato come unico strumento per rilevare l'amnesia o, in generale, l'assenza di un ricordo, nel contesto forense. All'epoca del processo di Norimberga, ciò era un grande limite in ambito processuale; tuttavia, nei decessi successivi sono emersi nuovi approcci di indagine, e nuovi strumenti possono essere impiegati in casi come quello di Hess.

In ambito forense, come è stato messo in luce, è spesso necessario comprendere se determinate tracce mnestiche siano effettivamente presenti nella memoria di un testimone o di un indagato: è questo l'ambito della *memory detection*. La memory detection comprende una serie di tecniche e strumenti utili a valutare, attraverso misure indirette, se un soggetto ricorda, o, meglio, *riconosce*, a prescindere dalle sue dichiarazioni (Sartori G., 2021b). Nel contesto giuridico, esiste la possibilità che un esaminando dichiari di non ricordare l'evento che viene richiesto di riportare o di non riconoscere un'immagine presentata (es., luogo, volto) al fine di evitare conseguenze legali sfavorevoli, proprio come avvenuto nel caso di Rudolf Hess. In tale contesto possono trovare terreno fertile le tecniche di memory detection basate sull'analisi di indici *covert* di riconoscimento, che sono in grado di fornire un indizio della presenza di un certo ricordo nella memoria del soggetto in maniera implicita. Metodologicamente, queste tecniche non fanno altro che confrontare le risposte automatiche del soggetto, comportamentali o fisiologiche, quando

è esposto a stimoli salienti relati all'evento oggetto di indagine, rispetto a quando è esposto a stimoli simili ma non considerati critici. L'assunto alla base è che, se l'informazione presentata è genuinamente estranea al soggetto, non vi saranno differenze tra le risposte rilevate nelle due condizioni; se, al contrario, il ricordo è presente nella memoria, tale differenza sarà significativa.

1.4.1 Il Concelead Information Test

Un esempio classico di tecnica di memory detection ormai consolidata nella pratica forense è il *Concealed Information Test*, ideato da D. T. Lykken (1959) con il nome originale di *Guilty Knowledge Test*. Si tratta di una tecnica psicofisiologica che si basa sul presupposto per cui, se il soggetto esaminato riconosce un'informazione rilevante di cui è a conoscenza, si produrrà una risposta fisiologica automatica, rilevabile attraverso la registrazione di indici quali battito cardiaco, conduttanza cutanea, frequenza respiratoria, pupillometria. Il test prevede una serie di domande a scelta multipla che includono, fra le opzioni di risposta, l'informazione target, di cui solo il colpevole può essere a conoscenza, e altre informazioni neutre simili, tali per cui individui "innocenti" non sono in grado di distinguerle qualitativamente dallo stimolo target. Se il soggetto testato è realmente a conoscenza dell'informazione critica, ciò sarà evidenziato dal fatto che verrà registrata una risposta fisiologica significativamente diversa dalla baseline presente durante l'esposizione agli stimoli neutri. Fornendo un esempio pratico, ad un soggetto sospettato di aver preso parte ad una rapina gli si chiede "Di che colore era la borsa rubata?"; vengono fornite le seguenti opzioni di risposta:

a) Rossa
b) Bianca
c) Blu *(stimolo target)*
d) Nera

Se il sospettato presenta una risposta fisiologica marcata alla presentazione dello stimolo "Blu", significa che ha riconosciuto l'informazione critica e perciò è coinvolto nella rapina.

La risposta fisiologica registrata nel CIT è stata associata ad una risposta di orientamento (*orienting response, OR*; Ben-Shakar, 2012), ossia la reazione fisiologica dell'organismo legata all'esposizione a stimoli significativi utile ad allocare risorse percettive, attentive e cognitive per favorire l'elaborazione dello stimolo stesso (Sokolov,

1963). Il pattern di attivazione autonoma osservato durante il CIT, ossia decelerazione cardiaca, aumento della conduttanza cutanea, soppressione respiratoria, dilatazione pupillare, è analogo proprio alla risposta di orientamento. Tuttavia, non tutti i dati fisiologici registrati sono esplicabili tramite l'OR, ad esempio la decelerazione cardiaca prolungata. Per questo motivo, in alternativa alla risposta di orientamento, secondo alcuni autori gli indici menzionati sono associati ad una risposta di inibizione (Ben-Shakar, 2012).

Il CIT è uno strumento che ha dimostrato una buona validità e un'elevata accuratezza, tanto che è abitualmente impiegato dalle forze dell'ordine giapponesi. In particolare, il CIT è una tecnica efficace se si ha la certezza che solo il vero colpevole è a conoscenza dell'informazione critica e se effettivamente il soggetto ha un'elevata motivazione a mentire (Ben-Shakar, 2012). Attualmente il CIT può essere considerato un gold standard che dimostra come le misure fisiologiche possano essere utili nella pratica della memory detection come indice implicito di riconoscimento.

Nel corso dei decenni successivi al suo sviluppo, il CIT ha rappresentato un modello di riferimento per l'elaborazione di nuove tecniche di memory detection di tipo psicofisiologico. Sebbene inizialmente basato su indici autonomici periferici, come la frequenza cardiaca o la conduttanza cutanea, negli ultimi anni si è assistito a un crescente interesse per l'impiego di tecniche di neuroimaging, come la fMRI, in grado di rilevare correlati neurali del riconoscimento mnestico. Ad esempio, in un recente studio di Bogler e coll. (2024), è stata impiegata proprio la risonanza magnetica funzionale per analizzare quali aree del cervello fossero attive in un compito di riconoscimento di luoghi. Attraverso una procedura sperimentale simile a quella impiegata per lo studio che verrà in seguito descritto, è stato chiesto a ciascun partecipante all'esperimento di visitare quattro stanze dell'università di Berlino; per rendere la procedura quanto più ecologica possibile e favorire lo sviluppo di un ricordo di tipo autobiografico, i soggetti dovevano cercare degli oggetti mentre si trovavano nelle stanze, in modo da incoraggiare attivamente l'esplorazione del luogo. Successivamente, nella seconda fase dell'esperimento, condotta in laboratorio, i partecipanti sono stati sottoposti a scansione fMRI mentre osservavano passivamente immagini relative a otto stanze, quattro delle quali erano state visitate il giorno precedente e quattro mai viste prima. Dai risultati emersi dalle scansioni, è stato evidenziato che le aree cerebrali maggiormente attivate durante la visione di stanze mai

viste erano i giri frontali sinistri, l'area supplementare motoria e il putamen destro; invece, per le stanze riconosciute l'attivazione era concentrata nel precuneo bilaterale, corteccia paraippocampale e corteccia parietale (fig. 1.5). In particolare, il precuneo sembrava essere l'area che tra tutte era la più utile a discriminare le due condizioni. Gli autori interpretano tali risultati come coerenti con studi precedenti che correlano tale area con la memoria episodica e il riconoscimento, specificatamente per scene spaziali (per una review, Cavanna & Trimble, 2006). In particolare, l'attività nel precuneo sembra riflettere il match tra percezioni visive contingenti e una rappresentazione mnestica autobiografica pregressa, con un ipotetico ruolo anche nel consolidamento del ricordo a lungo termine, attraverso la formazione di engrammi mnestici. Quindi, poiché questa area della corteccia parietale sembra entrare in gioco nella memoria autobiografica visuospaziale, la sua attività può essere misurata e impiegata efficacemente come indice covert di riconoscimento di scene in ambito forense.

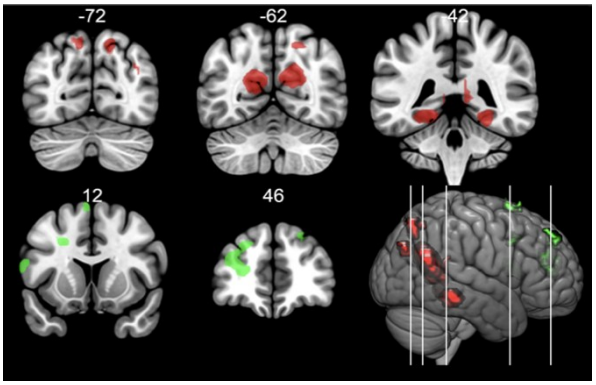

Fig. 1.5 Le aree attivate evidenziate dalle scansioni fMRI. In rosso, le aree maggiormente attivate osservando luoghi visitati; in verde le aree maggiormente attivate osservando luoghi mai visti.

Fonte: Bogler & coll. (2024)

In quest'ottica, anche l'impiego di tecniche di neuroimaging come la fMRI si configura, in senso lato, come una naturale estensione del modello concettuale del CIT e dunque come un'ottima misura di memory detection, confermando così la costante evoluzione di questo ambito di ricerca. La letteratura, infatti, continua a esplorare diversi indici fisiologici da utilizzare come misure implicite di riconoscimento, e la ricerca che verrà in seguito trattata si colloca pienamente all'interno di questo filone di indagine.

Sommario

In conclusione, il presente capitolo si è posto l'obiettivo di analizzare il costrutto della memoria e le implicazioni di questa facoltà in ambito forense. Si è visto che la memoria non è un concetto unitario, ma è costituita da sottocomponenti distinte non solo sul piano funzionale, ma anche neuroanatomico. In particolare, la memoria

autobiografica, che è la principale componente mnestica a cui si fa riferimento nel contesto forense, racchiude in sé aspetti della memoria episodica e semantica, ma al contempo si distingue nettamente da esse. La memoria autobiografica si intreccia strettamente con le funzioni esecutive, e il cosiddetto "sé di lavoro" media l'accesso ai ricordi in relazione a scopi e motivazioni contingenti. Se da una parte questo permette la costituzione di un senso identitario, il perseguimento di obiettivi e la flessibilità, dall'altro può portare a imprecisioni e distorsioni nella rievocazione esplicita di ricordi, il che può risultare una complicazione in ambito processuale.

In seguito, si è proceduto a distinguere due aspetti della memoria autobiografica: riconoscimento e rievocazione. Più precisamente, sarebbe opportuno parlare di familiarità e recollection: la prima è un processo automatico che consente di riconoscere uno stimolo precedentemente incontrato senza richiamo intenzionale; la seconda è un processo più dispendioso sul piano cognitivo, che permette di recuperare i dettagli contestuali relativi alla prima esperienza con lo stimolo. Nella pratica forense, poiché il rischio di menzogna è elevato, viene sfruttato proprio il meccanismo mnestico di riconoscimento automatico per rilevare la presenza di un ricordo nella mente di un soggetto: è questo l'ambito della memory detection. In particolare, vengono impiegati indici covert impliciti di riconoscimento, di natura fisiologica o comportamentale e, negli ultimi anni, sono stati studiati sistemi di memory detection che sfruttano persino il neuroimaging.

Alla luce di queste premesse teoriche, e in continuità con l'obiettivo di individuare tracce mnestiche senza la necessità di risposte esplicite, il capitolo successivo approfondirà le caratteristiche di un ulteriore potenziale indice fisiologico rilevante per la memory detection: i movimenti oculari.

CAPITOLO 2

I MOVIMENTI OCULARI

2.1 Eye movements: caratteristiche e funzioni

Da sempre, quasi in ogni cultura, si sente ripetere che "gli occhi sono lo specchio dell'anima". Questa espressione, intrisa di significato simbolico, non è rimasta confinata al solo sapere popolare: nel corso dell'ultimo secolo, la ricerca scientifica ha iniziato a esplorare come i movimenti oculari possano effettivamente rappresentare una finestra privilegiata sui processi mentali che avvengono nel cervello. Lo studio in quest'ambito ha assistito ad un rapido avanzamento negli ultimi 50 anni e ad oggi le informazioni fornite dai movimenti oculari vengono impiegate in vari settori, dalla biologia alla medicina, dall'economia alla psicologia (Schütz, Braun & Gegenfurtner, 2011). Alla luce di questo vasto impiego, è dunque opportuno chiedersi: quali sono le caratteristiche peculiari dei movimenti oculari che li rendono così utili in campi molto diversi fra loro?

2.1.1 Fisiologia dei movimenti oculari

Innanzitutto, si tenga che presente che gli occhi si muovono molto più frequentemente di quanto si possa immaginare o percepire: in media, si spostano dalle tre alle quattro volte al secondo, il che significa che i momenti di completa fissità durano solo 150-250 ms (Greenlee & Kimmig, 2019). La ragione di questo movimento quasi incessante risiede nella conformazione della retina. Infatti, la retina presenta una regione centrale chiamata fovea, di circa mezzo millimetro di diametro, che rappresenta l'area di maggiore acuità visiva, grazie alla peculiare distribuzione di fotorecettori al suo interno (Puoget, 2019). In questa zona la concentrazione di coni è maggiore: queste cellule rispondono in modo differenziato alle varie lunghezze d'onda della luce, consentendo una visione più nitida e ricca di dettagli. I bastoncelli, invece, sono meno numerosi nella fovea e si concentrano soprattutto nella periferia della retina, dove garantiscono una maggiore sensibilità alla luce, sebbene in modo non selettivo rispetto ai colori. È chiaro quindi che i movimenti oculari, e in parte anche quelli del capo, hanno la funzione di dirigere la luce verso la fovea, in modo da recepire un'immagine dell'ambiente quanto più nitida possibile, migliorando la percezione e, di conseguenza, l'elaborazione cognitiva del mondo circostante.

Al fine di garantire che l'immagine venga proiettata esattamente sulla fovea, gli occhi mettono in atto una serie di movimenti di diversa natura, di cui si ha solo parziale consapevolezza. In particolare, i movimenti oculari possono essere distinti in diverse categorie (Klein & Ettinger, 2019):

- *Saccadi*: sono movimenti oculari ampi e molto rapidi, che permettono l'esplorazione del campo visivo focalizzando l'attenzione sugli stimoli di interesse (Pierce, Clementz & McDowell, 2019). In media un individuo mette in atto migliaia di saccadi al giorno. Esse vengono definite come movimenti balistici, poiché la loro traiettoria è predeterminata e non correggibile durante l'esecuzione: una volta iniziato, il movimento procede automaticamente fino a raggiungere la posizione finale dello sguardo. Le saccadi possono essere sia volontarie, guidate dalla volontà del soggetto di rivolgere l'attenzione verso un particolare stimolo ambientale, oppure riflesse, guidate da un processo bottom-up di reindirizzamento dello sguardo su uno stimolo rilevante che cattura subitaneamente l'attenzione. È interessante notare che, nonostante la frequenza e la portata di questo tipo di movimenti oculari, il nostro cervello elabora comunque una rappresentazione dell'ambiente esterno che è coesa. Questo è possibile grazie al fenomeno della *soppressione saccadica*: un processo di riduzione della risposta dei neuroni visivi che inizia appena prima della saccade e termina appena dopo la sua fine, che ha lo scopo impedire la percezione dell'ambiente come mosso e instabile a causa dello spostamento degli occhi (Wurtz, 2008).
- *Fissazioni*: anche quando si pensa che lo sguardo sia fisso in un punto, in realtà non è così. Le fissazioni sono movimenti di piccola ampiezza, involontari e soprattutto inconsci che avvengono tra una saccade e l'altra per prevenire il fenomeno dell'adattamento percettivo, che porta all'offuscamento dell'immagine (Alexander & Martinez-Conde, 2019). Vengono distinte tre tipologie di fissazioni: *microsaccadi*, *drift* e *tremori oculomotori*. Le microsaccadi sono i movimenti di fissazione più ampi, e vengono messi in atto una o due volte al secondo. Sono essenzialmente della stessa natura delle saccadi precedentemente descritte, e condividono anche lo stesso substrato neuro-anatomico, ma risultano mediamente meno rapide e molto più ridotte in ampiezza: generalmente inferiori a un grado visivo, rispetto alle decine di gradi tipiche delle saccadi. I drift, invece, sono

movimenti lenti che avvengono tra saccadi o microsaccadi e hanno un'ampiezza ulteriormente inferiore a queste ultime. Sono movimenti costanti che possono verificarsi anche in modo indipendente nei due occhi e non necessariamente nella stessa direzione. Infine, i tremori sono i movimenti di fissazione ancora meno ampi, pari a 0,004 gradi visivi, e ad alta frequenza, che corrispondo a oscillazioni degli occhi che avvengono simultaneamente ai drift. Sono di difficile interpretazione, ma sembrano essere il prodotto della scarica dei motoneuroni (Eizenman, Hallett & Frecker, 1985) o del bilanciamento dei muscoli oculari antagonisti (Riggs & Ratliff, 1951).

- *Movimenti oculari lenti*: questo tipo di spostamenti hanno l'obiettivo di stabilizzare l'immagine sulla fovea quando l'osservatore o lo stimolo osservato sono in movimento (Lencer, Sprenger & Trillenberg, 2019). Rispetto alle saccadi, non sono movimenti balistici, ma richiedono un costante aggiustamento in termini di velocità e ampiezza attraverso meccanismi di feedback simultanei. I movimenti oculari lenti sono suddivisibili in tre tipologie: *movimenti di inseguimento lento* (SPEM), *nistagmo optocinetico* (OKN) e *riflesso vestibolo-oculare* (VOR). Gli SPEM sono movimenti lenti ad alta latenza che permettono di seguire con lo sguardo piccoli oggetti in movimento. Anche l'OKN è un movimento lento ad alta latenza, che in questo caso viene messo in atto in maniera riflessa nei casi in cui si stia osservando un pattern visivo di grandi dimensioni in moto, ad esempio quando si osserva il paesaggio dal finestrino di un treno. Infine, il VOR è più rapido dei precedenti e si tratta di un movimento riflesso automatico generato quando la testa dell'osservatore si sta muovendo, in modo da compensare gli spostamenti del capo per mantenere l'immagine fissa sulla retina.

I movimenti oculari fin qui descritti rappresentano le componenti di un complesso meccanismo regolatorio che fa sì che la luce che entra dalla pupilla ricada sulla fovea per garantire la migliore percezione ambientale possibile. Nella vita quotidiana, questo insieme diversificato di movimenti opera sinergicamente, ed è costantemente modulato anche da processi cognitivi, che ne regolano direzione e frequenza in funzione delle esigenze contingenti, non solo percettive (Foulsham, 2015). Infatti, come evidenziato già nei primi studi sul tema (Yarbus, 1967), il comportamento di esplorazione visiva è

caratterizzato da una serie di movimenti saccadici e fissazioni che sono fortemente influenzati da stati mentali e obiettivi cognitivi individuali (Lisi, 2017).

2.1.2 Lo sviluppo dell'eye-tracking

Come è stato possibile ottenere tali informazioni sul comportamento oculomotorio e associarle con gli stati mentali soggettivi, se la maggioranza dei movimenti oculari risultano impercettibili? La tecnologia alla base dell'eye-tracking, in continua evoluzione da decenni, permette di arricchire le conoscenze sul tema attraverso metodi agevoli e scarsamente intrusivi, adeguati alla costruzione di procedure sperimentali in ambito psicologico.

Uno dei principali studiosi dei movimenti oculari, se non il pioniere degli studi in quest'ambito, fu sicuramente lo psicologo russo Alfred L. Yarbus (1914 – 1986). Grazie ai suoi esperimenti, tra gli anni '50 e '60, egli fu il primo a descrivere come i movimenti oculari non fossero casuali, ma, guidati dall'attenzione visuo-spaziale, seguissero gli obiettivi cognitivi dell'osservatore (Lisi, 2017). Per giungere a tali conclusioni, Yarbus impiegava una macchina che può essere considerata l'antesignana del moderno eye-tracker (Yarbus, 1967). Tale macchina prevedeva il fissaggio di minuscole ventose sulla superficie dell'occhio, le quali permettevano la rilevazione precisa dei movimenti oculari, a discapito però della praticità, a causa dell'invasività della procedura.

Ad oggi, i principali sistemi di misurazione dei movimenti oculari sono i cosiddetti *sistemi video-oculografici*, non invasivi e accurati al punto da rilevare anche i microscopici movimenti di fissazione (Lisi, 2017). Questa tecnica di eye-tracking si basa sulla registrazione dello sguardo tramite una telecamera, solitamente associata a una sorgente luminosa a infrarossi che consente di rilevare nel tempo la posizione degli occhi (fig. 2.1). La luce infrarossa, infatti, viene in parte riflessa dalla cornea, generando un riflesso corneale detto *immagine primaria di Purkinje*, e in parte assorbita dalla pupilla: ciò produce un'immagine con una zona scura centrale corrispondente all'area pupillare. L'analisi di questa

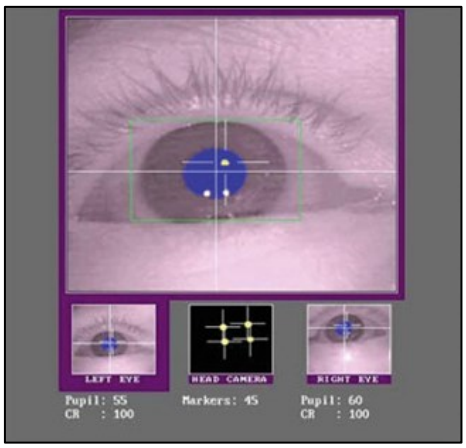

Fig. 2.1 Tracciamento dell'occhio e della pupilla in un sistema video-oculografico.

