

Eureka effect e ampiezza dell'attenzione

Alessia Della Gatta

Università degli Studi di Firenze

Introduzione

Chiunque si trovi ad affrontare lo studio dell'optometria si accorge subito come la correzione delle ametropie sia solo una parte di un quadro assai più ampio e affascinante.

In ogni momento, nell'ambiente esterno sono presenti molti più stimoli di quanti il nostro cervello possa elaborare consapevolmente. Fondamentale è, dunque, il ruolo dell'attenzione visiva, che seleziona le porzioni di campo visivo rilevanti per il compito in corso. Si è soliti indicare la porzione di campo visivo a cui si presta attenzione come cono di luce (in inglese spotlight). I confini di questa regione non sono netti, e la sua forma può essere circolare, ellittica o anulare [1]. L'estensione dello spotlight può variare in funzione del compito visivo richiesto: si introduce così il concetto di attentional breadth (ampiezza dell'attenzione). Quando lo spotlight è concentrato su un'area ristretta si ottiene un'elevata risoluzione per i dettagli della scena (narrow attentional breadth); quando invece abbraccia un'area ampia, la risoluzione complessiva si riduce (broad attentional breadth).

Anche la pupilla costituisce una finestra privilegiata sui processi cognitivi, e non soltanto in risposta alla luminosità ambientale. È stato dimostrato che il diametro pupillare varia in funzione del carico cognitivo e persino durante l'esecuzione di compiti motori semplici, come la pressione di un tasto della tastiera [2]: maggiore è lo sforzo, maggiore è la midriasi. Il diametro pupillare risulta inoltre correlato all'ampiezza dell'attenzione nell'elaborazione visiva.

Ogni individuo, poi, analizza scene visive in modo caratteristico, mostrando una tendenza a privilegiare i dettagli oppure la struttura d'insieme. Tale tendenza prende il nome di stile percettivo e può essere classificato come locale (orientato ai dettagli) o globale (orientato alla percezione complessiva della scena). La misurazione dello stile percettivo è di per sé interessante e presenta potenziali implicazioni optometriche. Uno degli strumenti più consolidati per valutarlo è il Navon test.

A queste considerazioni si è affiancato lo studio del cosiddetto momento Eureka, noto anche come momento aha! o intuizione improvvisa. Esso può essere definito come l'emergere improvviso di una nuova idea o prospettiva, accompagnato da una sensazione di piacere [3]. Questo fenomeno consente di riformulare un problema sotto un punto di vista inedito, facilitando il raggiungimento della soluzione. Nell'ambito della visione umana, si parla di Eureka effect quando, all'interno di un'immagine ricca di dettagli, si coglie improvvisamente una struttura complessiva dal significato qualitativamente diverso. Un esempio classico è il cubo di Necker, figura ambigua interpretabile in due modi: la faccia anteriore può essere percepita come quella in alto a destra o quella in basso a sinistra.

In questo lavoro si è studiato il modo in cui i soggetti osservano una scena visiva, esaminandone lo stile percettivo e i movimenti oculari con particolare attenzione al diametro pupillare e all'ampiezza delle fissazioni.

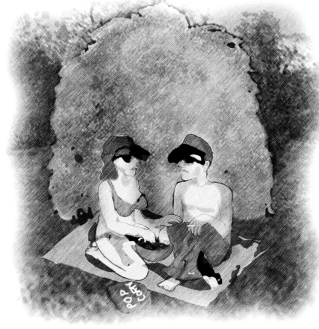
Materiali e metodi

Questo studio di tesi è stato svolto con l'ausilio di un Eye tracker, un dispositivo utile per tracciare la posizione e i movimenti degli occhi, seguendo il movimento delle pupille e misurando anche la loro dimensione. L'Eye tracker utilizzato in questo studio è il Tobii Pro Fusion, un Eye tracker screen-based o fisso, in cui lo strumento è posizionato sullo schermo utilizzato per mostrare gli stimoli visivi. Il soggetto è posto a una distanza di 57 cm dallo schermo sul quale vengono presentati gli stimoli, collegato a un computer portatile dove lo sperimentatore osserva in tempo reale i tracciati oculari dei partecipanti. Per evitare movimenti della testa, è stata utilizzata una mentoniera per permettere ai partecipanti di osservare le immagini solo con i movimenti degli occhi.