Fonte: Hutton (2019)

configurazione, che viene processata in tempo reale, permette di calcolare con alta precisione la direzione dello sguardo in ogni istante. Si tenga presente che i più recenti modelli di eye-tracker raggiungono frequenze di campionamento molto elevate, fino a 2000 Hz; ciò consente una registrazione dei movimenti oculari con elevatissima precisione temporale (Lisi, 2017).

I sistemi video-oculografici non rappresentano l'unica metodologia di indagine dei movimenti oculari attualmente disponibile; tuttavia, risultano essere quelli più frequentemente applicati nella ricerca psicologica. Infatti, possono essere impiegati non solo in un setting di laboratorio, ma anche in sistemi *wearable*, che offrono il vantaggio di studiare il comportamento oculomotorio durante compiti complessi o addirittura durante la vita quotidiana (Hutton, 2019).

2.1.3 Cognizione e movimenti oculari

Come è stato anticipato, da decenni gli studi di eye-tracking rivelano che i movimenti oculari assolvono a diverse funzioni che vanno ben oltre alla mera ricezione di segnali luminosi. È stato addirittura messo in luce dalla letteratura che le caratteristiche oculomotorie sono idiosincratiche e appaiono solo in parte associate alle proprietà dello stimolo bersaglio, mentre sembrano dipendere in misura più consistente da variabili individuali quali stili cognitivi, personalità e predisposizioni genetiche (Zangrossi et al., 2021). Per questo, negli ultimi anni, anche grazie allo sviluppo tecnologico delle tecniche di eye-tracking, si è assistito a un progressivo aumento di ricerche che studiano i movimenti oculari in maniera ecologica, durante attività quotidiane, piuttosto che attraverso compiti di laboratorio che rischiano di limitare la comprensione del ruolo che svolgono in contesti naturali.

Nella loro review, Schütz, Braun e Gegenfurtner (2011) esaminano in maniera sistematica i principali contributi scientifici sul comportamento oculare volontario, evidenziando come i movimenti oculari assolvano a funzioni complesse di diversa natura. Innanzitutto, emerge che in contesti ecologici, meccanismi top-down di controllo oculare prevalgono su meccanismi bottom-up. In particolare, viene ridimensionato il ruolo che la salienza gioca nell'influenzare la direzionalità dello sguardo. Secondo il cosiddetto modello della *saliency map*, introdotto da Koch & Ullman (1985) e successivamente sviluppato nel dettaglio da Itti & Koch (2000), quando si osserva una scena, il cervello analizza parallelamente diverse caratteristiche visive elementari, quali luminosità,

movimento, colore, orientamento delle linee; ciascuna di tali caratteristiche acquista tanta più salienza quanto più è in contrasto con il contesto. Quando tutte le caratteristiche sono combinate in insieme, in un'unica saliency map cerebrale, il punto della scena osservata che presenta il maggiore valore di salienza, derivante da ciascuna caratteristiche, catturerà lo sguardo e dunque l'attenzione. Questo modello, come puntualizzano Schütz, Braun e Gegenfurtner (2011) ha una predittività limitata al di fuori dei test di laboratorio, e perciò un processo bottom-up di questo tipo impiegato per spiegare i movimenti saccadici risulta semplicistico.

Ecco, quindi, che ad oggi, prevale l'idea di una *priority map*, nella quale vi è integrazione di informazioni bottom-up, come la salienza, e informazioni top-down, legate a fattori cognitivi e motivazionali (cfr. Ipata et al., 2009). Grazie alla priority map, il soggetto stabilisce attivamente a quale area visiva dare attenzione, non solo in base a caratteristiche fisiche, ma anche ad aspetti quali piani d'azione, intenzioni, valore attribuito ad un oggetto. Se nel modello della saliency map viene data rilevanza solo agli elementi fisici delle scene osservate, nel modello del priority map si prende in considerazione anche la funzione e il valore soggettivo che hanno gli stimoli osservati, in ragione degli obiettivi contingenti della persona. Ad esempio, è stato dimostrato che, se un individuo è impegnato in un compito come può essere prepararsi un panino, le sue saccadi e fissazioni saranno concentrate sugli oggetti che gli occorrono in quel momento, come il pane, la marmellata, il coltello, mentre oggetti irrilevanti non saranno considerati, anche se la loro salienza percettiva è elevata (Hayhoe & Ballard, 2005; fig. 2.2). È

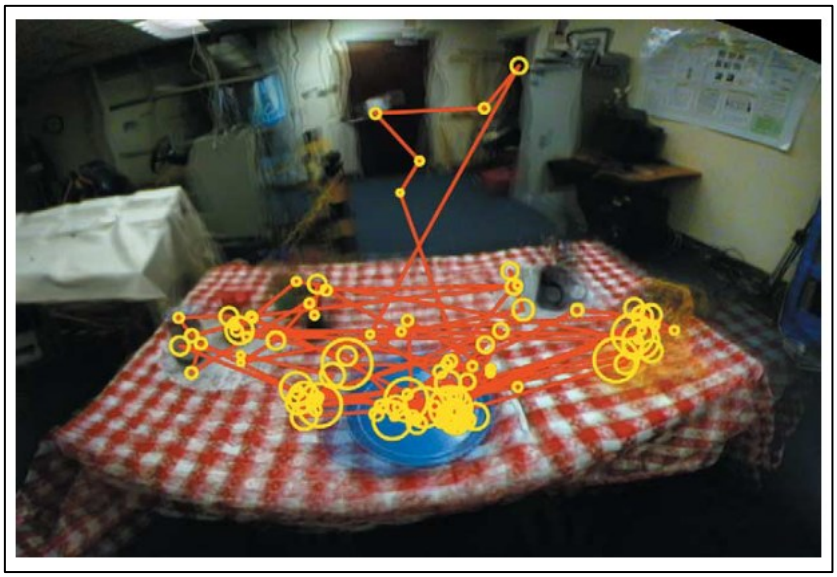

Fig. 2.2 Movimenti oculari rilevati attraverso uno strumento portatile sulla testa del partecipante mentre si prepara un panino: in giallo sono indicate le fissazioni, in rosso le saccadi. Quasi la totalità delle fissazioni è concentrata su oggetti rilevanti per il compito.

Fonte: Hayhoe & Ballard (2005)

evidente che, mentre la saliency map interpreta i movimenti oculari come lo spostamento dello sguardo verso le aree di maggior contrasto visivo, la priority map sottolinea che tali movimenti sono il risultato della valutazione di dove sia più funzionale dirigere lo sguardo in un determinato momento.

Tuttavia, rispetto a questa distinzione, Pedziwiatr e colleghi (2021) hanno valutato la validità delle *meaning maps* (MMs), strumenti ideati per rappresentare la distribuzione del significato in un'immagine e sostenere l'ipotesi che sia proprio il significato a dirigere l'attenzione visiva. I risultati mostrano che le MMs non superano i modelli di salienza basati su reti neurali profonde (DeepGaze II) nella predizione delle fissazioni; inoltre, né le MMs né i DeepGaze II si sono dimostrati sensibili a manipolazioni semantiche delle scene, come ad esempio, la presenza di un oggetto incongruente rispetto al contesto. Gli autori concludono che le MMs non catturano realmente il significato, ma piuttosto proprietà visive di alto livello che spesso vi si correlano. Queste evidenze suggeriscono come la relazione tra caratteristiche visive e significato sia ancora poco chiara, sottolineando la necessità di approcci teorici e metodologici più precisi.

In generale, si può comunque affermare che i movimenti oculari sono un indice fisiologico privilegiato perché sono governati da meccanismi al confine tra cognizione e comportamento: permettono di orientare l'attenzione nell'ambiente in base a obiettivi interni e a preparare così l'organismo all'azione. Come riportato da Lisi (2017), l'orientamento dell'attenzione spaziale condivide uno stretto legame con i movimenti saccadici. Innanzitutto, è stato dimostrato che una saccade orientata verso uno stimolo bersaglio è immediatamente preceduta dall'orientamento dell'attenzione implicita verso tale stimolo, ancora quando l'occhio si trova nel punto di fissazione iniziale. L'orientamento attentivo migliora l'esecuzione dello spostamento saccadico, riducendone il tempo di latenza. Inoltre, il legame tra attenzione e movimenti oculari è avvallato anche a livello neuroanatomico, poiché è stato dimostrato che vengono attivati circuiti neurali comuni. Secondo la *teoria premotoria dell'attenzione*, elaborata per la prima volta da Rizzolati e coll. (1987), orientare l'attenzione verso un determinato stimolo ambientale equivale a preparare il programma motorio per eseguire una saccade che sposta lo sguardo su quello stimolo. Infatti, le evidenze di neuroimaging hanno dimostrato che l'attenzione implicita e i movimenti oculari volontari condividono un circuito fronto-temporo-parietale comune (Corbetta et al., 1998). Ad esempio, a livello frontale, due aree

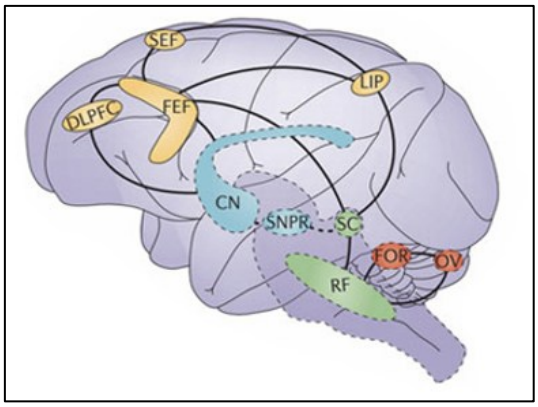

Fig 2.3 Aree implicate nella generazione di una saccade. In arancione, le zone implicate nel controllo volontario: FEF, SEF, LIP e DLPFC. In blu i gangli della base: il nucleo caudato (CN) e la pars reticulata della substantia nigra (SNPR). In verde il collicolo superiore (SC) e la formazione reticolare (RF), parte del tronco encefalico. Infine, in rosso, le zone del cervelletto implicate nell'accuratezza del movimento: il verme oculomotore (OV) e la regione oculomotoria del nucleo del fastigio (FOR).

Fonte: Alexander & Martinez-Conde (2019)

localizzate nel lobo frontale, i *frontal eye fields* (FEF) e i *supplementary eye fields* (SEF), non solo generano i movimenti oculari volontari, ma sono anche modulate dall'attenzione e dalle funzioni esecutive (fig. 2.3). Analogamente, nella corteccia parietale, la *lateral intraparietal area* (LIP) è cruciale per integrare segnali bottom-up (legati alla salienza dello stimolo) e top-down (obiettivi, valore, aspettative), formando la priority map descritta precedentemente di Ipata e coll. (2009). Infine, è stato dimostrato che i processi cognitivi attentivi modulano anche i movimenti involontari come le microsaccadi, influenzandone direzione e frequenza (Alexander & Martinez-Conde, 2019).

In definitiva, i movimenti oculari non rappresentano un semplice output motorio deputato alla ricezione di stimoli visivi, ma riflettono l'interazione costante tra percezione, processi cognitivi e ambiente circostante. Proprio questa loro natura ibrida ha fatto sì che, negli ultimi decenni, essi venissero riconosciuti come uno strumento privilegiato per lo studio indiretto del funzionamento cerebrale. Tra le diverse funzioni cognitive esplorabili attraverso l'analisi oculomotoria, un ruolo di particolare rilievo è rivestito dalla memoria: i movimenti oculari, infatti, non si limitano a guidare l'attenzione nel presente, ma, come vedremo, possono fornire preziose indicazioni sui processi di codifica, mantenimento e recupero delle informazioni.

2.2 Eye movements e memoria

Finora, l'analisi dei movimenti oculari è stata descritta principalmente rispetto a *dove* viene posato lo sguardo mentre si osserva una scena. Tuttavia, un aspetto altrettanto importante riguarda il *quando*, ossia la successione temporale di saccadi e la durata delle fissazioni che vengono messe in atto, i quali sono aspetti non casuali anch'essi influenzati da processi cognitivi. In particolare, l'analisi spaziotemporale dei movimenti oculari

risulta importante se si vogliono cogliere le informazioni che saccadi e fissazioni possono rivelare sui processi mnestici.

2.2.1 Legami con la memoria semantica

Innanzitutto, una certa mole di studi si è concentrata sulla relazione tra movimenti oculari e memoria semantica. La memoria semantica, come si è discusso nel precedente capitolo, riguarda le conoscenze astratte sul mondo che vengono acquisite tramite l'esperienza; tali conoscenze guidano il comportamento per ottimizzare l'interazione con l'ambiente. Ecco, quindi, che la memoria semantica è strettamente in relazione con il modo in cui viene diretta l'attenzione sul mondo esterno, dunque anche attraverso i movimenti oculari.

Si è riscontrato che in compiti di ricerca visiva, l'aspettativa semantica che si acquisisce rispetto ad una certa scena influenza il modo in cui si direziona lo sguardo: ad esempio, se ci si aspetta di trovare uno stimolo target vicino ad un determinato oggetto, il sistema visivo seguirà questo schema e guiderà più efficacemente lo sguardo (Brockmole & Le-Hoa Võ, 2010). Tale risultato è in linea con quanto precedentemente affermato riguardo le priority map: le conoscenze soggettive permettono di dare valore agli oggetti e di guidare l'attenzione. D'altronde è stato anche riscontrato che stimoli che non rispecchiano contestualmente una scena osservata nella sua totalità, richiamano lo sguardo e conducono a fissazioni di più lunga durata, poiché l'attenzione sarà richiamata sullo stimolo che non trova corrispondenza nella memoria semantica, per favorire l'elaborazione cognitiva e attribuire significato alla scena (Loftus & Mackworth, 1978).

Un altro studio ha rivelato che, nell'analisi oculare di un'immagine conosciuta, memoria semantica e memoria episodica operano sinergicamente per orientare gli occhi durante compiti di ricerca visiva (Ramey, Henderson & Yonelinas, 2025). In particolare, la conoscenza semantica influenza i movimenti oculari precoci e tardivi di analisi complessiva dell'immagine, mentre la memoria episodica migliora la precisione delle prime saccadi verso l'obiettivo.

2.2.2 Legami con la memoria episodica

Riguardo la memoria episodica, in un esperimento ormai classico della ricerca su questo tema, Noton & Stark (1971) hanno misurato i movimenti oculari di alcuni partecipanti impegnati in un compito di visione di immagini contenenti pattern astratti. Dall'analisi oculomotoria è emerso che ogni soggetto metteva ripetutamente in atto con

lo sguardo una sorta di percorso ricorrente per analizzare l'immagine; un insieme di saccadi e fissazioni reiterate, peculiare per quel soggetto e per quello specifico pattern. A tale "percorso" effettuato con lo sguardo, intermittente ma regolare, gli autori diedero il nome di *scanpath*. Venne sviluppata quindi la cosiddetta "*teoria dello scanpath*" (*Scanpath Theory*; Noton & Stark, 1971), secondo la quale, durante la formazione di nuove tracce mnestiche visuospaziali, l'osservatore non codifica solo le caratteristiche fisiche e sensoriali dell'immagine osservata, ma anche l'output oculomotorio impiegato per esplorarla. La traccia di memoria che ne deriva risulta essere una rappresentazione sensorimotoria, la quale è riattivata ogni volta che l'immagine viene nuovamente incontrata. In tal modo, attraverso la ripetizione dello stesso *scanpath*, vengono rivisitati i medesimi punti dello stimolo e le informazioni sensoriali vengono confrontate con quelle immagazzinate, favorendo il riconoscimento. D'altronde, come osservato già da Parker (1978) quando l'osservatore guarda immagini già viste ma modificate in alcuni dettagli, tende a concentrare fissazioni più frequenti e prolungate sulle aree alterate, eseguendo un maggior numero di saccadi in entrata e in uscita da tale zona; ciò lascia intendere che la rappresentazione mnemonica della visione iniziale sia non solo richiamata, ma anche sottoposta a confronto con la successiva esposizione.

Ad oggi, benché sia stato dimostrato che effettivamente anche osservando scene complesse vi sia una sovrapposizione, sebbene parziale (fig. 2.4), degli scanpaths tra codifica e recupero, la versione forte della teoria è stata in parte superata. Infatti, è stato dimostrato che non sono necessari i movimenti oculari per i processi di recupero e riconoscimento visivo (Foulsham, 2019). Tuttavia, sebbene gli scanpaths non siano funzionali ai processi mnestici, essi possono essere predittivi dell'accuratezza del ricordo episodico (Johansson et al., 2022). Si è visto che, quando ai soggetti è chiesto di recuperare dalla memoria un'immagine, anche se si trovano di fronte ad uno schermo

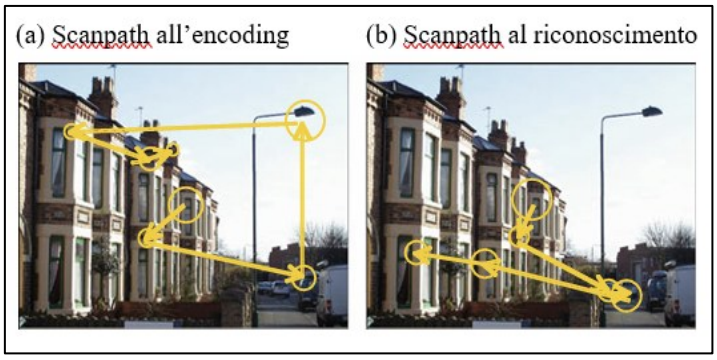

Fig. 2.4 Scanpaths di un soggetto durante l'encoding di un'immagine nuova (a) e poi al riconoscimento (b). Il diametro dei cerchi gialli è correlato alla durata della fissazione in quel punto. Come si evince gli scanpaths non sono esattamente sovrapponibili, ma simili.

Fonte: Foulsham (2019)

vuoto tendono a mettere in atto spontaneamente la stessa serie di movimenti impiegati nell'analisi iniziale dell'immagine. Gli autori sostengono quindi che il ricordo episodico riguardi non solo cosa si è visto, ma anche come lo si è guardato. Inoltre, alcune evidenze sostengono che l'inibizione attiva degli scanpaths durante il recupero porta a una capacità di imagery più povera dell'immagine vista precedentemente (cfr. Johansson et al., 2012). Infatti, sebbene i movimenti oculari durante il richiamo non riproducano quelli avvenuti durante l'encoding, il loro blocco compromette il richiamo, dimostrazione del fatto che svolgono una funzione attiva e facilitante nella memoria visuospaziale.

2.2.3 Movimenti oculari e riconoscimento: il repetition effect

Un altro fenomeno strettamente connesso alla memoria riguarda il cosiddetto *repetition effect*, ovvero un cambiamento nel comportamento di esplorazione visiva a seconda che l'immagine osservata sia già stata vista oppure costituisca uno stimolo nuovo (cfr. Smith, Hopkins & Squire, 2006). In particolare, questo fenomeno è caratterizzato da un minor numero di fissazioni, una copertura spaziale ridotta e tempi di fissazione più lunghi per stimoli già incontrati rispetto a immagini nuove.

Il repetition effect ha la potenzialità di essere una misura molto versatile, in quanto può essere impiegato come indice sia della memoria esplicita che di quella implicita, a seconda delle condizioni sperimentali. In uno studio di Smith e Squire (2008), è stata testata la memoria di riconoscimento di alcuni partecipanti sani, giovani e anziani, e altri amnesici posti di fronte a immagini di scene complesse, alcune delle quali già studiate in una fase precedente, al contrario di altre che invece risultavano nuove. L'obiettivo era indagare i movimenti oculari come indice implicito di memoria episodica. È emerso che i soggetti sani presentavano il repetition effect solo quando rispondevano correttamente ed erano sicuri del proprio giudizio di riconoscimento; l'effetto risultava invece assente se rispondevano erroneamente o se tiravano ad indovinare. Nei pazienti amnesici, invece, non vi era alcuna traccia di repetition effect, indipendentemente dal grado di sicurezza o di accuratezza della risposta. Gli autori conclusero che i movimenti oculari associati al riconoscimento riflettono la memoria dichiarativa e perciò sono legati alla consapevolezza del soggetto. In particolare, poiché i soggetti amnesici non presentavano repetition effect, si può affermare che i movimenti oculari misurati sono modulati dall'ippocampo, regione lesionata nei pazienti presenti all'esperimento.

Tuttavia, nell'esperimento descritto, i dati oculomotori sono stati ottenuti da partecipanti che sapevano sarebbero stati testati in una prova di riconoscimento. Questa è una variabile molto importante, in quanto le aspettative sul compito possono incidere sulle prestazioni all'esperimento. In un'ulteriore ricerca di Smith e Squire (2017), sono stati analizzati i movimenti oculari dei partecipanti, sani e amnesici sia nella condizione in cui non veniva chiesto loro nessun giudizio di riconoscimento, sia nella condizione in cui veniva effettivamente testata la loro memoria. I risultati furono chiari: quando i soggetti hanno consapevolezza del test, il repetition effect si manifesta come mostrato nello studio precedente; quando invece non vi è consapevolezza, i movimenti oculari rispondono alla memoria implicita del soggetto, manifestandosi inconsciamente. Infatti, in questo caso i pazienti amnesici, pur non riconoscendo consciamente le immagini già viste, manifestavano comunque repetition effect: questo significa che, a livello di pattern cerebrali, in questo caso il fenomeno è indipendente dall'ippocampo.

Si può concludere che i movimenti oculari possono rappresentare un doppio indice mnestico. Rappresentano un indice fisiologico di memoria implicita e automatica ippocampo-indipendente quando al soggetto non è richiesto di formulare un giudizio di riconoscimento consapevole. Invece, quando è necessario un richiamo esplicito al ricordo, il repetition effect si manifesta solo quando il soggetto riconosce correttamente la scena e ha alta fiducia di ciò: in questo caso i movimenti oculari risultano un indice ippocampo-dipendente della memoria dichiarativa. Ciò è in linea con quanto affermato nel capitolo precedente sulla differenza tra recollection e familiarità: la recollection è un processo di rievocazione episodica consapevole che coinvolge l'ippocampo, mentre la familiarità è un processo involontario e automatico legato all'attivazione della corteccia peririnale (Anderson, 2021; Montaldi et al., 2006; Moscovitch et al., 2016).

Studi successivi hanno dimostrato che il numero e la durata delle fissazioni sono preziosi non solo come indicatori fisiologici di familiarità e recollection al momento del recupero mnestico, ma anche come predittori di riconoscimento durante la fase di codifica, in quanto i movimenti oculari influenzano sia l'intensità che la natura del ricordo. Kafkas e Montaldi (2011) hanno riscontrato che fissazioni spazialmente più disperse durante l'osservazione di uno stimolo nuovo sono predittive di familiarità al recupero, mentre fissazioni più concentrate sono predittive di recollection (fig. 2.5A). La traccia mnestica, infatti, risulta più robusta se è concentrata su dettagli specifici che, in

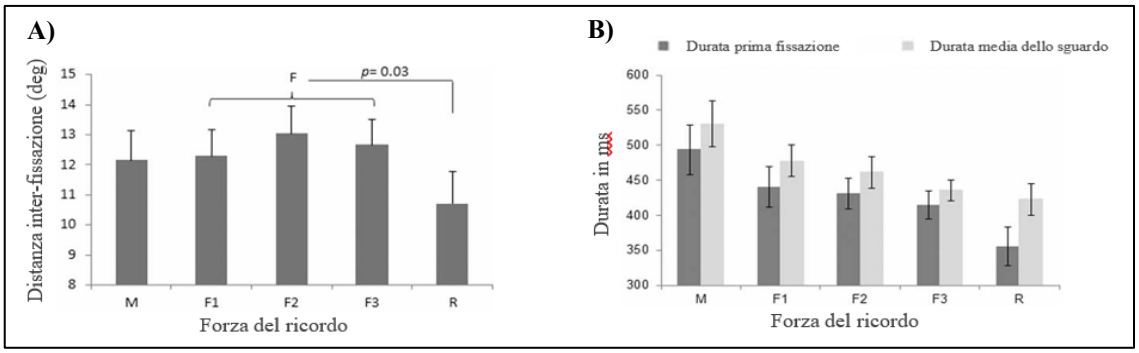

Fig. 2.5 Nel grafico a sinistra (A) si può osservare la distanza media tra fissazioni (in angoli visivi) durante la codifica di stimoli poi dimenticati (M), familiari (F1, F2, F3) e recuperati (R). A destra (B), vengono riportate la durata della prima fissazione e la durata media dello sguardo per gli stessi stimoli durante la codifica.

Fonte: Kafkas & Montaldi (2011)

seguito, possono fungere da cue contestuali. Invece, a livello temporale, si è riscontrato che fissazioni più brevi, e quindi più numerose, favoriscono l'accumulo di dettagli visivi e conducono a una traccia mnemonica più robusta; al contrario, fissazioni lunghe e poco numerose su meno zone dello stimolo si associano a un ricordo debole o a dimenticanza (fig. 2.5B). Questo dato è vero soprattutto in relazione alla durata della prima fissazione effettuata, che risulta la più predittiva.

In conclusione, l'analisi spaziotemporale dei movimenti oculari è una metodologia efficace per studiare i processi mnestici, dalla codifica al recupero, sia in maniera conscia che inconscia. Come sostenuto da Hannula e coll. (2010), questa peculiarità rende i movimenti oculari degli indici fisiologici adatti ad indagare la memoria anche in quelle popolazioni di soggetti la cui memoria esplicita non può essere direttamente testata, come ad esempio i neonati. Analogamente, questo lavoro di tesi si prefissa proprio l'obiettivo di utilizzare i movimenti oculari come un indice mnestico covert da impiegare in un ambito, quello forense, in cui il rischio di manipolazione è elevato. Dunque, come si intrecciano tra loro movimenti oculari e memory detection?

2.3 Eye tracking in ambito forense

I sistemi di eye-tracking, proprio per le caratteristiche precedentemente descritte, rappresentano una promettente tecnica da impiegare in ambito forense. Infatti, i test di conoscenza celata come il CIT, descritto nel primo capitolo, possono essere migliorati attraverso l'uso di strumenti meno invasivi come lo è il tracciamento dei movimenti

oculari. Ciò permette di impiegare tecniche di memory detection di questo tipo in un più ampio bacino di contesti in cui la rilevazione di informazioni nascoste è fondamentale (Millen, Hope & Hillstrom, 2020). Oltre alla possibilità di eseguire misurazioni più rapide e non invasive, l'eye-tracking presenta il vantaggio di essere spazialmente definito. Ciò significa che, mentre gli indici fisiologici autonomi o i potenziali evento-relati non forniscono informazioni spaziali, i movimenti oculari permettono di individuare il punto preciso osservato nella scena in ogni istante di tempo (Lancry-Dayan, Ben-Shakhar & Pertzov, 2023). Questa caratteristica permette un'analisi spaziotemporale accurata dell'attenzione visuospaziale sullo stimolo, il che rende possibile la creazione di task più complesse, che non prevedono solo la presentazione seriale di stimoli, come avviene nel classico CIT, ma anche simultanea.

Al di là degli aspetti pratici che agevolano l'utilizzo dell'eye-tracking, la letteratura sull'ambito ha indagato quali informazioni possono essere raccolte tramite i movimenti oculari quando il soggetto mente deliberatamente rispetto la sua conoscenza circa un determinato fatto. Millen, Hope & Hillstrom (2020) hanno riscontrato che, quando un soggetto osserva un volto familiare rispetto ad un volto nuovo, si riscontra il pattern di movimenti oculari tipico del repetition effect, caratterizzato da un minor numero di fissazioni e di aree visitate, seppur tempi di fissazione più lunghi; questo fenomeno risulta indipendente dall'onestà di quanto riportato esplicitamente dal partecipante, quindi al di là che menta o meno. Risultati simili, seppur meno robusti, sono stati ottenuti anche per l'osservazione di scene o oggetti già noti al soggetto: numero minore di fissazioni e tempi di osservazione dilatati, indipendentemente dal tentativo di manipolazione. Invece, per stimoli di qualsiasi genere che sono stati visti ed appresi appena prima della fase di test, non si è riscontrato nessun marcatore oculomotorio affidabile che distinguesse tra onestà e menzogna. Si può concludere che la forza della codifica risulta una variabile fondamentale: la familiarità reale e radicata nelle esperienze personali è cruciale per ottenere marcatori di riconoscimento stabili e affidabili, mentre la familiarità acquisita in laboratorio con esposizioni limitate è insufficiente a produrre segnali consistenti. In generale, si è riscontrato che il numero di fissazioni risulta il predittore più affidabile per stimoli familiari, sia per i volti che per le scene o oggetti, e risulta essere significativo già nei primi 750 ms di esposizione dello stimolo.

L'impiego dell'eye-tracking in ambito forense risulta promettente anche per la resistenza di alcuni dei principali marcatori oculomotori misurati rispetto a tentativi di manipolazione cosciente della misurazione. In particolare, Millen & Hancock (2019) hanno riscontrato che la durata delle fissazioni sembra essere l'indice più resistente ai tentativi di controllo volontario sui movimenti oculari da parte di un soggetto che tenta attivamente di falsare la rilevazione oculomotoria. Rispetto ai marcatori spaziali, vale a dire le aree visitate dallo sguardo, che sono gli indici più facilmente manipolati, la durata di fissazione media risulta un indice robusto anche in presenza di contromisure, con un effetto statistico significativo (d = 0.91). In particolare, la durata della prima fissazione risulta molto informativa, in quanto la sua dilatazione riflette sia un orienting attentivo involontario sullo stimolo familiare sia il processo cognitivo aggiuntivo impiegato per nascondere la conoscenza. Ciò rende relativamente difficile sopprimere questo indicatore anche con strategie oculari deliberate. Nonostante altre ricerche abbiano messo in luce che i movimenti oculari siano relativamente meno resistenti a contromisure fisiche o mentali di manipolazione rispetto ad altri indici autonomi solitamente impiegati (Peth, Suchotzki & Gamer, 2016), l'eye-tracking, integrato nella metodologia del CIT, risulta promettente per l'uso in ambito investigativo, anche se protocolli ottimali standardizzati devono ancora essere sviluppati.

L'eye-tracking, grazie allo sviluppo tecnico raggiunto negli ultimi decenni, rappresenta oggi un valido strumento da annoverare tra le varie tecniche di misurazione fisiologica impiegabili nella memory detection. I movimenti oculari sono un indice covert che, come si è visto, possono fornire un utile indicatore di riconoscimento di informazioni rilevanti indipendentemente dall'onestà esplicita del soggetto testato. Pur con alcune limitazioni e la necessità di ulteriori standardizzazioni, l'analisi dei movimenti oculari offre uno strumento prezioso per migliorare l'efficacia di test come il CIT, potendo favorire una valutazione più dettagliata e meno facilmente manipolabile di eventuali ricordi celati.

Sommario

Per concludere, il presente capitolo si è focalizzato sull'analisi dei movimenti oculari e sulle loro implicazioni nei processi mnestici, con particolare attenzione alle

prospettive di utilizzo in ambito forense. Innanzitutto, è stato chiarito che esistono svariati tipi di movimenti oculari, classificabili principalmente in saccadi, fissazioni e movimenti lenti. È stata quindi analizzata la natura di ciascuno di essi e sono state chiarite le funzioni a cui assolvono. Si è visto, infatti, che i movimenti oculari non sono elicitati esclusivamente da stimoli ambientali a cui rispondono meccanicamente, ma in realtà sono frutto di rappresentazioni integrate, le priority maps, in cui intervengono anche processi cognitivi specifici fondati su obiettivi, valori e scopi soggettivi e contestuali. È stato quindi evidenziato lo stretto legame tra meccanismi oculomotori e cognizione, in particolare l'attenzione visuospaziale, con la quale i movimenti oculari condividono anche un substrato neuroanatomico comune.

In seguito, alla luce delle finalità del presente lavoro di tesi, si è analizzato nello specifico il rapporto di interconnessione tra memoria e movimenti oculari. È stato riscontrato, ad esempio, che gli scanpaths, ossia gli spostamenti di analisi di una scena osservata, giocano un ruolo nei processi di codifica e recupero. Un altro fenomeno analizzato è stato quello del repetition effect, che può fungere da indice sia di memoria esplicita che implicita, a seconda del grado di consapevolezza soggettivo. Per tale fenomeno, quando uno stimolo è familiare, vengono effettuate meno fissazioni ma più durature. Rispetto a ciò, la letteratura ha riscontrato che i pattern oculomotori sono utili non solo durante il recupero, ma anche nella codifica per predire la successiva rievocazione dello stimolo osservato.

Infine, nell'ultima parte del capitolo, si è analizzato il ruolo che può giocare l'eye-tracking nel panorama della memory detection. Esso costituisce, infatti, uno strumento che sul piano tecnico può risultare più agevole rispetto ad altri strumenti di misurazione fisiologica abitualmente utilizzati. Inoltre, risulta essere una metodologia solida per la rilevazione di informazioni volutamente celate, anche in caso di adozione di contromisure volte a falsare la misurazione.

Alla luce di tali premesse teoriche, di seguito verrà presentato un lavoro sperimentale volto a indagare se i movimenti oculari possano costituire un valido indice covert di riconoscimento di scene. In particolare, l'obiettivo è rispondere ad una domanda fondamentale di rilevanza forense: è possibile, tramite i movimenti oculari, discriminare se un luogo è stato precedentemente visitato, osservato solo in fotografia, o mai visto?

CAPITOLO 3

LO STUDIO

3.1 Ipotesi e obiettivi

Nei precedenti capitoli è stato evidenziato come la relazione tra riconoscimento mnestico e movimenti oculari non sia casuale, ma rifletta la complessa relazione sottostante la cognizione e i processi oculomotori. Questa relazione è fondamentale in un ambito come quello della psicologia forense in cui sono proprio gli indizi impliciti che scaturiscono da tale rapporto a essere i possibili elementi chiave nella valutazione di una testimonianza o in una perizia su un indagato.

Il presente studio si pone all'interno del filone di ricerca delle neuroscienze forensi, con l'obiettivo di indagare se i movimenti oculari possano costituire un affidabile indice implicito di riconoscimento di scene visive. In particolare, mediante una procedura di free-viewing quanto più ecologica possibile, si è cercato di valutare in quale misura i movimenti oculari possano rivelare se un luogo sia già stato visto o meno. Nei casi di scene riconosciute, è stato inoltre esaminato se l'attività oculomotoria implicita possa distinguere tra luoghi visitati di persona e luoghi osservati soltanto in fotografia. Tale obiettivo riveste particolare importanza in ambito forense: considerata la fallacità della memoria autobiografica e la scarsa relazione tra sicurezza e accuratezza, può accadere che un testimone sia convinto di essere stato in un determinato luogo pur avendo solo un senso di familiarità dovuto all'esposizione, ad esempio, a materiale presentato sui media.

Alla luce di tali obiettivi, il lavoro di ricerca condotto si è proposto di testare sperimentalmente queste ipotesi attraverso un compito di riconoscimento suddiviso in due giornate. Nei paragrafi seguenti verranno descritte nel dettaglio le modalità di raccolta dei dati e le procedure adottate.

3.2 Partecipanti

Il campione selezionato per la ricerca è costituito da 114 partecipanti aventi un'età compresa tra i 18 e i 31 anni, di cui 78 femmine, 34 maschi e 2 di genere non binario. Il campione finale analizzato una volta terminate le procedure di pulizia dei dati grezzi è invece costituito da 113 partecipanti (77 F, 34 M, 2 NB), a causa dell'eliminazione di un soggetto dovuta ad un alto numero di dati oculomotori mancanti.

La maggior parte dei soggetti è composta da studenti (scolarità: > 13 anni) reclutati presso l'Università degli Studi di Padova attraverso annunci sui social media (Instagram e Facebook), volantinaggio e diffusione nei vari gruppi Whatsapp e Telegram universitari della locandina preparata appositamente per informare sull'esperimento. Non è stato previsto nessun incentivo, né economico né in forma di crediti accademici, per ricompensare i partecipanti alla ricerca.

Ad ogni potenziale partecipante veniva fornito un questionario sviluppato tramite Google Form per saggiare l'idoneità alla ricerca. Infatti, in base al disegno sperimentale, descritto nel dettaglio nei paragrafi successivi, i partecipanti non avrebbero dovuto conoscere i luoghi che sarebbero stati visitati durante l'esperimento, né quelli presentati in fotografia. La familiarità anche con uno solo di questi ambienti costituiva criterio di esclusione. Inoltre, poiché tra i luoghi da osservare e successivamente riconoscere figuravano anche stanze appartenenti al complesso della Scuola di Psicologia di Padova, non sono stati reclutati studenti di questa Scuola.

Tramite il medesimo questionario, veniva chiesto a ciascun soggetto di indicare, oltre ai propri dati anagrafici, anche eventuali condizioni visive che avrebbero potuto compromettere la registrazione dei dati oculomotori e che dunque inficiassero la possibilità di registrazione dei movimenti oculari (ad esempio fotosensibilità, daltonismo, etc.).

La ricerca è stata approvata dal comitato etico della Scuola di Psicologia dell'Università di Padova ed è stata condotta seguendo i principi etici stabiliti dalla Dichiarazione di Helsinki. In linea con ciò, tutti i soggetti partecipanti sono stati informati circa le modalità generali di conduzione dello studio, hanno preso visione del modulo informativo sulla ricerca e sul trattamento dei dati personali, e firmato il consenso informato.

3.3 Procedura sperimentale

La procedura sperimentale prevedeva l'organizzazione della ricerca in due sessioni da svolgersi in due giornate consecutive. In totale, l'intera procedura sperimentale durava un'ora e mezza, suddivisa in 1 h la prima giornata e 30 min la seconda.

3.3.1 Prima sessione

Ogni partecipante veniva condotto in 5 stanze in vari edifici della zona universitaria di Padova ed era istruito a osservarle ed esplorarle liberamente, senza limiti di tempo. In media, il tempo trascorso in ogni stanza era di 4 minuti, con una grande variabilità tra i luoghi in base all'ampiezza dell'area da osservare. Per favorire l'esplorazione, in ogni stanza venivano nascosti 5 mattoncini Lego, 2 di colore grigio scuro e 3 di colore grigio chiaro, in collocazioni prefissate; ogni soggetto avrebbe dovuto raccoglierli man mano che li notava. Veniva specificato che, tuttavia, il focus dell'esplorazione non era trovare i mattoncini nel minor tempo possibile, ma l'osservazione dell'ambiente; i Lego fungevano semplicemente da stimolo per tale compito.

In successione, le stanze da visitare erano:

- Atrio dell'hotel NH Mantegna (Via Niccolò Tommaseo 61; fig. 3.2A);
- Aula studio al piano terra dell'edificio 2 del Dipartimento di Psicologia (Via Venezia 12; fig. 3.2B);
- Ufficio Erasmus al primo piano dell'edificio 2 del Dipartimento di Psicologia (Via Venezia 12; fig. 3.2C);
- Parcheggio sotterraneo del Dipartimento di Psicologia (Via Venezia 8; fig. 3.2D);
- Stanza "coffee break" al primo piano dell'edificio 1 del Dipartimento di Psicologia (Via Venezia 8; fig. 3.2E)

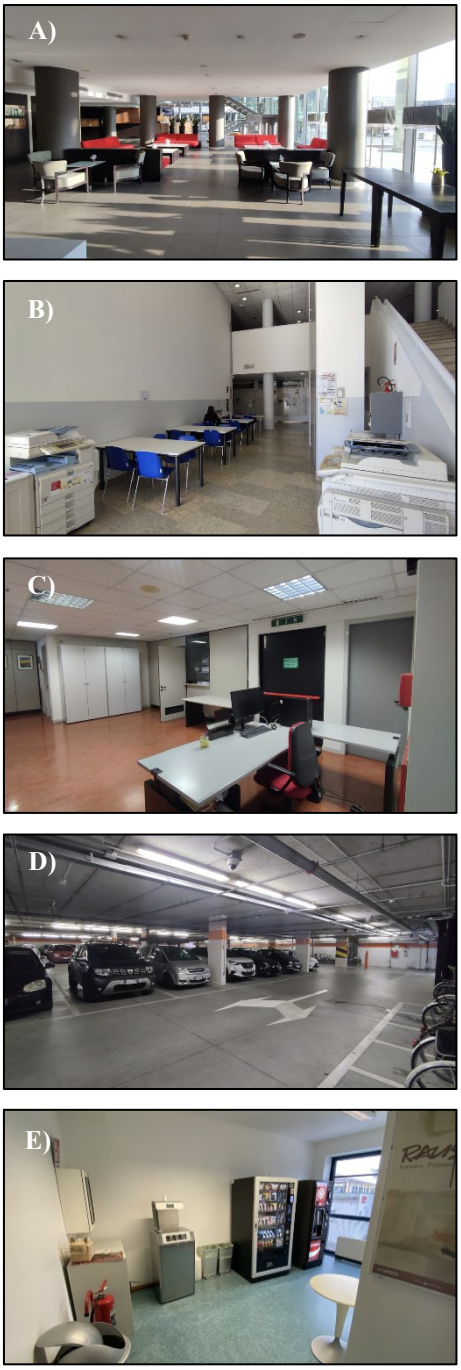

Fig. 3.2 In ordine, dall'alto verso il basso, le 5 stanze visitate dai partecipanti durante la prima giornata.

Una volta terminata l'esplorazione di tutte le stanze, il partecipante veniva condotto all'interno del laboratorio C12 per la rilevazione

dei movimenti oculari, al piano seminterrato dell'edificio 1 nel Dipartimento di Psicologia. A questo punto veniva svolto un compito di codifica al computer: veniva chiesto di osservare delle immagini di ulteriori luoghi in modalità "free viewing", quindi senza limiti di tempo e senza essere impegnati in altro compito. La presentazione delle immagini avveniva in condizioni di bassa luminosità per ottimizzare il funzionamento dell'eye-tracker, che nel frattempo registrava i movimenti oculari del partecipante durante la codifica.

3.3.2 Seconda sessione

La seconda giornata di raccolta dati si svolgeva interamente presso il medesimo laboratorio per la registrazione dei movimenti oculari. In questa giornata, veniva svolto dal partecipante un compito di riconoscimento di 100 immagini di luoghi, alcuni visitati o visti in foto il giorno prima, altri completamente nuovi; nel frattempo, i suoi movimenti oculari venivano registrati. A differenza del compito di free viewing della prima giornata, ciascuno stimolo rimaneva sullo schermo per una durata fissa di 5000 ms. Inoltre, dopo la presentazione di ciascuna immagine, sullo schermo del computer appariva una domanda volta a indagare il giudizio esplicito di riconoscimento: "Riconosci questo luogo?". Il soggetto poteva rispondere scegliendo tra tre opzioni di risposta tramite la tastiera del computer (fig. 3.3):

- Tasto "A" se il luogo lo riconosceva perché lo aveva visitato;
- Tasto "G" se il luogo lo riconosceva perché lo aveva visto in foto;
- Tasto "L" se il luogo non lo riconosceva e per lui era del tutto nuovo.