L'Eye tracker permette di capire dove il soggetto sta ponendo l'attenzione, creando anche delle aree di interesse (AOI, Areas Of Interest). L'esperimento consiste nel mostrare, ad ogni soggetto, cinque immagini (fig.1) consecutivamente, ognuna presentata tre volte. Le prime due volte ogni immagine ha la durata di 120 secondi, mentre l'ultima ha la durata di 30 secondi. Prima dell'inizio dell'esperimento, ai soggetti viene spiegata la presenza di queste immagini, definite bistabili, dove possono esserci due possibili percezioni. Queste ultime competono tra loro e reclamano il centro della scena, dove giocano un ruolo fondamentale le frequenze spaziali: maggiore è la dimensione, maggiore è la difficoltà di percepire la figura nella sua interezza. I soggetti sono invitati a raccontare ciò che vedono per la durata dell'esperimento. All'interno di ogni immagine, una delle due percezioni è un volto, ad esclusione di una (fig.1a) in cui se ne trovano due. L'obiettivo è proprio la percezione del volto, o dei volti, all'interno di ciascuna immagine, del quale i soggetti vengono a conoscenza solo se il partecipante non raggiunge lo scopo nella prima fase dell'esperimento, ovvero nei primi 120 secondi di visualizzazione dell'immagine. Nel caso in cui, invece, il soggetto riconosce il volto nella prima fase, lo sperimentatore passa direttamente all'ultima visualizzazione dell'immagine. Anche se la terza



(a) Bacio



(b) Einstein



(c) John Wick



(d) Marylin



(e) Robert Plant

Figura 1: Immagini utilizzate nell'esperimento con l'Eye tracker

immagine è stata mostrata per un tempo maggiore, per la nostra analisi risultavano interessanti pochi istanti successivi al riconoscimento. La procedura è la stessa per tutte e cinque le immagini. Al termine di ogni sessione i dati possono essere elaborati dal software Tobii Pro Lab. Le successive analisi sono state svolte con script appositamente realizzati su Matlab.

Il Navon test è stato svolto in questo lavoro di tesi per decretare lo stile percettivo dei partecipanti, ai quali si esplicita su quali stimoli porre l'attenzione. È svolto su un computer posto a 57 cm davanti alla persona con l'ausilio di una mentoniera. Il test è composto da quattro blocchi, ognuno costituito da 32 trial, 16 coerenti e 16 incoerenti, presentati in ordine casuale; in due blocchi il soggetto deve concentrarsi sulle lettere grandi, mentre negli altri due deve concentrarsi sulle piccole[4].

Gli stimoli neri (2) compaiono per 180 ms in quattro differenti posizioni dello schermo bianco (in alto a destra, in alto a sinistra, in basso a destra o in basso a sinistra) rispetto al punto di fissazione centrale. Il risultato del test viene valutato con una formula, in cui vengono divisi gli stimoli in base alla globalità, o località, e alla congruenza, o incongruenza: si hanno così trial

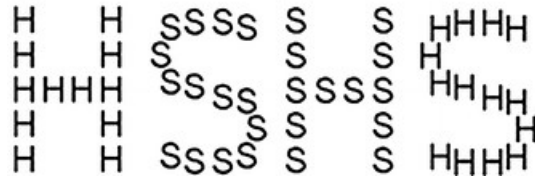


Figura 2: Stimoli del Navon test

globali congruenti, globali incongruenti, locali congruenti e locali incongruenti. Ogni stimolo ha il corrispettivo *reaction time* (RT, in italiano tempo di reazione), ovvero il tempo in cui il soggetto ha risposto. Per ogni categoria è stato calcolato il tempo medio di reazione (RT_M) e sono stati esclusi gli outliers, cioè i reaction times maggiori di tre volte la deviazione mediana assoluta (MAD o, in inglese, *Median Absolute Deviation*). Dal numero di trial, si deriva l'accuratezza media (A_M), data dal rapporto tra il numero di trial corretti (T_C) e il numero di trial totali (T_T). Per ogni categoria è stato derivato anche l'IES, l'Inverse Efficiency Score (in italiano *Punteggio di Efficienza Inversa*), un indicatore composito del tempo medio di reazione e dell'accuratezza media, dato dal loro rapporto. È stata anche calcolata l'interferenza della componente globale sulla componente locale (I_G) e l'interferenza della componente locale su quella globale (I_L). Il risultato del Navon Test è un indice, chiamato indice di globalità (GI), definito come la differenza tra I_L e I_G . Nello specifico, i soggetti con un indice di globalità negativo sono stati definiti "locali", mentre coloro che hanno un indice di globalità positivo sono detti "globali". Il test è stato realizzato utilizzando il pacchetto Psychtoolbox per Matlab[5].