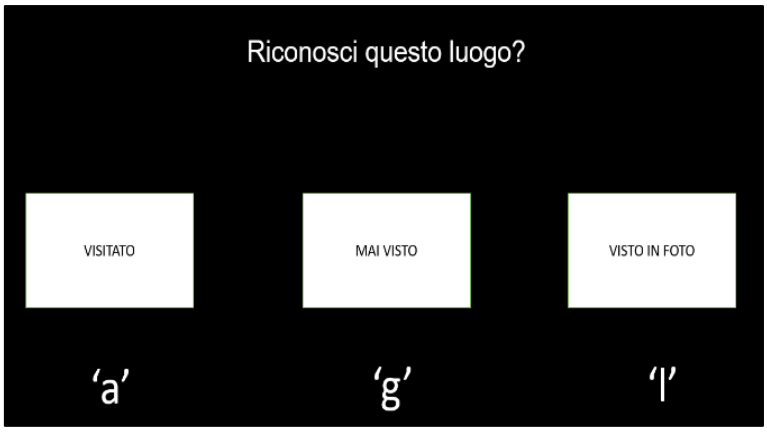

Fig. 3.3 La domanda che compariva dopo la presentazione di ogni immagine insieme alle varie opzioni di risposta.

Nel caso in cui il partecipante scegliesse la prima opzione, ossia che il luogo lo aveva visitato di persona, sullo schermo appariva un'ulteriore domanda: "Quando l'hai visitato?" (fig. 3.4). In questo caso, poteva scegliere tra due opzioni di risposta:

- Tasto "A" se il luogo era stato visitato il giorno prima;
- Tasto "L" se il luogo era stato visitato in un'occasione precedente.

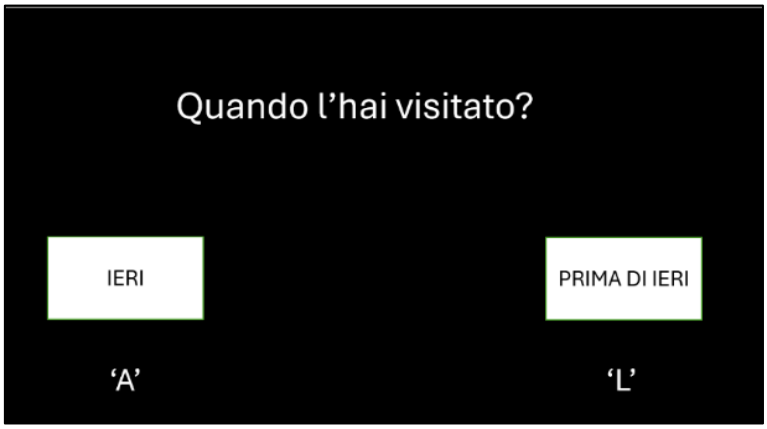

Fig. 3.4 La domanda che compariva dopo che il partecipante dichiarava di aver già visitato il luogo appena visionato.

La scelta dei tasti da premere era dovuta esclusivamente alla praticità per il partecipante. Infatti, gli veniva chiesto di posizionare le dita sopra quei tasti già prima dell'inizio del compito, in modo da evitare che durante l'esecuzione distogliesse lo sguardo dallo schermo per guardare la tastiera e rischiasse di falsare la registrazione dei movimenti oculari.

Per designare questa seconda giornata della procedura sperimentale, era stato condotto preliminarmente uno studio pilota in cui sono stati testati due diversi paradigmi sperimentali. Nel primo, il soggetto osservava al computer uno stesso luogo da cinque angolazioni diverse prima che gli venisse chiesto, sullo schermo, se riconoscesse la scena; le immagini venivano presentate in sequenza, ciascuna per 5000 ms. Nel secondo paradigma testato, quello infine scelto, la presentazione delle immagini era randomizzata e il giudizio di riconoscimento veniva richiesto dopo la presentazione di ogni singolo stimolo. Sono stati raccolti ed analizzati i dati di 10 partecipanti sottoposti ciascuno ad una delle due modalità; è emerso che non vi erano differenze significative tra i paradigmi. Alla luce di ciò, si è infine deciso di procedere con la seconda modalità di presentazione degli stimoli, vale a dire con il giudizio di riconoscimento sulle singole immagini randomizzate piuttosto che sui set di luoghi. Infatti, sebbene il primo approccio fosse più ordinato e sistematico, rischiava di essere meno accurato ed ecologico. Innanzitutto, la presentazione di tutte le angolazioni di un luogo avrebbe richiesto in totale 25 secondi,

un tempo molto lungo che portava con sé il rischio dell'influenza di fattori confondenti sul processamento delle immagini e sui movimenti oculari. Il riconoscimento è un processo in parte automatico e molto rapido; perciò, una tale dilatazione del tempo di visione delle immagini sarebbe stata ridondante. Inoltre, per ogni set di immagini, solo la prima sarebbe stata realmente informativa sui movimenti oculari implicati nel riconoscimento.

3.4 Stimoli e strumentazione

Come è stato descritto, lo studio prevedeva l'osservazione al computer di immagini di luoghi precedentemente visitati, osservati in fotografia o mai visti. Ogni immagine impiegata aveva una risoluzione di 1920x1080 pixel. In totale, sono state utilizzate 100 fotografie di 20 luoghi diversi, appartenenti a 5 categorie: "hotel", ""aula studio", "ufficio", "parking" e "coffee break". I luoghi erano fotografati da 5 angolazioni differenti, in modo da favorire una visione a 360 gradi di ogni ambiente. In generale, gli stimoli erano così suddivisi nelle 3 condizioni:

- 25 immagini VIS: le immagini dei 5 ambienti che il soggetto visitava di persona
- 25 immagini PHO: le immagini dei 5 ambienti già osservati solo in fotografia
- 50 immagini NEW: le immagini dei 10 ambienti completamente nuovi per il soggetto; questa era l'unica condizione in cui vi erano due luoghi per ogni categoria.

Per la presentazione delle immagini e lo sviluppo del compito sperimentale al computer, è stato impiegato il software *PsychoPy (Psychology software in Python,* Peirce et al., 2019), il quale permette la creazione di task digitali in ambito psicologico e neuroscientifico. Utilizzando questo software è stato possibile integrare i dati provenienti dall'eye-tracker con la procedura sperimentale designata; inoltre, relativamente alla fase sperimentale di riconoscimento, è stato possibile raccogliere simultaneamente i dati oculomotori e le risposte esplicite dei partecipanti.

Infine, sia durante la fase di encoding che di riconoscimento, i movimenti oculari dei partecipanti venivano registrati tramite l'eye-tracker "Tobii Spectrum Pro 600". Si tratta di un sistema video-oculografico del genere descritto nel precedente capitolo: una telecamera associata a una luce infrarossa permette di registrare la posizione relativa degli occhi in ogni istante. La frequenza di campionamento è di 600 Hz: significa che lo

strumento rileva la posizione della pupilla 600 volte al secondo. Una frequenza di campionamento elevata equivale a una buona risoluzione temporale, il che permette di diminuire il tasso di distorsione dei dati, di rilevare anche movimenti oculari rapidi e di ridurre la quota di errore fisiologico dovuto ad esempio ai momenti di *blink*, ovvero quando il soggetto sbatte gli occhi e la macchina non rileva la pupilla (Hutton, 2019).

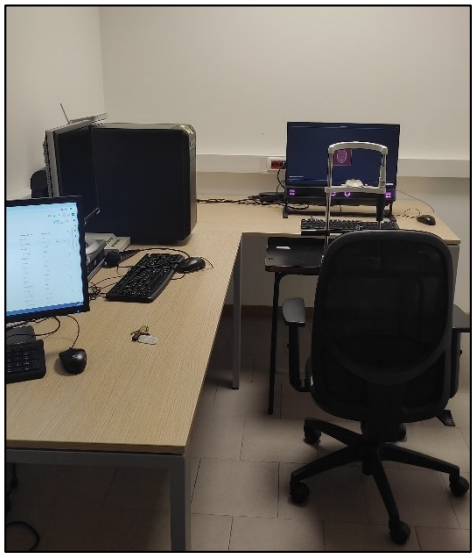

Fig. 3.1 Il setting sperimentale: in fondo, il computer con l'eye-tracker incorporato (in basso). Di fronte alla sedia, la mentoniera. In primo piano a sinistra, il computer di fronte al quale si pone lo sperimentatore.

Per favorire la misurazione e ridurre al minimo i movimenti della testa, il partecipante veniva fatto sedere con la testa appoggiata a una mentoniera con supporto frontale, dotata di un sostegno per il mento e la fronte. Per precauzione, prima della procedura di calibrazione della macchina veniva anche richiesto al soggetto di ridurre al minimo i movimenti con il capo, in modo da consentire una misurazione quanto più ottimale possibile.

3.5 Analisi dei dati raccolti

La registrazione dei movimenti oculari tramite eye-tracker consente di analizzare indici oculomotori di diversa natura, come diffusamente descritto nel precedente capitolo. Infatti, gli indici oculomotori presentano il vantaggio di poter essere analizzati sotto vari aspetti, non solo a livello generale per uno stimolo osservato, ma anche a livello microscopico su circoscritte regioni di interesse (Hannula et al., 2010). Ecco, quindi, che i dati ricavabili tramite l'eye-tracker spaziano dal numero di fissazioni in un determinato intervallo temporale (tasso di fissazione), alla velocità delle saccadi, dal numero di blink al numero di regioni fissate, fino alla proporzione tra numero e durata delle fissazioni in una regione di interesse rispetto al totale.

Nel presente studio, si è deciso di concentrare l'analisi dei dati oculomotori su quattro misure principali che potessero fornire valutazioni qualitative e quantitative rispetto all'osservazione degli stimoli:

- *Durata delle fissazioni*: questo indice correla con la profondità del processing cognitivo, con fissazioni più lunghe associate a un maggior processing (Irwin, 2004)
- *Ampiezza delle saccadi*: alcuni studi hanno mostrato che la ricostruzione mentale di scene dalla memoria autobiografica era associata a saccadi di minore ampiezza (Bernardis, Grassi & Pearson, 2025)
- *Velocità delle saccadi*: in compiti di memoria visiva le saccadi guidate da dati presenti in memoria (*memory-guided saccades)* sono generalmente più lente rispetto alle saccadi originate da processi meramente percettivi (White, Sparks & Stanford, 1994)
- *K coefficient*: si tratta di una misura topografica derivata dalla distribuzione delle fissazioni e dalla lunghezza delle saccadi seguenti; è un indicatore che permette di distinguere *attenzione ambient*, ovvero diffusa ed esplorativa, ed *attenzione focal*, ovvero focalizzata, (Krejtz et al., 2016).

Sulla base di queste premesse, l'obiettivo è stato quello di analizzare i pattern di esplorazione delle immagini dei partecipanti in modo da riscontrare differenze significative nelle misure sopracitate a seconda che gli stimoli fossero nuovi (NEW) oppure già esperiti (OLD). Inoltre, poiché la condizione OLD si suddivideva ulteriormente in due varianti, a seconda che il luogo fosse stato visitato o visto in fotografia, si determinavano complessivamente tre diversi tipi di confronto da effettuare:

- VIS vs NEW
- PHO vs NEW
- PHO vs VIS

In aggiunta, nel caso venissero riscontrate differenze effettive tra le condizioni, un ulteriore obiettivo è stato quello di analizzare come tali differenze si sviluppano nel tempo. Questo aspetto è particolarmente rilevante dal punto di vista applicativo per l'eventuale impiego dell'eye-tracking nell'ambito della memory detection: infatti, in ambito forense è opportuno conoscere in quale finestra temporale dall'onset dello stimolo la reazione oculomotoria riflette più nettamente i processi di riconoscimento automatico, prima di essere falsata da altri meccanismi cognitivi di ordine superiore. Nello studio, per analizzare l'andamento temporale dei movimenti oculari, l'intero periodo di

presentazione di ciascuno stimolo (5000 ms) è stato suddiviso in cinque finestre temporali di 1000 ms ciascuna. L'analisi dei dati è stata quindi condotta su due livelli: sia sull'intero intervallo di 5000 ms, sia sulle singole finestre temporali.

Verranno ora descritti nel dettaglio i vari passaggi di analisi dei dati raccolti. L'analisi statistica che verrà di seguito presentata è stata condotta interamente utilizzando il software R (R Core Team, 2025).

3.5.1 Pre-processing

Il primo passaggio obbligato per una corretta analisi dati è la pulizia degli stessi. Innanzitutto, si è proceduto all'estrazione dei dati oculomotori grezzi registrati dall'eye-tracker. Tali dati sono stati messi in corrispondenza con l'onset e l'offset degli stimoli sullo schermo durante il compito. In questo modo, isolando esclusivamente i dati corrispondenti agli intervalli di tempo in cui le immagini comparivano sul computer, è stato garantito che l'analisi riguardasse specificatamente i movimenti oculari riferiti agli stimoli. In aggiunta a ciò, è stato fatto in modo che il tempo venisse resettato a zero in corrispondenza dell'onset di ciascuna immagine. Così facendo, il primo dato relativo alla posizione dello sguardo dopo la comparsa di ogni singolo stimolo corrisponde all'istante iniziale di quello specifico intervallo di tempo analizzato.

A livello spaziale, i movimenti oculari sono stati registrati come coordinate XY rispetto alla posizione dello sguardo sullo schermo del computer in ogni istante di tempo. Per determinare precisamente tale posizione è stato quindi necessario calcolare la media della posizione di entrambi gli occhi, destro e sinistro, in ogni momento rispetto agli assi X e Y. Infatti, al netto di condizioni visive come lo strabismo, gli occhi compiono movimenti coniugati e ciò fa sì che la media restituisca una misura oculomotoria più robusta.

Successivamente, si è proceduto con la valutazione della qualità dei dati. Dal punto di vista di campionamento dell'eye-tracker, è stato valutato l'intervallo "*sample to sample*", ossia l'intervallo di tempo tra due rilevazioni consecutive dello strumento, verificandone la regolarità e la stabilità per ogni soggetto. Questa procedura serve ad assicurare che la dose di errore strumentale della macchina sia sempre monitorata, fissa e relativamente ridotta, così da garantire un campionamento affidabile e una registrazione di qualità. Nel caso del suddetto eye-tracker, poiché la frequenza di campionamento è di

600 Hz, l'intervallo "sample to sample" corrisponde a circa 1,66 ms, ed è risultato accettabile per tutti i partecipanti.

A questo punto è stata valutata la quantità percentuale di dati non validi perché mancanti o perché corrispondenti a posizioni dello sguardo fuori dallo schermo, ossia fuori dalle dimensioni di 1920x1080 pixel per immagine. Nello specifico, sono stati riscontrati:

- 0,03% di dati non validi rispetto all'asse X;
- 0,34% di dati non validi rispetto all'asse Y;
- 7,4% di dati non validi perché mancanti (blink o missing data di altra natura)

La stessa procedura è stata quindi messa in atto per ogni partecipante, relativamente a ciascuno stimolo: è stata quantificata la percentuale di dati mancanti in modo tale da determinare eventuali trial da eliminare o soggetti da eliminare a causa dell'eccessivo numero di dati invalidi. Il criterio di esclusione adottato prevedeva una soglia del 50%: se più della metà dei dati oculomotori relativi a uno stimolo erano mancanti, tale trial veniva eliminato; se più della metà dei trial di un intero task presentavano tale problematicità, veniva escluso l'intero set di dati del soggetto. In base a questo criterio, è stata eliminata dal dataset una partecipante che presentava almeno la metà di dati mancanti in quasi l'80% dei trial. Ecco quindi che, una volta effettuate queste procedure di pulizia del database, il campione finale contava 113 partecipanti totali aventi dati grezzi utilizzabili.

Successivamente, dal database ripulito, sono stati estratti gli eventi principali del comportamento oculomotorio, ovvero le fissazioni e le saccadi. Ciò è stato possibile attraverso un pacchetto di R chiamato "*gazepath*", e, in particolare, grazie ad un algoritmo basato sulla velocità degli spostamenti oculari registrati (Engbert & Kliegl, 2003). Tale algoritmo categorizza come saccadi tutti i movimenti registrati che superano una certa soglia di velocità; al contrario, tutto ciò che viene rilevato tra due saccadi consecutive viene elaborato come fissazione.

Si tenga presente che, in accordo con la letteratura (Nuthmann, 2017), sono state eliminate dal database le fissazioni con una durata superiore ai 1000 ms. Infatti, nei compiti in osservazione libera, si ritiene che questo tipo di fissazioni prolungate siano influenzate da processi cognitivi di ordine superiore, o addirittura siano frutto di artefatti

di registrazione (Inhoff & Radach, 1998). Esse, quindi, non rifletterebbero direttamente l'elaborazione contingente di quello che si sta guardando. Nel caso del presente studio, sono state eliminate in quanto risulterebbero fuorvianti e rischierebbero di restituire un indice falsato.

Una volta terminata la procedura preliminare di pre-processing sui dati grezzi, si è potuto procedere con l'analisi statistica sui dati ripuliti.

3.5.2 Analisi statistica

L'analisi statistica è stata effettuata sulla base di una serie di *Mixed Effects Models*. Si tratta di modelli statistici che permettono di analizzare strutture di dati complesse tenendo conto sia delle tendenze generali a livello campionario, sia delle differenze individuali di ciascun partecipante. Infatti, i modelli a effetti misti tengono conto del fatto che un certo criterio Y è determinato sia da fattori fissi, ossia le variabili X di interesse che si ipotizza abbiano un'influenza sistematica sul comportamento, sia da effetti casuali, che rappresentano la variabilità dovuta a fattori non direttamente dipendenti dalle condizioni sperimentali e non rilevanti per le ipotesi teoriche. L'utilizzo di modelli a effetti misti è particolarmente indicato nei contesti sperimentali in cui si raccolgono osservazioni ripetute per ciascun soggetto e per ciascuna condizione sperimentale, come nel presente studio: in questo modo è possibile stimare gli effetti di interesse prendendo in considerazione allo stesso tempo la variabilità intrinseca dovuta a soggetti.

In questa ricerca i modelli a effetti misti sono stati impiegati per analizzare i quattro indici oculomotori di interesse ponendo come fattori fissi le tre condizioni sperimentali (stimoli VIS, PHO, NEW) e come fattore casuale il partecipante stesso. Infatti, i movimenti oculari, come precedentemente descritto, sono fisiologicamente soggetti a grande variabilità interindividuale e questo rende necessario tenerne conto per giungere a risultati robusti al netto delle differenze soggettive.

A questo punto, in seguito all'analisi principale condotta mediante modello lineare misto, si è proceduto con analisi post-hoc al fine di approfondire e specificare in maniera più dettagliata la natura e la direzione delle differenze emerse tra le condizioni sperimentali. Infatti, mentre l'analisi del modello consente di stabilire se un effetto complessivo è significativo, essa non fornisce direttamente indicazioni su quali coppie di condizioni si distinguano l'una dall'altra. Le analisi post-hoc rispondono a questa esigenza, permettendo di isolare e confrontare i livelli specifici dei fattori. A questo scopo,

sono state calcolate le medie marginali stimate (*Estimated Marginal Means*, EMMs) utilizzando il pacchetto *emmeans* in R (Lenth, 2024). Le EMMs permettono di stimare valori medi già corretti rispetto agli altri fattori inclusi nel modello, rendendo così più agevole l'interpretazione sia degli effetti principali sia delle interazioni tra fattori.

Sono stati quindi effettuati i confronti a coppie tra le diverse condizioni (NEW, VIS e PHO) al fine di identificare in maniera puntuale quali gruppi differissero tra loro. Per garantire l'affidabilità dei risultati e limitare l'inflazione dell'errore di I tipo, è stata applicata la correzione di Tukey per i confronti multipli. Infine, per ciascun contrasto sono state calcolate le dimensioni dell'effetto mediante la *d di Cohen* (*Cohen's d*), una misura standardizzata che consente di interpretare l'ampiezza della differenza tra due medie indipendentemente dall'unità di misura, e lo *z ratio*, ottenuto dal rapporto tra la media marginale stimata (EMMs) e il relativo errore standard (SE). Quest'ultima misura fornisce un'indicazione della forza del contrasto, in quanto esprime il rapporto tra l'ampiezza della differenza osservata e la sua variabilità.

$$d = (M_1 - M_2) / s \qquad z = (EMMs)/SE$$

Una volta terminati i processi di analisi, che sono stati applicati sia per i dati generali rilevati nei 5000 ms di presentazione di ciascuno stimolo, sia per ogni finestra temporale di 1000 ms, sono emersi chiaramente i risultati dello studio, che verranno di seguito presentati per ognuno dei quattro indici oculomotori considerati.

3.6 I risultati

3.6.1 Durata delle fissazioni

Innanzitutto, l'analisi del modello misto ha mostrato un effetto principale significativo della condizione sulla durata delle fissazioni. ($\chi^2[2] = 129.46$, $p < .001$).

Nello specifico, le analisi post-hoc sulle medie marginali stimate hanno mostrato una differenza significativa tra le immagini di scene visitate rispetto a nuove per la durata delle fissazioni (z ratio = 10.48, $p < .001$). Inoltre, vi è una differenza significativa anche tra immagini di luoghi visti solo in fotografia e nuovi (z ratio = 7.49, $p < .001$). Infine, è risultata significativa anche la differenza tra stimoli di scene viste in fotografia e scene visitate (z ratio = -2,44, $p = .039$).

Quindi, come riportato nel grafico presentato (fig. 3.5), la durata delle fissazioni lungo l'intero arco temporale di presentazione di ciascuno stimolo (5000 ms) si

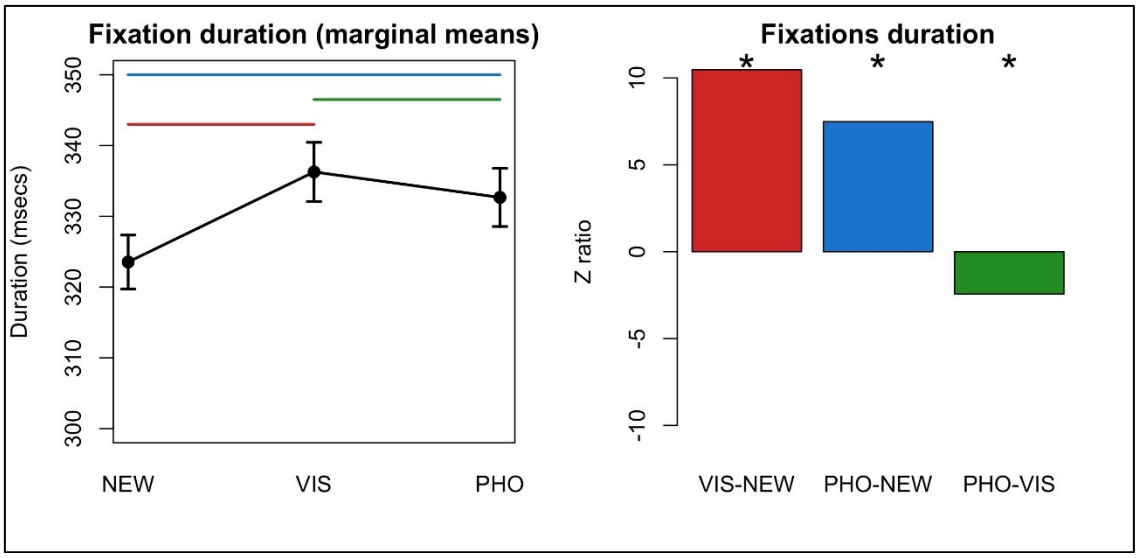

Fig. 3.5 Grafici che rappresentano le medie marginali per le diverse durate di fissazione nelle tre condizioni (a sinistra), e gli z ratio delle medesime (a destra). L'asterisco indica che l'effetto è statisticamente significativo.

differenzia in maniera significativa in tutte e tre le condizioni messe a confronto. In particolare, la durata delle fissazioni risultava in media molto più breve quando i partecipanti osservavano immagini nuove rispetto a quando si trovavano di fronte a stimoli già osservati, sia che fossero stati visti in foto che visitati. In particolare, i luoghi visitati risultavano quelli osservati in media per minor tempo, sebbene la differenza con i luoghi visti in fotografia fosse ridotta.

Si considerino ora, invece, i risultati emersi dal confronto tra le medie durante ciascuna delle finestre temporali da 1000 ms:

- Prima finestra (0-1000 ms): differenza significativa tra scene visitate e nuove (z ratio = 6.49, $p < .001$), tra scene viste in foto e nuove (z ratio = 4.58, $p < .001$), ma non significativa tra scene viste in foto e visitate (z ratio = -1.63, $p = .23$).
- Seconda finestra (1000-2000 ms): differenza significativa tra scene visitate e nuove (z ratio = 3.88, $p < .001$), tra scene viste in foto e nuove (z ratio = 3.96, $p < .001$), ma non significativa tra scene viste in foto e visitate (z ratio = 0.08, $p = .99$).
- Terza finestra (2000-3000 ms): differenza significativa tra scene visitate e nuove (z ratio = 4.13, $p < .001$), tra scene viste in foto e nuove (z ratio = 4.19, $p < .001$), ma non significativa tra scene viste in foto e visitate (z ratio = 0.15, $p = .99$).

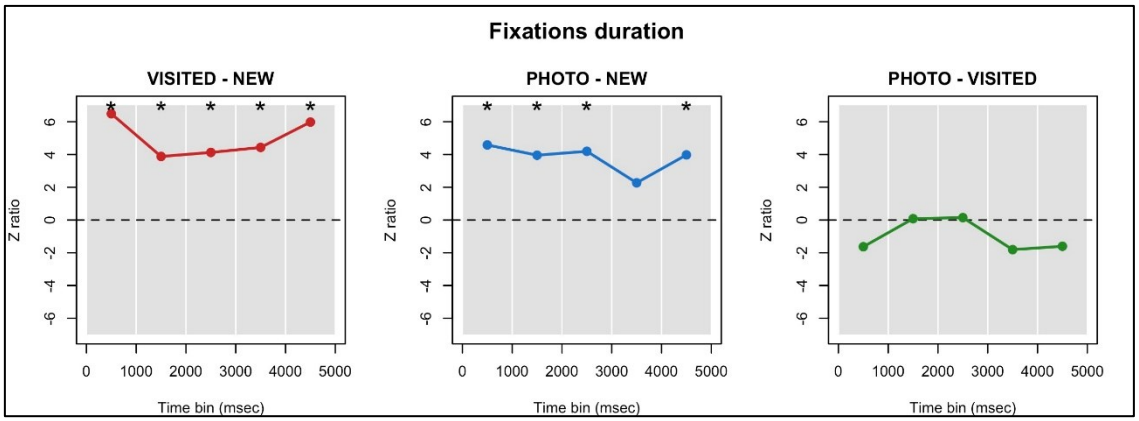

Fig. 3.6 Differenza tra le medie dei tempi di fissazione in ognuno dei tre confronti tra condizioni, per ogni finestra temporale da 1000 ms. L'asterisco indica che l'effetto è statisticamente significativo in quella finestra.

- Quarta finestra (3000-4000 ms): differenza significativa tra scene visitate e nuove (z ratio = 4.43, $p < .001$), ma non significativa tra scene viste in foto e nuove (z ratio = 2.27, $p = .059$) e tra scene viste in foto e visitate (z ratio = -1.8, $p = .17$).
- Quinta finestra (4000-5000 ms): differenza significativa tra scene visitate e nuove (z ratio = 5.98, $p < .001$), tra scene viste in foto e nuove (z ratio = 3.98, $p < .001$), ma non significativa tra scene viste in foto e visitate (z ratio = -1.6, $p = .24$).

La figura 3.6 riporta i grafici dei confronti tra le condizioni per ognuna delle finestre temporali analizzate, fornendo così una precisa rappresentazione dell'andamento nel tempo delle differenze nei tempi di fissazione. Se l'effetto del confronto tra luoghi visitati e nuovi risulta significativo in tutte le finestre temporali, al contrario la differenza tra luoghi visti in foto e luoghi visitati non lo risulta mai. Invece, il confronto tra la condizione "Photo" e "New" è significativo in quattro finestre temporali su cinque.

3.6.2 Ampiezza delle saccadi

Per quanto riguarda l'ampiezza delle saccadi, l'analisi del modello ha riscontrato anche in questo caso un significativo effetto della condizione ($\chi^2[2] = 47.19$, $p < .001$).

In particolare, le analisi post-hoc sui dati emersi lungo l'arco temporale di 5000 ms hanno evidenziato una differenza significativa anche per questo indice tra immagini di luoghi visitati e luoghi nuovi (z ratio = -5.96, $p < .001$). La differenza è significativa anche se si considerano le scene viste in foto e le scene nuove (z ratio = -5.04, $p < .001$); al contrario, non risulta significativa per il confronto tra stimoli già osservati in foto e stimoli di luoghi visitati (z ratio = 0.81, $p = .69$).

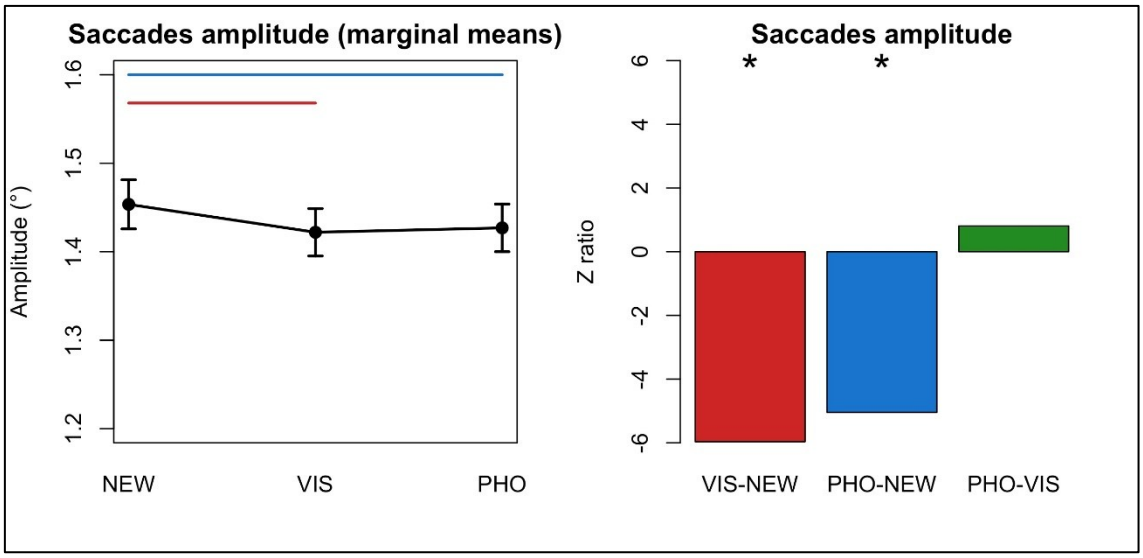

Fig. 3.7 Grafici che rappresentano le medie marginali per le diverse ampiezze dei movimenti saccadici nelle tre condizioni (a sinistra), e gli z ratio delle medesime (a destra). L'asterisco indica che l'effetto è statisticamente significativo.

I grafici della figura 3.7 illustrano i risultati emersi dalle analisi post-hoc. Come emerge da quello di sinistra, in questo caso, quando i partecipanti osservavano stimoli nuovi le loro saccadi erano mediamente più ampie rispetto alle altre due condizioni. Invece, l'ampiezza saccadica non risultava significativamente diversa quando osservavano scene visitate o scene viste in fotografia.

Per quanto riguarda le analisi post-hoc condotte per ogni finestra temporale da 1000 ms, i risultati emersi sono stati:

- Prima finestra (0-1000 ms): differenza non significativa in tutte le condizioni: tra scene visitate e nuove (z ratio = 0.44, p = .89), tra scene viste in foto e nuove (z ratio = 1.97, p = .12), e tra scene viste in foto e visitate (z ratio = 1.29, p = .40).
- Seconda finestra (1000-2000 ms): differenza significativa tra scene visitate e nuove (z ratio = -3.66, p < .001), tra scene viste in foto e nuove (z ratio = -3.31, p = .003), ma non significativa tra scene viste in foto e visitate (z ratio = 0.31, p = .95).
- Terza finestra (2000-3000 ms): differenza significativa tra scene visitate e nuove (z ratio = -3.57, p = .001), ma non significativa tra scene viste in foto e nuove (z ratio = -2.29, p = .057), e tra scene viste in foto e visitate (z ratio = 1.08, p = .53).
- Quarta finestra (3000-4000 ms): differenza significativa tra scene visitate e nuove (z ratio = -3.06, p < .001), tra scene viste in foto e nuove (z ratio = -4.44, p < .001), ma non significativa tra scene viste in foto e visitate (z ratio = -1.16, p = .48).

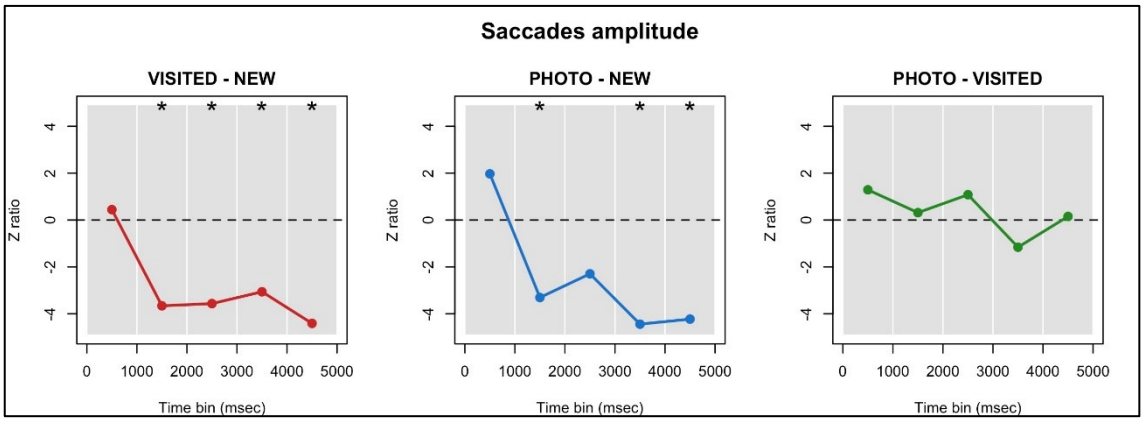

Fig. 3.8 Differenza tra le medie delle ampiezze delle saccadi in ognuno dei tre confronti tra condizioni, per ogni finestra temporale da 1000 ms. L'asterisco indica che l'effetto è statisticamente significativo in quella finestra.

- Quinta finestra (4000-5000 ms): differenza significativa tra scene visitate e nuove (z ratio = -4.41, $p < .001$), tra scene viste in foto e nuove (z ratio = -4.23, $p < .001$), ma non significativa tra scene viste in foto e visitate (z ratio = 0.15, $p = .98$).

L'andamento temporale è rappresentato dai grafici riportati (fig. 3.8), che illustrano per ogni finestra temporale i confronti tra le varie condizioni. Anche in questo caso, la differenza tra gli stimoli già osservati in fotografia e gli stimoli di luoghi visitati non risulta mai significativa. Inoltre, nella prima finestra temporale la differenza non è significativa in nessuno dei tre confronti effettuati.

3.6.3 Velocità delle saccadi

Anche per quanto riguarda questo indice, a livello globale è emerso un effetto significativo dall'analisi del modello misto ($\chi^2[2] = 35.82$, $p < .001$).

Le analisi post-hoc sui 5000 ms per questo indice hanno riportato una differenza significativa tra le immagini di luoghi visitati e luoghi nuovi (z ratio = -5.26, $p < .001$), come pure tra immagini di luoghi visti solo in foto e luoghi nuovi (z ratio = -4.32, $p < .001$). Anche per questo indice, come il precedente, la differenza tra scene viste solo in fotografia e scene visitate non risulta invece significativa dalle analisi (z ratio = 0.82, $p = .69$). La velocità è stata misurata in angoli visivi al secondo.

Medie marginali e confronti per la velocità delle saccadi nelle varie condizioni sono rappresentati nella figura 3.9. Risulta che i movimenti saccadici siano stati più rapidi durante la visione di stimoli nuovi, rispetto alle altre due condizioni. Anche in questo caso, come per il precedente indice, la differenza nella velocità delle saccadi tra la

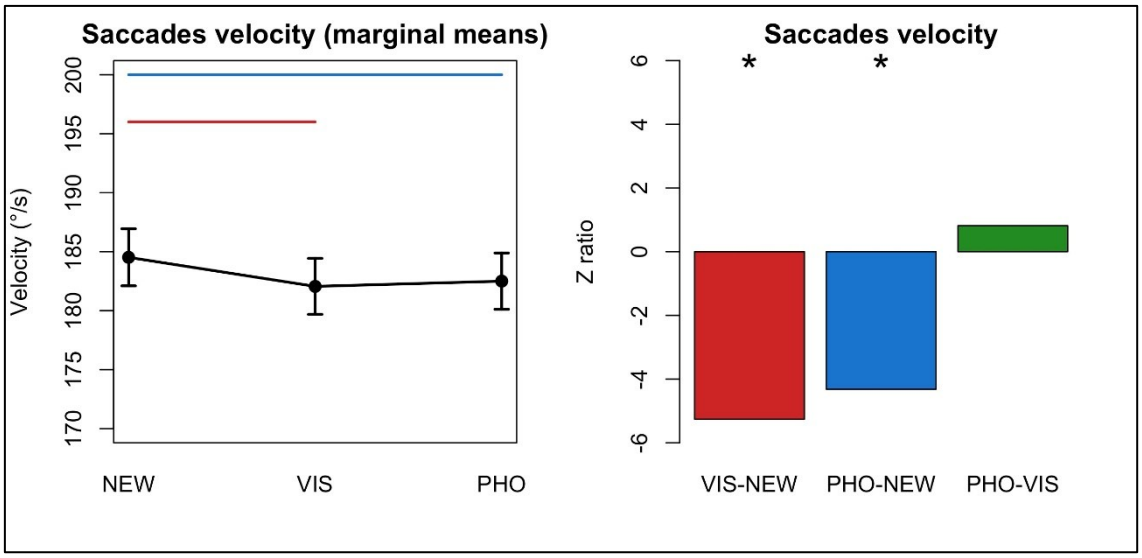

Fig. 3.9 Grafici che rappresentano le medie marginali per le diverse velocità dei movimenti saccadici nelle tre condizioni (a sinistra), e gli z ratio delle medesime (a destra). L'asterisco indica che l'effetto è statisticamente significativo.

condizione in cui gli stimoli erano stati visti in fotografia e quella in cui i luoghi erano stati visitati non è stata tale da risultare significativa.

A livello di singole finestre temporali, le analisi post-hoc hanno riscontrato i seguenti effetti:

- Prima finestra (0-1000 ms): differenza non significativa in tutte le condizioni: tra scene visitate e nuove (z ratio = 0.49, p = .87), tra scene viste in foto e nuove (z ratio = 1.59, p = .25), e tra scene viste in foto e visitate (z ratio = 0.93, p = .62).
- Seconda finestra (1000-2000 ms): differenza significativa tra scene visitate e nuove (z ratio = -2.46, p = .036), ma non significativa tra scene viste in foto e nuove (z ratio = -2.11, p = .087), e tra scene viste in foto e visitate (z ratio = 0.30, p = .95).
- Terza finestra (2000-3000 ms): differenza significativa tra scene visitate e nuove (z ratio = -3.44, p = .0017), tra scene viste in foto e nuove (z ratio = -2.35, p = .049), ma non significativa tra scene viste in foto e visitate (z ratio = 0.92, p = .63).
- Quarta finestra (3000-4000 ms): differenza significativa tra scene visitate e nuove (z ratio = -2.84, p = .013), tra scene viste in foto e nuove (z ratio = -3.36, p = .0022), ma non significativa tra scene viste in foto e visitate (z ratio = -0.43, p = .90).
- Quinta finestra (4000-5000 ms): differenza significativa tra scene visitate e nuove (z ratio = -4.46, p < .001), tra scene viste in foto e nuove (z ratio = -4.30, p < .001), ma non significativa tra scene viste in foto e visitate (z ratio = 0.12, p = .99).

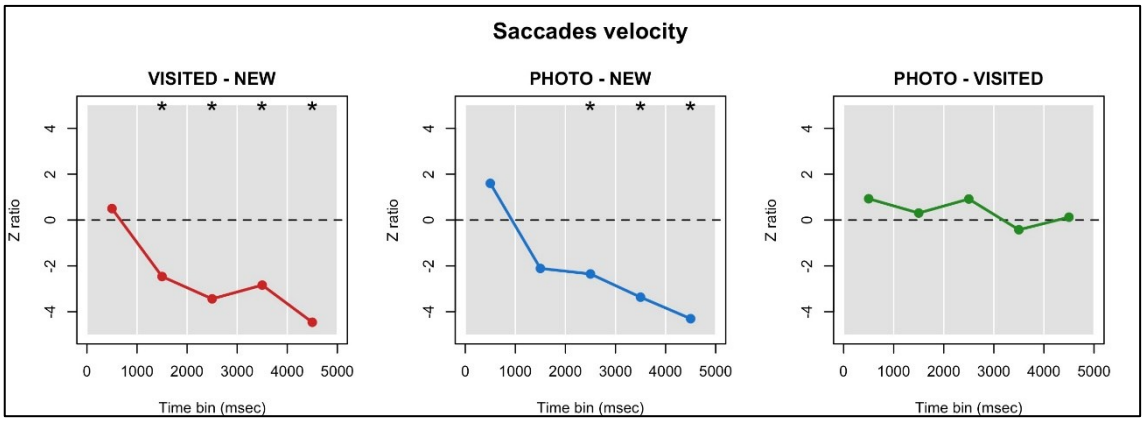

Fig. 3.10 Differenza tra le medie delle velocità delle saccadi in ognuno dei tre confronti tra condizioni, per ogni finestra temporale da 1000 ms. L'asterisco indica che l'effetto è statisticamente significativo in quella finestra.

Anche in questo caso, il grafico riportato (fig. 3.10) illustra l'andamento temporale delle differenze nella velocità media dei movimenti saccadici per ognuno dei tre confronti. Di nuovo, la differenza non è significativa in nessuna delle finestre temporali per il confronto tra immagini viste in fotografia e luoghi visitati. Inoltre, come per il precedente indice, la prima finestra temporale non presenta significatività dell'effetto in nessuno dei tre confronti.

3.6.4 K coefficient

Come precedentemente anticipato, il k coefficient rappresenta una misura topografica dello spostamento dello sguardo nel tempo. Descritta per la prima volta da Krejtz e coll. (2016), questa misura deriva dall'elaborazione di una fissazione e dell'ampiezza della saccade successiva. Nello specifico, questo indice permetterebbe di distinguere tra due tipi di attenzione visuospaziale: *attenzione ambient* e *attenzione focal*. L'attenzione ambient è caratterizzata da fissazioni brevi e movimenti saccadici ampi, allo scopo di esplorare l'ambiente o lo stimolo in maniera diffusa. È tipica delle prime fasi di percezione di una scena. Invece, l'attenzione focal è caratterizzata da fissazioni più lunghe e saccadi meno ampie; si tratta di un'attenzione focalizzata su elementi specifici della scena. Il k coefficient è un indice attentivo molto utile, in quanto non si basa sulla performance finale del soggetto, ma è una misura di processo e permette di analizzare come l'attenzione si distribuisce e cambia nel tempo.

Il coefficiente K si ricava calcolando la differenza media tra i valori standardizzati (punti z) dell'ampiezza di ciascuna saccade e la durata della fissazione che la precede (Krejtz et al. 2016):

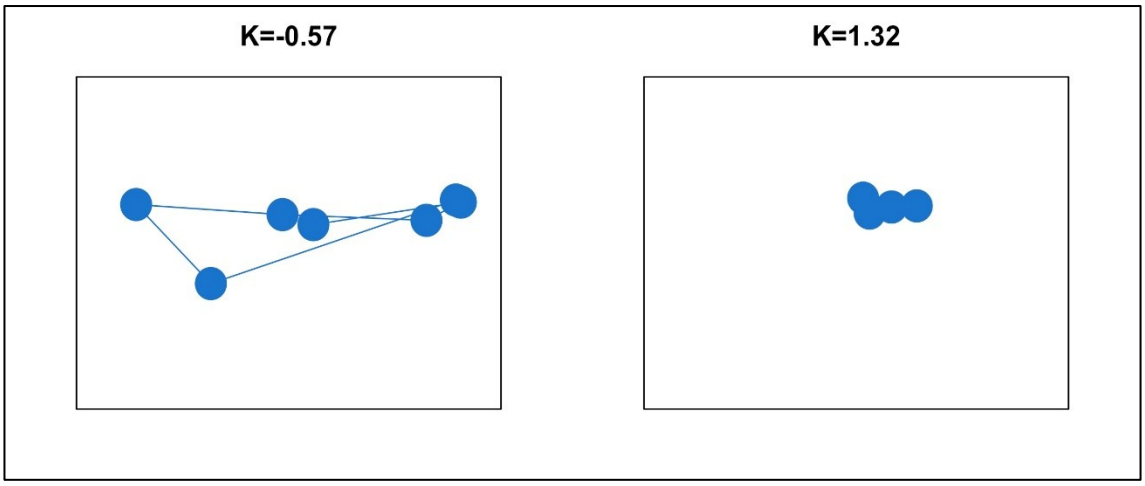

Fig. 3.11 Si può notare la differenza nei movimenti oculari a seconda del valore assunto dal k-coefficient: un valore di k negativo indica un'esplorazione dell'immagine più ampia (grafico a sinistra), mentre un valore positivo evidenzia movimenti più circoscritti e ristretti (grafico a destra).

$$\boldsymbol{k} = \frac{\boldsymbol{d_i - \mu_d}}{\boldsymbol{\sigma_d}} - \frac{\boldsymbol{a_{i+1} - \mu_a}}{\boldsymbol{\sigma_a}}$$

Dove μ_d e μ_a sono la media rispettivamente delle durate delle fissazioni e delle ampiezze delle saccadi, mentre σ rappresenta la deviazione standard. Il valore di k che si ottiene fornisce informazioni sul tipo di attenzione messa in atto (fig. 3.11):

- K > 0: significa che le fissazioni sono lunghe e le saccadi poco ampie, quindi l'attenzione è focalizzata;
- K = 0: significa che non vi è una differenza significativa tra i punti z della durata delle fissazioni e dell'ampiezza delle saccadi;
- K < 0: significa che le fissazioni sono brevi e le saccadi ampie, perciò l'attenzione è diffusa.

Si tenga presente che, se k assume un valore pari a ±1, significa che l'ampiezza delle saccadi e la durata delle fissazioni differiscono esattamente di una deviazione standard.

Per quanto riguarda le analisi statistiche su questo indice, a livello generale per tutte e tre le condizioni sperimentali sono stati riscontrati valori di k inferiori allo zero (fig. 3.12). Tuttavia, tenendo presente che il k coefficient è da considerarsi come un continuum, le diverse condizioni possono essere differenziate tra loro in maniera relativa e confrontate. Ecco, dunque, che il set di immagini nuove è risultato avere il k coefficient in assoluto più negativo, mentre, al contrario, immagini di luoghi visitati e visti in foto, presentavano un valore di k più vicino allo zero. Dalle analisi post-hoc è emerso che nell'arco di 5000 ms di presentazione di ogni stimolo, la differenza tra luoghi nuovi e

visitati risultava significativa (t[991.17] = -6.25, p < .001), così come la differenza tra luoghi nuovi e osservati in fotografia (t[942.8] = -5.04, p < .001). Invece, confrontando i valori di k tra condizioni VIS e PHO la differenza non è risultata significativa (t[1118.4] = 0.72, p = .47), come si evince anche dalla figura 3.12. Dunque, i risultati emersi per il k coefficient rispetto all'intero arco di presentazione di ogni stimolo evidenziano come vi sia un distacco significativo tra immagini nuove e immagini di luoghi già visti, a prescindere se dal vivo o meno.

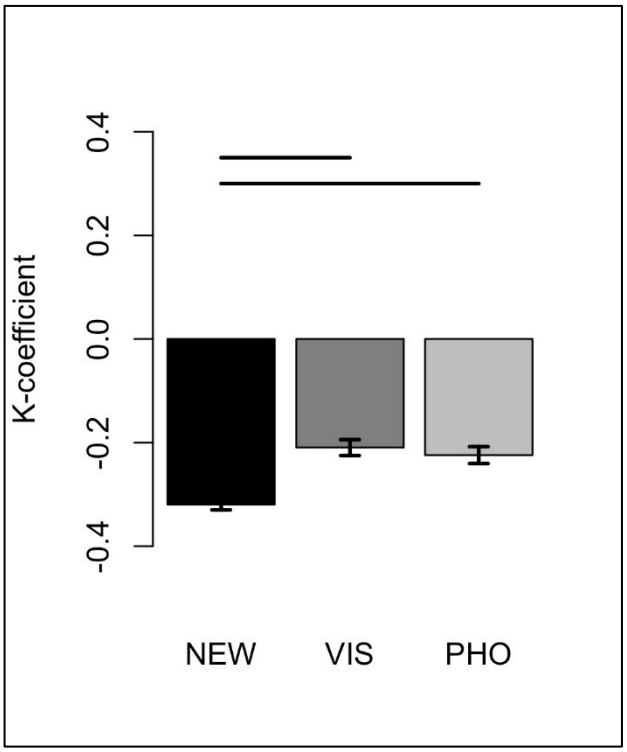

Fig. 3.12 Grafico che rappresenta le medie marginali per i diversi valori di k coefficient nelle tre condizioni.

Invece, per quanto riguarda l'analisi temporale delle singole finestre da 1000 ms, le analisi post-hoc hanno riscontrato il seguente andamento:

- Prima finestra (0-1000 ms): è emerso un effetto significativo della condizione sul k coefficient (ANOVA: f[2.336] = 4.15, p = .017); in particolare è risultato significativo il confronto tra luoghi visitati e immagini nuove (p = .015), mentre non significativi i restanti due (PHO-NEW; PHO-VIS);
- Seconda finestra (1000-2000 ms): è emerso un effetto significativo della condizione sul k coefficient (ANOVA: f[2.335] = 4.52, p = .012); in particolare è risultato significativo il confronto tra luoghi visti in fotografia e immagini nuove (p = .0086), mentre non significativi i restanti due (VIS-NEW; PHO-VIS);
- Terza finestra (2000-3000 ms): non è emerso alcun effetto significativo della condizione sul k coefficient (ANOVA: f[2.336] = 0.89, p = .41);
- Quarta finestra (3000-4000 ms): è emerso un effetto significativo della condizione sul k coefficient (ANOVA: f[2.336] = 4.99, p = .007); in particolare è risultato

significativo il confronto tra luoghi visitati e immagini nuove (p = .005), mentre non significativi i restanti due (PHO-NEW; PHO-VIS);

- Quinta finestra (4000-5000 ms): è emerso un effetto significativo della condizione sul k coefficient (ANOVA: f[2.336] = 9.13, p < .001); in particolare è risultato significativo il confronto tra luoghi visitati e immagini nuove (p < .001) e quello tra luoghi visti in foto e immagini nuove (p < .001), mentre non significativo il restante confronto tra condizioni (PHO-VIS).

Per riassumere, il grafico (fig. 3.13) illustra l'andamento temporale del valore k rispetto alle varie condizioni. Ciascun pallino indica la media del k coefficient in quella determinata finestra temporale, insieme all'errore relativo associato. La misura dell'effetto è risultata significativa in quasi tutte le finestre analizzate. Inoltre, nella quinta finestra, la quale presenta la misura dell'effetto più robusta, sono risultati significativi due confronti tra condizioni (VIS-NEW; PHO-NEW), a differenza delle altre in cui era significativo solo un confronto.

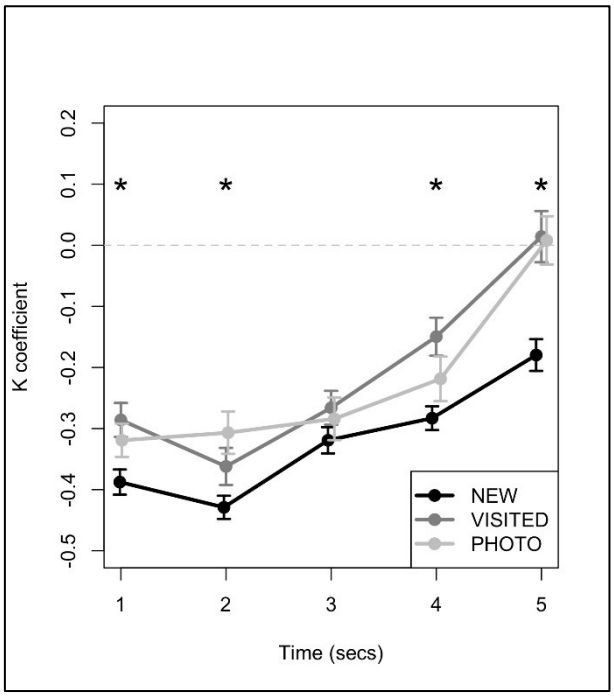

Fig. 3.13 Grafico che illustra l'andamento temporale del k coefficient rispetto alle tre condizioni sperimentali. L'asterisco indica un effetto significativo della condizione in quella determinata finestra.

Sommario

In conclusione, in questo capitolo è stata presentata nel dettaglio la struttura della ricerca condotta, avente come obiettivo l'analisi dei dati oculomotori in relazione a tre condizioni di riconoscimento di scene. È stata quindi effettuata una panoramica sui risultati emersi dalle analisi statistiche effettuate, le quali hanno rilevato numerose differenze significative interindividuali nelle diverse condizioni. Tale riscontro empirico

rappresenta il punto di partenza per interpretare il fenomeno oggetto di analisi, alla luce anche della letteratura scientifica sul tema. Di seguito, dunque, verranno discussi i risultati emersi perseguendo tale obiettivo, con particolare attenzione alle loro implicazioni pratiche e alla possibilità di un'applicazione forense dei dati di eye-tracking.

CAPITOLO 4

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

4.1 Interpretazioni e implicazioni

La ricerca che è stata presentata si è posta l'obiettivo di indagare se e in che modo i movimenti oculari possano costituire una valida misura comportamentale di riconoscimento mnestico di scene. Inoltre, con l'obiettivo di un possibile impiego di tale indice fisiologico nella memory detection forense, si è cercato di indagare se attraverso i movimenti oculari si riesca a distinguere se un luogo è stato visto solamente in fotografia o se è stato visitato.

A livello globale, i risultati emersi hanno confermato la stretta relazione tra indici oculomotori e cognizione. Il modo in cui viene direzionato lo sguardo quando si osserva una scena non è casuale e non è nemmeno legato esclusivamente a meccanismi percettivi bottom-up: i fattori cognitivi e le conoscenze contestuali giocano un ruolo di primo piano, in particolare la memoria (Rayner, 2009). Nel caso del presente studio, è stata riscontrata una marcata differenza nel modo in cui i partecipanti osservavano le scene a seconda che fossero conosciute o meno. Inoltre, sebbene i luoghi fossero suddivisi nelle medesime categorie semantiche ("hotel", ""aula studio", "ufficio", "parking" e "coffee break"), tutti e quattro gli indici oculomotori analizzati hanno riscontrato differenze nelle tre condizioni di presentazione. Questo dato suggerisce che, nella visione di scene complesse, i movimenti oculari riflettono in misura maggiore la memoria autobiografica di riconoscimento piuttosto che meccanismi mnestici di natura semantica. Analogamente, Castelhano e Henderson (2007) hanno evidenziato che, quando vengono osservate in sequenza due scene semanticamente analoghe ma differenti nei dettagli, i movimenti oculari relativi alla seconda non sono influenzati dalla visione della prima. Nel complesso, tali riscontri indicano che il riconoscimento di luoghi costituisce un processo direttamente misurabile attraverso l'analisi oculomotoria.

4.1.1 Differenze oculomotorie tra luoghi familiari e nuovi

In generale, i dati emersi hanno confermato la presenza di repetition effect durante la presentazione di scene già conosciute rispetto agli indici presi in esame (Smith, Hopkins & Squire, 2006). Infatti, i luoghi riconosciuti, a prescindere che appartenessero

alla condizione PHO o VIS, elicitavano fissazioni più lunghe e saccadi di ampiezza ridotta rispetto agli stimoli della condizione NEW. Questo risultato conferma, quindi, che a livello generale, anche da un'analisi sommaria dei movimenti oculari si può riscontrare una differenza significativa tra la visione di luoghi conosciuti e sconosciuti in ragione di questo effetto.

Considerando nello specifico i quattro indici oculomotori esaminati (durata delle fissazioni, ampiezza e velocità delle saccadi, k coefficient), dalle analisi la durata delle fissazioni è risultata essere il parametro con l'effetto più robusto, evidenziando una maggiore capacità di discriminare tra le diverse condizioni sperimentali rispetto agli altri parametri. In linea con il repetition effect, è risultato che gli stimoli nuovi evocano fissazioni più brevi rispetto alla visione di luoghi conosciuti.

L'analisi delle finestre temporali da 1000 ms ha permesso inoltre di analizzare l'andamento della durata delle fissazioni durante l'intero arco di visione dello stimolo, per tutte le condizioni sperimentali. Come rappresentato anche dai grafici precedentemente presentati (fig. 3.6), il confronto tra stimoli nuovi e stimoli conosciuti risulta significativo in quasi tutte le finestre temporali analizzate. In particolare, la prima finestra di 1000 ms risulta quella con l'effetto più robusto, sia nel confronto VIS-NEW che in quello PHO-NEW. Come evidenziato anche da Millen & Hancock (2019), la durata della prima fissazione riflette più marcatamente il processo di riconoscimento in quanto porta ad un processo di orientamento attentivo involontario. Tale aspetto è fondamentale per l'ambito forense, in quanto permette di impiegare questo indice al netto di tentativi di manipolazione della procedura di analisi oculomotoria.

Un dato peculiare emerge dall'andamento temporale delle fissazioni: il confronto tra stimoli conosciuti e nuovi nell'ultima finestra temporale risulta simile all'effetto riscontrato nella prima finestra temporale. Nei primi 1000 ms, la maggiore durata delle fissazioni sottende l'elaborazione cognitiva dovuta ai processi di riconoscimento mnestico; il ruolo dell'ultima finestra, invece, non è chiaro e potrebbe ipoteticamente riflettere un processo di consolidamento in cui lo sguardo ritorna su elementi chiave al fine di rinforzare il ricordo. Si tenga comunque presente che, se nei primissimi millisecondi i dati oculomotori riflettono processi neurali automatici; man mano che il tempo scorre intervengono processi cognitivi di ordine superiore che possono andare a influenzare a vari livelli gli indici oculari (Inhoff & Radach, 1998). Nell'ottica di

impiegare la durata delle fissazioni come indice fisiologico nella memory detection, è preferibile focalizzarsi su ciò che emerge nella prima finestra temporale, in quanto parametri più tardivi sono più facilmente soggetti al rischio di manipolazione volontaria da parte del soggetto (Millen & Hancock, 2019).

Per quanto riguarda l'ampiezza e la velocità delle saccadi, pur essendo due indici analizzati separatamente, essi hanno mostrato un andamento affine, sia nell'intera finestra di 5000 ms sia in quelle da 1000 ms. Ampiezza e velocità delle saccadi presentano un andamento analogo in quanto sono parametri legati tra loro dal punto di vista fisiologico, a causa dell'effetto *main sequence* (Pierce, Clementz & McDowell, 2019). Il main sequence è un fenomeno che lega i tre parametri principali dei movimenti saccadici: all'aumentare dell'ampiezza di una saccade, aumentano anche la sua durata e la sua velocità (fig. 4.1). Questo è un fenomeno fisiologico universale, riscontrato anche in diverse specie di animali, che rappresenta un compromesso tra velocità e accuratezza. Infatti, durante la saccade, l'input visivo viene soppresso (fenomeno noto come soppressione saccadica; Wurtz, 2008); per questo il cervello programma movimenti saccadici che devono essere abbastanza veloci da ridurre al minimo il tempo in cui la visione è disturbata, ma al tempo stesso sufficientemente precisi per centrare il punto desiderato.

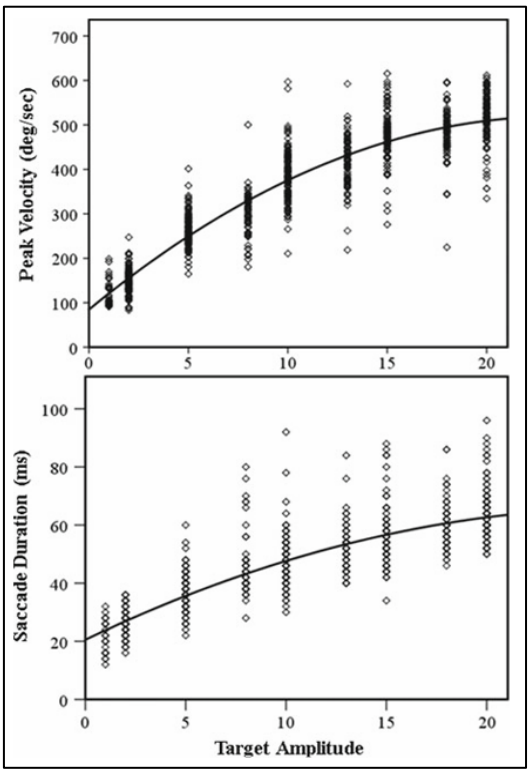

Fig. 4.1 I grafici rappresentano la relazione che lega i parametri saccadici: ampiezza e velocità (in alto), ed ampiezza e durata (in basso).

Fonte: Pierce, Clementz & McDowell (2019)

Sia ampiezza che velocità delle saccadi si sono dimostrate buoni discriminatori tra luoghi conosciuti e mai visti, con i primi che presentavano movimenti meno ampi e rapidi rispetto ai secondi; ciò, coerentemente con il repetition effect, potrebbe essere dovuto alla

necessità di un'esplorazione visiva quanto più vasta possibile di fronte ad uno stimolo sconosciuto.

A livello temporale, l'andamento per velocità ed ampiezza saccadica è risultato complementare rispetto alla durata delle fissazioni. Infatti, nelle condizioni VIS-NEW e PHO-NEW, il confronto tra velocità e ampiezza saccadica è emerso non significativo nella prima finestra temporale, mentre gradualmente più robusto per le altre. Ciò significa che la capacità discriminativa di questi due indici risulta più tardiva, emergendo nettamente dopo qualche secondo dall'onset dello stimolo. D'altronde, come evidenziato anche da Kaspar e König (2011), l'esperienza delle stesse immagini modifica in particolar modo l'attenzione visiva esplicita, rendendola meno esplorativa e più localizzata. Ciò suggerisce un'evoluzione temporale nell'organizzazione dello sguardo. Infatti, durante il riconoscimento di una scena, l'esplorazione tramite movimenti saccadici tende a ridursi nel tempo, mentre per una scena sconosciuta rimane più estesa al fine di codificare quante più informazioni possibili dell'immagine, generando così differenze tra condizioni che emergono in maniera più tardiva.

Gli aspetti legati all'esplorazione visiva e all'attenzione esplicita delle scene osservate sono supportati anche dall'analisi del k coefficient, che ha permesso di determinare la distribuzione topografica dello sguardo nel tempo. Innanzitutto, è emerso che in generale l'attenzione dei partecipanti durante l'osservazione delle immagini è stata relativamente diffusa in tutte e tre le condizioni sperimentali, come testimoniato dai valori negativi di k. Tuttavia, si può affermare che stimoli nuovi elicitano un'esplorazione dell'immagine ancora più diffusa rispetto a stimoli riconosciuti. Tale differenza risulta più marcata con il passare del tempo: inizialmente, nella prima finestra temporale, l'attenzione del soggetto in ogni caso è più esplorativa, mentre tende a diventare molto più focalizzata se il luogo osservato trova riscontro nella memoria. Come testimoniato dalla letteratura, i primi istanti di osservazione di un'immagine sono caratterizzati da un'ampia esplorazione dell'immagine, mossa principalmente da fattori esogeni; in seguito, si passa a ispezioni più focali mosse da fattori endogeni, come può essere appunto il ricordo autobiografico (Krejtz et al., 2016; Krejtz et al., 2017). Ecco quindi che, a livello topografico, l'esplorazione visiva segue un andamento simile a quello riscontrato per ampiezza e velocità delle saccadi: il confronto tra stimoli nuovi e conosciuti (sia VIS che PHO) risulta maggiormente marcato e dunque più informativo dopo alcuni secondi

dall'onset dello stimolo. Ciononostante, già dai primi millisecondi si possono ottenere informazioni significative: ad esempio, la differenza tra stimoli nuovi e luoghi visitati nella prima finestra temporale è molto utile in quanto è indice della presenza di una rappresentazione autobiografica della scena precedentemente esplorata e dunque del suo rapido riconoscimento. Questo è un aspetto rilevante, considerando il fatto che, come si è detto per le fissazioni, l'analisi dei primi millisecondi di eye-tracking potrebbe essere la più importante nel contesto forense, per prevenire il rischio di falsamento dei dati.

In sintesi, sulla base delle analisi degli indici considerati, si può concludere che l'andamento temporale delle differenze riscontrate rispetto a fissazioni e saccadi per stimoli conosciuti (VIS/PHO) e nuovi (NEW) risulta opposto: più marcato nella prima e ultima finestra per la durata delle fissazioni, mentre più sostanziale dopo i primi 1000 ms per l'ampiezza e velocità saccadica. La letteratura ha evidenziato che le fissazioni sono l'indice oculomotorio più precoce e automatico di riconoscimento, che evidenzia effetti significativi già sotto i 1000 ms e prima che il soggetto abbia consapevolezza del ricordo (Hannula & Ranganath, 2009). Le saccadi, invece, sembrano riflettere processi più tardivi e strategici di esplorazione visiva, legati a meccanismi attentivi espliciti e mediati dall'ippocampo al fine di ottimizzare la raccolta di informazioni visive (Lucas, Duff & Cohen, 2019). I risultati supportano l'idea che la memoria sia relata ai movimenti oculari in modo temporalmente differenziato: le fissazioni riflettono un accesso precoce e automatico all'informazione mnestica, mentre le saccadi indicano un aggiustamento esplorativo più tardivo e strategico. Anche il k coefficient, come evidenziato, conferma che con il passare del tempo i fattori endogeni tendono a prevalere nel guidare i movimenti oculari durante l'esplorazione, ampliando progressivamente la differenza tra le condizioni OLD e NEW. Questo andamento nel tempo risulta in linea con la distinzione tra familiarità e recollection (Anderson, 2021). Infatti, gli indici oculomotori precoci potrebbero riflettere la familiarità automatica del soggetto verso lo stimolo, mentre indici più tardivi potrebbero ricondurre a meccanismi cognitivi di ordine superiore legati all'analisi attentiva dello stimolo e, nell'eventualità che sia riconosciuto, alla recollection.

4.1.2 Differenze oculomotorie tra luoghi visitati e visti in foto

Alla luce dei risultati presentati, si può affermare che l'obiettivo del presente lavoro di indagare la possibilità di distinguere tra scene conosciute e nuove attraverso l'analisi dei movimenti oculari è stato positivamente raggiunto. Per quanto riguarda invece la

possibilità di distinguere, attraverso la medesima analisi, tra immagini conosciute di luoghi visitati o visti in foto, i risultati non sono stati altrettanto netti.

Innanzitutto, analizzando la durata delle fissazioni è stato possibile discriminare significativamente se i luoghi osservati erano stati visitati personalmente o solo visti in fotografia. Questo riscontro risulta significativo dal punto di vista applicativo e renderebbe l'eye-tracking una misura più precisa ed affidabile per la memory detection. Infatti, in ambito forense è importante che sia possibile discriminare se un testimone o un indagato riconoscono un determinato luogo chiave perché l'hanno personalmente visitato o solamente perché l'hanno visto in televisione o sui giornali a causa della copertura mediatica. Tuttavia, la durata delle fissazioni è stato l'unico indice per cui è stata riscontrata una differenza significativa tra condizioni VIS e PHO. Inoltre, tale differenza è emersa solo a livello generale, mentre non è stata invece replicata nelle singole finestre temporali da 1000 ms.

È interessante considerare che per tutti e quattro i parametri analizzati, la misura dell'effetto del confronto tra condizioni VIS-NEW è risultata sempre maggiore rispetto al confronto PHO-NEW. In altre parole, l'esperienza diretta di un ambiente modifica più fortemente i movimenti oculari quando si guarda quell'ambiente una seconda volta rispetto a quanto non avvenga con l'osservazione in foto. Tale differenza sottolinea quanto la qualità e la modalità di codifica dell'esperienza influenzino la misura in cui la memoria orienta l'esplorazione visiva successiva. Inoltre, nei risultati difficilmente si riscontra una differenza significativa tra stimoli VIS e PHO, a parte per la durata delle fissazioni. Questo significa che i movimenti oculari messi in atto osservando immagini di scene viste in foto sono molto più simili ai movimenti oculari attuati di fronte a immagini di luoghi visitati rispetto a luoghi nuovi. Se si prende in considerazione il k coefficient, si può apprezzare ulteriormente la stretta relazione che lega i movimenti oculari nella condizione VIS e in quella PHO. Ad ogni finestra temporale, infatti, diventa sempre più sfumata la differenza tra queste due condizioni, fino alla quasi sovrapposizione dei rispettivi valori di k nell'ultima finestra. Apparentemente, in base a quanto detto, questo può apparire come un limite per l'applicazione forense dell'eye-tracking: non riuscire a distinguere se un soggetto ha personalmente visitato una determinata scena può aprire la strada a molti errori giudiziari. Tuttavia, questi risultati evidenziano un'altra implicazione. Nella condizione PHO, infatti, gli stimoli presentati in

fase di codifica e di riconoscimento coincidono perfettamente: non sorprende, quindi, che i movimenti oculari indichino un effetto di memoria. Al contrario, nella condizione VIS il soggetto non dispone della stessa immagine codificata, ma di una rappresentazione mentale derivata dall'esplorazione diretta dell'ambiente. Il fatto che, nonostante questa differenza, sia comunque possibile rilevare un effetto di riconoscimento tramite i movimenti oculari, addirittura superiore, significa che i parametri oculari misurati colgono l'accesso ad un ricordo autobiografico piuttosto che ad una semplice traccia percettiva. Si tenga presente, infatti, che il ricordo autobiografico non è semplicemente una riproduzione fedele di una traccia percettiva, ma un processo ricostruttivo di un'esperienza soggettiva (Conway, 2005). In un interrogatorio o in un contesto investigativo non si presenterà mai la situazione PHO, cioè la presentazione di un'immagine identica vista in precedenza, mentre invece la condizione VIS rappresenta la norma. La similarità degli effetti tra le due condizioni conferma dunque il potenziale dell'eye-tracking come strumento per l'individuazione di ricordi autobiografici.

4.2 Limiti dello studio e prospettive future

La rilevazione e lo studio dei movimenti oculari, come si è visto anche dai risultati della presente ricerca, presentano notevoli vantaggi dal punto di vista applicativo. Innanzitutto, si è visto come l'analisi di specifici indici permette di rilevare processi cognitivi automatici, come la familiarità degli stimoli, senza che sia richiesta la consapevolezza del soggetto. Inoltre, attraverso processi di analisi topografica è possibile determinare come è distribuita l'attenzione del soggetto nell'immagine ed estrapolare se essa è maggiormente focalizzata o distribuita. Infine, analizzando finestre temporali specifiche è stato possibile monitorare l'evoluzione e la specificità nel tempo di ciascuno dei parametri oculomotori di interesse.

Tutti questi aspetti risultano di fondamentale importanza in vista della possibilità di sviluppo di uno strumento standardizzato di analisi dei movimenti oculari da impiegare in ambito forense. Ciononostante, è opportuno puntualizzare anche alcuni limiti nel disegno sperimentale presentato, i quali possano essere presi in considerazione in future ricerche sul tema per l'implementazione dell'accuratezza della procedura.

Innanzitutto, considerando il fine applicativo della presente ricerca, non si può non considerare l'impatto che potrebbero avere contromisure di manipolazione sugli indici

presentati. Lo studio rappresentava un compito ecologico in cui i partecipanti fornivano un sincero giudizio di riconoscimento mentre i loro movimenti oculari venivano registrati. Tuttavia, nella memory detection è frequente che, in vista di vantaggi personali, il soggetto esaminato cerchi attivamente di falsare la registrazione oculomotoria. Si può ipotizzare che gli indici che permettono una discriminazione più precoce del riconoscimento, come la durata delle fissazioni o anche il k coefficient, siano meno affetti dai tentativi di manipolazione attiva perché rispecchiano processi automatici e inconsapevoli di familiarità con lo stimolo (cfr. Millen & Hancock, 2019). Al contrario, l'ampiezza e la velocità delle saccadi, che riflettono maggiormente l'influenza di fattori cognitivi endogeni nell'esplorazione dell'immagine, potrebbero essere quelli più facilmente influenzabili dalla manipolazione. Uno sviluppo futuro della ricerca potrebbe riguardare l'inclusione, nel disegno sperimentale, della possibilità di istruire i partecipanti a cercare attivamente di fingere di non riconoscere nessun luogo mostrato. In questo modo, si potrebbe rilevare in che modo dati oculomotori vengono influenzati e quali risultano più resistenti alla manipolazione, in modo da sviluppare un paradigma applicativo forense quanto più efficace ed efficiente possibile.

In secondo luogo, un aspetto che non è stato incluso nella presente ricerca ma che potrebbe essere interessante valutare in futuro riguarda l'analisi degli scanpath. Analizzare gli scanpath insieme ai parametri oculomotori qui considerati rappresenta un utile spunto per comprendere al meglio se vi sia una differenza significativa nella distribuzione dello sguardo nello spazio dell'immagine rispetto a stimoli riconosciuti o meno. Inoltre, come è stato esposto nel secondo capitolo, la letteratura ha evidenziato una similarità tra i pattern di saccadi e fissazioni al momento della codifica e del riconoscimento di immagini precedentemente osservate (cfr. Noton & Stark, 1971). In aggiunta, è stato anche evidenziato che in alcuni casi, la riproduzione dello scanpath durante il recupero mnestico può essere predittiva dell'accuratezza del ricordo (Johansson et al., 2022). Rispetto al paradigma sperimentale esposto, queste evidenze che legano il recupero agli scanpath potrebbero essere utili per indagare il modo in cui il partecipante osserva le immagini riconosciute a seconda che trovino corrispondenza con una rappresentazione mentale di un'esperienza autobiografica (condizione VIS) o con uno stimolo identico a quello codificato (condizione PHO).

Un'ulteriore considerazione da fare in vista del possibile impiego nella memory detection dell'eye-tracking riguarda un elemento cruciale per i processi mnestici: il tempo. Nello studio presentato vi era uno scarto solamente di un giorno tra il momento della codifica degli stimoli ed il recupero. Tuttavia, in ambito forense, il tempo trascorso tra l'avvenimento di un fatto di interesse e la successiva valutazione sulla memoria in fase processuale può prolungarsi per mesi o anni. È quindi necessario valutare come, con il passare del tempo e quindi il graduale decadimento della traccia di memoria, la relazione tra comportamento oculomotorio e processi mnestici si modifica, con conseguenze sull'accuratezza della procedura di memory detection.

Legato a quest'ultimo punto, va considerato il fatto che più tempo trascorre tra un evento e il successivo recupero, più aumentano le possibilità di errore. Il repetition effect, riscontrato anche nei risultati del presente studio, emerge in forma ippocampo-dipendente quando al soggetto è richiesto un recupero esplicito e attivo del ricordo: in tal caso si manifesta solo se il riconoscimento è corretto e accompagnato da alta fiducia in esso (Smith & Squire, 2008). Nel disegno sperimentale presentato, i partecipanti erano consapevoli del compito di memoria a cui venivano sottoposti. In vista della necessità in ambito processuale di testare la memoria dopo molto tempo e quindi dell'alta possibilità di errori, in futuro sarebbe opportuno prevedere nella ricerca una condizione in cui i movimenti oculari vengono rilevati in modalità free viewing anche durante la seconda fase dell'esperimento, senza richiedere ai partecipanti un giudizio di riconoscimento. In questo modo, il repetition effect si manifesterebbe in maniera ippocampo-indipendente, dunque svincolato rispetto alla loro consapevolezza sul ricordo e anche alla possibilità di errore (Smith & Squire, 2017). Eventualmente, il giudizio di riconoscimento potrebbe essere richiesto successivamente alla presentazione di tutte le immagini, e si potrebbe così indagare l'accuratezza delle risposte consapevoli e confrontarla con i dati oculomotori.

Infine, un ultimo aspetto che non è stato qui valutato riguarda l'entità dell'effetto di altri fattori che possono intervenire nel controllo dei movimenti oculari. D'altronde, come è stato discusso in base alla letteratura sulle priority map, vari processi cognitivi superiori vengono integrati con caratteristiche visive di basso livello per coordinare i movimenti oculari (Ipata et al., 2009). Le caratteristiche fisiche degli stimoli, come forme, colori, luminosità, potrebbero costituire delle possibili variabili confondenti che influenzano il modo in cui viene direzionato lo sguardo durante la visione delle immagini. È opportuno

quindi analizzare tali aspetti attraverso delle mappe di salienza che consentano di evidenziare quali aree per ogni immagine siano maggiormente oggetto di osservazione a causa delle loro caratteristiche intrinseche. Oltre alla salienza, all'estremo opposto va considerato il peso che possono esercitare le conoscenze semantiche sul materiale presentato. Nella procedura sperimentale descritta, per assicurarsi che ciascuna immagine elicitasse movimenti oculari ascrivibili al riconoscimento episodico, sono state impiegate in tutte le condizioni immagini di luoghi appartenenti alle medesime categorie semantiche (hotel, uffici, …). In futuro, si potrebbe fare in modo di presentare solamente un set di immagini a tre gruppi di partecipanti diversi: chi ha visitato il luogo, chi l'ha osservato solamente in foto, e chi non l'ha mai visto. Così facendo, si potrebbe ulteriormente ridurre l'impatto di eventuali variabili confondenti legate alle caratteristiche del materiale utilizzato.

Per concludere, allo stato attuale rimangono ancora numerosi gli aspetti da approfondire per garantire lo sviluppo di uno strumento scientifico di applicazione forense che risulti al contempo valido ed efficace. Ciononostante, i risultati ottenuti delineano una prospettiva incoraggiante nell'ambito della memory detection. I movimenti oculari, infatti, offrono molteplici possibilità applicative, sia per la loro praticità d'uso sia per la varietà dei parametri analizzabili, e si configurano così come una risorsa significativa nel mondo della psicologia forense.

CONCLUSIONI

In ambito forense, e in particolare nel contesto penale, il principio che deve guidare il giudice al fine di arrivare ad una sentenza finale è racchiuso in una formula*: "oltre ogni ragionevole dubbio"*. Per tendere a questo criterio generale, è necessario che, nel caso dell'ascolto di un testimone o di un sospettato, vengano raccolte deposizioni che siano quanto più accurate ed affidabili possibili, in modo da ridurre al minimo il rischio di errori giudiziari (Sartori, 2021a). A questo scopo, le tecniche di memory detection permettono, attraverso la rilevazione di indici fisiologici, di determinare se un ricordo è presente nella memoria di un soggetto senza richiedere una risposta esplicita.

Il presente studio ha indagato la possibilità di impiegare il comportamento oculomotorio nella memory detection come indice di riconoscimento di luoghi. Può lo sguardo rivelare se un individuo è stato sulla scena di un crimine?

La ricerca presentata si è posta come uno studio pilota per rispondere a tale quesito, e i risultati sono stati promettenti. I partecipanti, osservando immagini di luoghi appartenenti a tre diverse condizioni (luoghi visitati, visti in foto oppure sconosciuti), hanno mostrato molte differenze significative rispetto a quattro parametri misurati: durata delle fissazioni, ampiezza e velocità delle saccadi, k coefficient. Tali differenze nella maggioranza dei casi hanno permesso di discriminare i luoghi riconosciuti da quelli mai visti.

Questo riscontro, tuttavia, non è sufficiente in sede di valutazione penale: per sapere se un soggetto è stato fisicamente in una scena di interesse processuale, sarebbe necessario comprendere non solo se riconosce l'immagine del luogo, ma anche se il ricordo che ne ha deriva da un'esperienza reale o da una conoscenza indiretta tramite i mass media. In questo senso, nella ricerca si è posto anche l'obiettivo di indagare in che misura i movimenti oculari riuscissero a fornire indizi sull'origine di un riconoscimento di scena. Purtroppo, i risultati del discrimine tra luoghi visitati e visti in fotografia tramite il comportamento oculomotorio non sono stati così netti. D'altra parte, risulta comunque incoraggiante il fatto che i parametri oculomotori siano così simili nelle due condizioni e così nettamente diversi rispetto all'osservazione di luoghi sconosciuti: ciò conferma il potenziale dell'eye-tracking nel rilevare nella memoria del soggetto ricordi autobiografici di esperienze, codificate come rappresentazioni mentali di scene del cui riconoscimento i movimenti oculari possono essere indicatori.

Attraverso il presente studio si è riscontrato come gli occhi permettano di ottenere molte più informazioni di quanto si possa immaginare: non sono semplicemente organi percettivi, ma vere e proprie finestre sulla cognizione e sul funzionamento cerebrale. Da decenni i ricercatori indagano la relazione tra sguardo e cervello e scoprono quanto indissolubilmente siano legati. Ciò vale anche per una facoltà universale fondamentale per la sopravvivenza, che spesso viene data per scontata: la memoria autobiografica. I risultati emersi confermano che i movimenti oculari rappresentano un indicatore sensibile dei processi di riconoscimento mnestico di scene. Il comportamento oculomotorio riflette dunque l'attivazione di meccanismi cognitivi superiori implicati nel riconoscimento e nella valutazione mnestica del materiale osservato.

Dal punto di vista applicativo, le evidenze sperimentali raccolte aprono a prospettive di grande interesse per l'ambito forense. Tuttavia, devono essere mossi ancora molti passi in avanti per garantire a livello applicativo quell'accuratezza richiesta in ambito processuale. Sono necessari ulteriori studi che possano sondare l'intera gamma di applicabilità dell'eye-tracking in diverse condizioni quanto più simili alla realtà processuale possibili, di modo da garantire l'accuratezza della procedura.

Certamente prendere in considerazione i movimenti oculari come misura covert di memoria permette di ampliare la rosa di indici fisiologici misurabili e utili nella memory detection. Ciascuno di essi offre intrinseci aspetti peculiari che li rendono più o meno vantaggiosi rispetto a determinate applicazioni. In quest'ottica, disporre di una pluralità di indici fisiologici rappresenta un vantaggio, poiché la loro integrazione consente di rafforzare l'affidabilità complessiva delle misure e di adattarle meglio alle diverse esigenze applicative. In tal senso, la misurazione e l'analisi di più indici diversi contemporaneamente permetterebbe di compensare i limiti di ciascuno e aumentare così l'accuratezza della valutazione.

In conclusione, questo studio vuole porsi come un tassello nell'ampio bacino di ricerca sulla relazione tra memoria e movimenti oculari, con uno sguardo rivolto alle potenzialità applicative nel campo della memory detection. In un ambito delicato come quello della psicologia forense è fondamentale disporre di dati scientifici accurati e fondati. In questa direzione, l'integrazione di prospettive provenienti da diverse discipline, dalle neuroscienze cognitive alla psicologia forense, potrà favorire lo sviluppo di strumenti più completi e affidabili. Con la presente ricerca si è perseguito questo

obiettivo, con l'auspicio che in futuro tali conoscenze possano tradursi in strumenti utili a supportare i giudici nelle loro valutazioni, superando la soglia del ragionevole dubbio.

BIBLIOGRAFIA

* fonti non direttamente consultate

*Aggleton, J. P., & Brown, M. W. (1999). Episodic memory, amnesia, and the hippocampal-anterior thalamic axis. *The Behavioral and brain sciences*, *22*(3), 425–489. https://doi.org/10.1017/S0140525X99002034

Alexander, R.G., & Martinez-Conde, S. (2019). Fixational Eye Movements. In C. Klein & U. Ettinger (Eds.), *Eye Movement Research: An Introduction to its Scientific Foundations and Applications*. Cham, Switzerland: Springer Nature (pp. 73-115). https://doi.org/10.1007/978-3-030-20085-5

Anderson, M.C. (2021). Il recupero. In A. Baddeley, M.W. Eysenck e M.C. Anderson, *La memoria* (2. ed). Bologna: Il mulino (pp. 274-281).

*Atkinson, R. C., & Juola, J. F. (1974). Search and decision processes in recognition memory. In D. H. Krantz, R. C. Atkinson, R. D. Luce, & P. Suppes (Eds.), *Contemporary developments in mathematical psychology: I. Learning, memory and thinking.* San Francisco: W. H. Freeman.

*Atkinson, R.C. e Shiffrin, R.M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K.W. Spence e J.T. Spence (a cura di), *The psychology of learning and motivation: Advances om research amd theory* (vol. 2). New York: Academic Press (pp. 89-195). https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3

Baddeley, A. (2021). Che cos'è la memoria? In A. Baddeley, M.W. Eysenck e M.C. Anderson, *La memoria* (2. ed). Bologna: Il mulino (pp. 11-28).

Ben-Shakhar, G. (2012). Current research and potential applications of the concealed information test: An overview. *Frontiers in Psychology, 3,* Article 342. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00342

Bernardis, P., Grassi, M., & Pearson, D. G. (2025). Differential eye movements and greater pupil size during mental scene construction in autobiographical recall.

Neuropsychologia, *211*, 109117. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2025.109117

Bogler, C., Zangrossi, A., Miller, C., Sartori, G., & Haynes, J. D. (2024). Have you been there before? Decoding recognition of spatial scenes from fMRI signals in precuneus. *Human brain mapping*, *45*(7), e26690. https://doi.org/10.1002/hbm.26690

Brockmole, J. R., & Le-Hoa Võ, M. (2010). Semantic memory for contextual regularities within and across scene categories: evidence from eye movements. *Attention, perception & psychophysics*, *72*(7), 1803–1813. https://doi.org/10.3758/APP.72.7.1803

*Castelhano, M. S., & Henderson, J. M. (2007). Initial scene representations facilitate eye movement guidance in visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 33*(4), 753–763. https://doi.org/10.1037/0096-1523.33.4.753

*Cavanna, A. E., & Trimble, M. R. (2006). The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain : a journal of neurology*, *129*(Pt 3), 564–583. https://doi.org/10.1093/brain/awl004

Conway, M. A. (2005). Memory and the self. *Journal of Memory and Language, 53*(4), 594–628. https://doi.org/10.1016/j.jml.2005.08.005

*Conway M. A. (2009). Episodic memories. *Neuropsychologia*, *47*(11), 2305–2313. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.02.003

*Conway, M. A., & Pleydell-Pearce, C. W. (2000). The construction of autobiographical memories in the self-memory system. *Psychological review*, *107*(2), 261–288. https://doi.org/10.1037/0033-295X.107.2.261

Corbetta, M., Akbudak, E., Conturo, T. E., Snyder, A. Z., Ollinger, J. M., Drury, H. A., Linenweber, M. R., Petersen, S. E., Raichle, M. E., Van Essen, D. C., & Shulman, G. L. (1998). A common network of functional areas for attention and eye movements. *Neuron*, *21*(4), 761–773. https://doi.org/10.1016/s0896-6273(00)80593-0

*Eizenman, M., Hallett, P. E., & Frecker, R. C. (1985). Power spectra for ocular drift and tremor. *Vision research*, *25*(11), 1635–1640. https://doi.org/10.1016/0042-6989(85)90134-8

Engbert, R., & Kliegl, R. (2003). Microsaccades uncover the orientation of covert attention. *Vision research*, *43*(9), 1035–1045. https://doi.org/10.1016/s0042-6989(03)00084-1

Foulsham T. (2015). Eye movements and their functions in everyday tasks. *Eye (London, England)*, *29*(2), 196–199. https://doi.org/10.1038/eye.2014.275

*Green, D.M. & Swets, J.A. (1966). *Signal Detection Theory and Psychophysics*. New York: Wiley.

Greenlee, M.W. & Kimmig, H. (2019). Visual Perception and Eye Movements. In C. Klein & U. Ettinger (Eds.), *Eye Movement Research: An Introduction to its Scientific Foundations and Applications*. Cham, Switzerland: Springer Nature (pp. 165-196). https://doi.org/10.1007/978-3-030-20085-5

Hannula, D. E., Althoff, R. R., Warren, D. E., Riggs, L., Cohen, N. J., & Ryan, J. D. (2010). Worth a glance: using eye movements to investigate the cognitive neuroscience of memory. *Frontiers in human neuroscience*, *4*, 166. https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00166

Hannula, D. E., & Ranganath, C. (2009). The eyes have it: hippocampal activity predicts expression of memory in eye movements. *Neuron*, *63*(5), 592–599. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.08.025

Hayhoe, M., & Ballard, D. (2005). Eye movements in natural behavior. *Trends in cognitive sciences*, *9*(4), 188–194. https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.02.009

Hutton, S. B. (2019). Eye Tracking Methodology. In C. Klein & U. Ettinger (Eds.), *Eye Movement Research: An Introduction to its Scientific Foundations and Applications*. Cham, Switzerland: Springer Nature (pp. 277-308). https://doi.org/10.1007/978-3-030-20085-5

Inhoff, A. W., & Radach, R. (1998). Definition and computation of oculomotor measures in the study of cognitive processes. In G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception* (pp. 29–53). Elsevier Science Ltd. https://doi.org/10.1016/B978-008043361-5/50003-1

Ipata, A. E., Gee, A. L., Bisley, J. W., & Goldberg, M. E. (2009). Neurons in the lateral intraparietal area create a priority map by the combination of disparate signals. *Experimental Brain Research, 192*(3), 479–488. https://doi.org/10.1007/s00221-008-1557-8

Irwin, D. E. (2004). Fixation Location and Fixation Duration as Indices of Cognitive Processing. In J. M. Henderson & F. Ferreira (Eds.), *The interface of language, vision, and action: Eye movements and the visual world* (pp. 105–133). Psychology Press.

*Itti, L., & Koch, C. (2000). A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision research*, *40*(10-12), 1489–1506. https://doi.org/10.1016/s0042-6989(99)00163-7

*Jacoby, L. L., & Dallas, M. (1981). On the relationship between autobiographical memory and perceptual learning. *Journal of Experimental Psychology: General, 110*(3), 306–340. https://doi.org/10.1037/0096-3445.110.3.306

Johansson, R., Holsanova, J., Dewhurst, R., & Holmqvist, K. (2012). Eye movements during scene recollection have a functional role, but they are not reinstatements of those produced during encoding. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *38*(5), 1289–1314. https://doi.org/10.1037/a0026585

Johansson, R., Nyström, M., Dewhurst, R., & Johansson, M. (2022). Eye-movement replay supports episodic remembering. *Proceedings. Biological sciences*, *289*(1976), 20220964. https://doi.org/10.1098/rspb.2022.0964

Kafkas, A., & Montaldi, D. (2011). Recognition memory strength is predicted by pupillary responses at encoding while fixation patterns distinguish recollection from familiarity. *Quarterly journal of experimental psychology (2006)*, *64*(10), 1971–1989. https://doi.org/10.1080/17470218.2011.588335

Kaspar, K., & König, P. (2011). Overt attention and context factors: the impact of repeated presentations, image type, and individual motivation. *PloS one*, *6*(7), e21719. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021719

Klein, C., & Ettinger, U. (Eds.). (2019). *Eye Movement Research: An Introduction to its Scientific Foundations and Applications*. Cham, Switzerland: Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20085-5

*Koch, C., & Ullman, S. (1985). Shifts in selective visual attention: towards the underlying neural circuitry. *Human neurobiology*, *4*(4), 219–227.

Krejtz, K., Çöltekin, A., Duchowski, A., & Niedzielska, A. (2017). Using Coefficient to Distinguish Ambient/Focal Visual Attention During Cartographic Tasks. *Journal of eye movement research*, *10*(2), 10.16910/jemr.10.2.3. https://doi.org/10.16910/jemr.10.2.3

Krejtz, K., Duchowski, A. T., Krejtz, I., Szarkowska, A., & Kopacz, A. (2016). Discerning ambient/focal attention with coefficient *K*. *ACM Transactions on Applied Perception, 13*(3), 11–20. https://doi.org/10.1145/2896452

Lambon Ralph, M. A., Jefferies, E., Patterson, K., & Rogers, T. T. (2017). The neural and computational bases of semantic cognition. *Nature Reviews Neuroscience, 18*(1), 42–55. https://doi.org/10.1038/nrn.2016.150

Lancry-Dayan, O. C., Ben-Shakhar, G., & Pertzov, Y. (2023). The promise of eye-tracking in the detection of concealed memories. *Trends in cognitive sciences*, *27*(1), 13–16. https://doi.org/10.1016/j.tics.2022.08.019

Lencer, R., Sprenger, A., & Trillenberg, P. (2019). Smooth Eye Movements in Humans: Smooth Pursuit, Optokinetic Nystagmus and Vestibular Ocular Reflex. In C. Klein & U. Ettinger (Eds.), *Eye Movement Research: An Introduction to its Scientific Foundations and Applications*. Cham, Switzerland: Springer Nature (pp. 117-63). https://doi.org/10.1007/978-3-030-20085-5

Lisi, M. (2017). L'analisi dei movimenti oculari come strumento di indagine dei processi cognitivi. In P. Bisiacchi & A. Vallesi (a cura di), *Il cervello al lavoro. Nuove prospettive in neuropsicologia*. Bologna: Il Mulino (pp. 35–52).

* Loftus, G. R., & Mackworth, N. H. (1978). Cognitive determinants of fixation location during picture viewing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 4*(4), 565–572. https://doi.org/10.1037/0096-1523.4.4.565

Lucas, H. D., Duff, M. C., & Cohen, N. J. (2019). The Hippocampus Promotes Effective Saccadic Information Gathering in Humans. *Journal of cognitive neuroscience*, *31*(2), 186–201. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01336

Lykken, D. T. (1959). The GSR in the detection of guilt. *Journal of Applied Psychology, 43*(6), 385–388. https://doi.org/10.1037/h0046060

*Mandler, G. (1980). Recognizing: The judgment of previous occurrence. *Psychological Review, 87*(3), 252–271. https://doi.org/10.1037/0033-295X.87.3.252

McDermott, K. B., Szpunar, K. K., & Christ, S. E. (2009). Laboratory-based and autobiographical retrieval tasks differ substantially in their neural substrates. *Neuropsychologia*, *47*(11), 2290–2298. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.12.025

Millen, A. E., & Hancock, P. J. B. (2019). Eye see through you! Eye tracking unmasks concealed face recognition despite countermeasures. *Cognitive research: principles and implications*, *4*(1), 23. https://doi.org/10.1186/s41235-019-0169-0

Millen, A. E., Hope, L., & Hillstrom, A. P. (2020). Eye spy a liar: assessing the utility of eye fixations and confidence judgments for detecting concealed recognition of faces, scenes and objects. *Cognitive research: principles and implications*, *5*(1), 38. https://doi.org/10.1186/s41235-020-00227-4

*Montaldi, D., Spencer, T. J., Roberts, N., & Mayes, A. R. (2006). The neural system that mediates familiarity memory. *Hippocampus*, *16*(5), 504–520. https://doi.org/10.1002/hipo.20178

*Moscovitch, M., Cabeza, R., Winocur, G., & Nadel, L. (2016). Episodic Memory and Beyond: The Hippocampus and Neocortex in Transformation. *Annual review of psychology*, *67*, 105–134. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143733

*Nairne J. S. (1990). A feature model of immediate memory. *Memory & cognition*, *18*(3), 251–269. https://doi.org/10.3758/BF03213879

*Nairne J. S. (2002). Remembering over the short-term: the case against the standard model. *Annual review of psychology*, *53*, 53–81. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135131

*Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology.* Appleton-Century-Crofts; trad. it. *Psicologia cognitivista*. Firenze: A. Martello – Giunti, 1976.

Noton, D., & Stark, L. (1971). Scanpaths in eye movements during pattern perception. *Science (New York, N.Y.)*, *171*(3968), 308–311. https://doi.org/10.1126/science.171.3968.308

Nuthmann A. (2017). Fixation durations in scene viewing: Modeling the effects of local image features, oculomotor parameters, and task. *Psychonomic bulletin & review*, *24*(2), 370–392. https://doi.org/10.3758/s13423-016-1124-4

*Osugi, A. (2011). Daily application of the Concealed Information Test: Japan. In B. Verschuere, G. Ben-Shakhar, & E. Meijer (Eds.), *Memory detection: Theory and application of the Concealed Information Test* (pp. 253–275). Cambridge, UK: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511975196

*Parker, R. E. (1978). Picture processing during recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance,* *4*(2), 284–293. https://doi.org/10.1037/0096-1523.4.2.284

Pedziwiatr, M. A., Kümmerer, M., Wallis, T. S. A., Bethge, M., & Teufel, C. (2021). Meaning maps and saliency models based on deep convolutional neural networks are insensitive to image meaning when predicting human fixations. *Cognition*, *206*, 104465. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2020.104465

*Peirce, J., Gray, J. R., Simpson, S., MacAskill, M., Höchenberger, R., Sogo, H., Kastman, E., & Lindeløv, J. K. (2019). PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. *Behavior research methods*, *51*(1), 195–203. https://doi.org/10.3758/s13428-018-01193-y

Peth, J., Suchotzki, K., & Gamer, M. (2016). Influence of countermeasures on the validity of the Concealed Information Test. *Psychophysiology*, *53*(9), 1429–1440. https://doi.org/10.1111/psyp.12690

Pierce, J.E., Clementz, B.A., & McDowell, J.E. (2019). Saccades: Fundamentals and Neural Mechanisms. In C. Klein & U. Ettinger (Eds.), *Eye Movement Research: An Introduction to its Scientific Foundations and Applications*. Cham, Switzerland: Springer Nature (pp. 11-71). https://doi.org/10.1007/978-3-030-20085-5

Pouget, P. (2019). Introduction to the study of eye movements. In C. Klein & U. Ettinger (Eds.), *Eye Movement Research: An Introduction to its Scientific Foundations and Applications*. Cham, Switzerland: Springer Nature (pp. 3–10). https://doi.org/10.1007/978-3-030-20085-5

Ramey, M. M., Henderson, J. M., & Yonelinas, A. P. (2025). Episodic memory and semantic knowledge interact to guide eye movements during visual search in scenes: Distinct effects of conscious and unconscious memory. *Psychonomic bulletin & review*, 10.3758/s13423-025-02686-6. Advance online publication. https://doi.org/10.3758/s13423-025-02686-6

Rayner K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly journal of experimental psychology (2006)*, *62*(8), 1457–1506. https://doi.org/10.1080/17470210902816461

Reber P. J. (2013). The neural basis of implicit learning and memory: a review of neuropsychological and neuroimaging research. *Neuropsychologia*, *51*(10), 2026–2042. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.06.019

*Riggs, L.A., & Ratliff, F. (1951). Visual acuity and the normal tremor of the eyes. *Science (New York, N.Y.)*, *114*(2949), 17–18. https://doi.org/10.1126/science.114.2949.17

*Rizzolatti, G., Riggio, L., Dascola, I., & Umiltá, C. (1987). Reorienting attention across the horizontal and vertical meridians: Evidence in favor of a premotor theory of attention. *Neuropsychologia, 25*(1-A), 31–40. https://doi.org/10.1016/0028-3932(87)90041-8

Rugg, M. D., & Vilberg, K. L. (2013). Brain networks underlying episodic memory retrieval. *Current opinion in neurobiology*, *23*(2), 255–260. https://doi.org/10.1016/j.conb.2012.11.005

Sartori G., (2021a). Aspetti metodologici generali. In Sartori G., *La memoria del testimone: dati scientifici utili a Magistrati, Avvocati e consulenti*. Milano: Giuffrè Francis Lefebvre (pp. 7-34).

Sartori G., (2021b). L'amnesia per il crimine. In Sartori G., *La memoria del testimone: dati scientifici utili a Magistrati, Avvocati e consulenti*. Milano: Giuffrè Francis Lefebvre (pp. 191-203).

Schütz, A. C., Braun, D. I., & Gegenfurtner, K. R. (2011). Eye movements and perception: a selective review. *Journal of vision*, *11*(5), 9. https://doi.org/10.1167/11.5.9

Shepardson, S., Dahlgren, K., & Hamann, S. (2023). Neural correlates of autobiographical memory retrieval: An SDM neuroimaging meta-analysis. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, *166*, 59–79. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2023.05.006

Simons, D. J., & Chabris, C. F. (2011). What people believe about how memory works: a representative survey of the U.S. population. *PloS one*, *6*(8), e22757. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022757

*Smith, C. N., Hopkins, R. O., & Squire, L. R. (2006). Experience-dependent eye movements, awareness, and hippocampus-dependent memory. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, *26*(44), 11304–11312. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3071-06.2006

Smith, C. N., & Squire, L. R. (2008). Experience-dependent eye movements reflect hippocampus-dependent (aware) memory. *The Journal of Neuroscience, 28*(48), 12825–12833. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4542-08.2008

Smith, C. N., & Squire, L. R. (2017). When eye movements express memory for old and new scenes in the absence of awareness and independent of hippocampus. *Learning &*

memory (Cold Spring Harbor, N.Y.), *24*(2), 95–103. https://doi.org/10.1101/lm.043851.116

*Sokolov, E. N. (1963). *Perception and the Conditioned Reflex*. New York: Macmillan.

*Sporer, S. L., Penrod, S., Read, D., & Cutler, B. (1995). Choosing, confidence, and accuracy: A meta-analysis of the confidence-accuracy relation in eyewitness identification studies. *Psychological Bulletin, 118*(3), 315–327. https://doi.org/10.1037/0033-2909.118.3.315

*Squire, L. R. (1992). Declarative and nondeclarative memory: Multiple brain systems supporting learning and memory. *Journal of Cognitive Neuroscience, 4*(3), 232–243. https://doi.org/10.1162/jocn.1992.4.3.232

Svoboda, E., McKinnon, M. C., & Levine, B. (2006). The functional neuroanatomy of autobiographical memory: a meta-analysis. *Neuropsychologia*, *44*(12), 2189–2208. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.05.023

*Tulving, E. (1985). Memory and consciousness. *Canadian Psychology / Psychologie canadienne, 26*(1), 1–12. https://doi.org/10.1037/h0080017

*Tulving E. (2002). Episodic memory: from mind to brain. *Annual review of psychology*, *53*, 1–25. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135114

Valentine, T., Pickering, A., & Darling, S. (2003). Characteristics of eyewitness identification that predict the outcome of real lineups. *Applied Cognitive Psychology, 17*(8), 969–993. https://doi.org/10.1002/acp.939

White, J. M., Sparks, D. L., & Stanford, T. R. (1994). Saccades to remembered target locations: an analysis of systematic and variable errors. *Vision research*, *34*(1), 79–92. https://doi.org/10.1016/0042-6989(94)90259-3

*Wise, R. A., & Safer, M. A. (2004). What US Judges Know and Believe About Eyewitness Testimony. *Applied Cognitive Psychology, 18*(4), 427–443. https://doi.org/10.1002/acp.993

*Wise, R. A., & Safer, M. A. (2010). A comparison of what U.S. judges and students know and believe about eyewitness testimony. *Journal of Applied Social Psychology, 40*(6), 1400–1422. https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.2010.00623.x

*Wurtz R. H. (2008). Neuronal mechanisms of visual stability. *Vision research*, *48*(20), 2070–2089. https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.03.021

*Yarbus, A. L. (1967). *Eye movements and vision*. New York: Plenum Press. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-5379-7

*Yonelinas, A. P. (1999). The contribution of recollection and familiarity to recognition and source-memory judgments: A formal dual-process model and an analysis of receiver operating characteristics. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 25*(6), 1415–1434. https://doi.org/10.1037/0278-7393.25.6.1415

Yonelinas, A. P. (2002). The nature of recollection and familiarity: A review of 30 years of research. *Journal of Memory and Language, 46*(3), 441–517. https://doi.org/10.1006/jmla.2002.2864

Zangrossi, A., Cona, G., Celli, M., Zorzi, M., & Corbetta, M. (2021). Visual exploration dynamics are low-dimensional and driven by intrinsic factors. *Communications biology*, *4*(1), 1100. https://doi.org/10.1038/s42003-021-02608-x

SITOGRAFIA

American Psychological Association. (2018, April 19). *Memory*. In APA Dictionary of Psychology. Retrieved from https://dictionary.apa.org/memory

Innocence Project. (s.d.). *Eyewitness misidentification*. Retrieved from https://innocenceproject.org/eyewitness-misidentification/

Lenth, R. V. (2024). *Emmeans: Estimated Marginal Means, Aka Least-Squares Means*. Retrieved from https://CRAN.R-project.org/package=emmeans

R Core Team. (2025). *R: The R Project for Statistical Computing*. Retrieved from https://www.r-project.org/