A questo lavoro di tesi hanno partecipato 30 soggetti di età compresa tra i 21 e i 56 anni ($28,2 \pm 9,7$), di cui 11 maschi e 19 femmine. Da questi partecipanti ne è stato escluso uno, in quanto l'Eye tracker non è stato in grado di trovare la posizione della pupilla. Durante la fase di analisi dei parametri dell'Eye tracker, alcuni soggetti sono stati esclusi in qualche immagine poiché mancano dei dati, che l'Eye tracker non è riuscito a rilevare, nelle porzioni di tempo utili per l'analisi stessa. Quindi nei grafici successivamente riportati nella tesi per le varie immagini potrebbero non esserci sempre 29 punti di dati. Lo studio è stato condotto in accordo con la dichiarazione di Helsinki e approvato dal locale comitato etico ("Commissione per l'Etica e l'Integrità nella Ricerca", CNR, 5 Settembre 2024, Prot. n. 0306205).

Risultati

Con il Navon test si misura quanto sia l'interferenza dello stimolo globale (la lettera grande) sullo stimolo locale (le lettere piccole che formano la lettera grande) e del locale sul globale. L'istogramma 3 riporta quanti soggetti hanno ottenuto un determinato risultato con il Navon test, ovvero l'indice di globalità (GI). I valori negativi indicano soggetti definiti "locali", mentre valori positivi

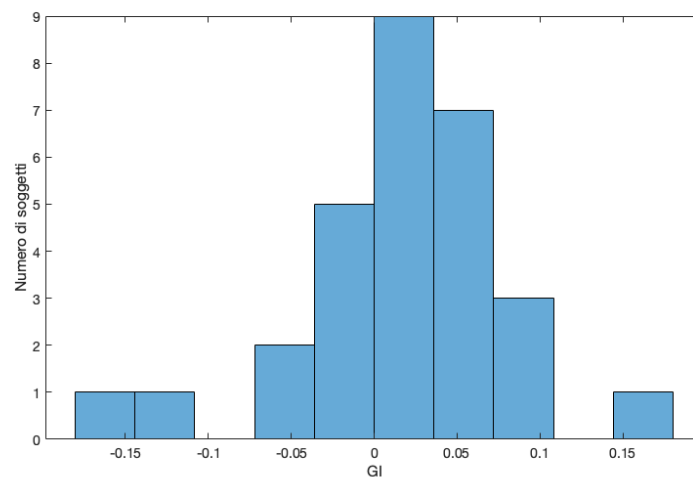


Figura 3: Distribuzione di GI .

indicano soggetti definiti "globali". Dall'istogramma (fig.3), si può notare che la mediana (0.027) è leggermente spostata verso valori positivi, ovvero verso valori globali, come accade anche in un altro studio simile[4]. Inoltre si osserva che la distribuzione assomiglia a una distribuzione normale, altro risultato atteso.

Con l'utilizzo dell'Eye-tracker è stato possibile valutare i movimenti oculari e il diametro pupillare durante l'osservazione di immagini. Il diametro pupillare varia nel tempo, come si può notare in Fig.4, in cui è riportato l'andamento del diametro pupillare del soggetto FG in relazione al tempo in cui osservava l'immagine di Robert Plant. L'andamento è simile tra i vari soggetti e per ogni

immagine. Le tre linee verticali rappresentano, da sinistra verso destra, l'on-

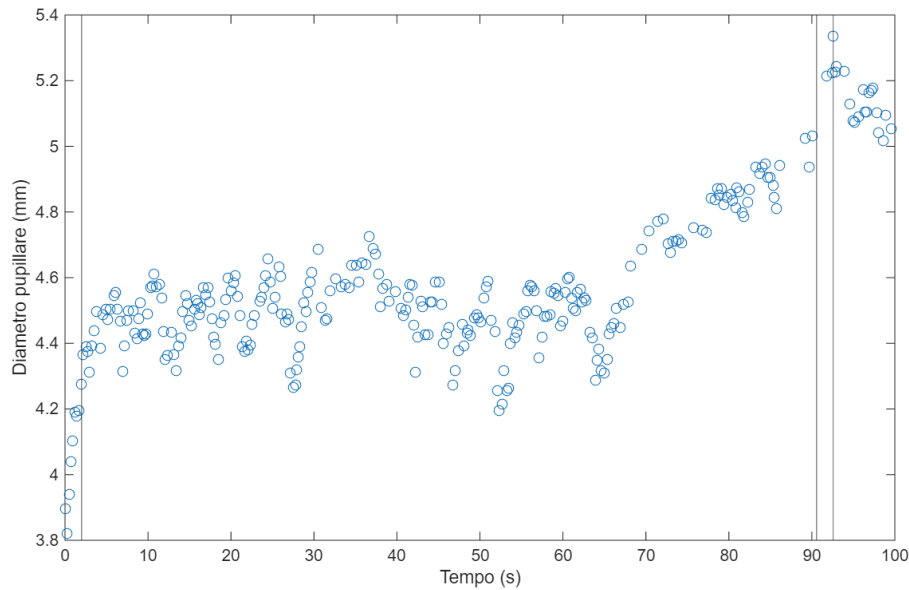


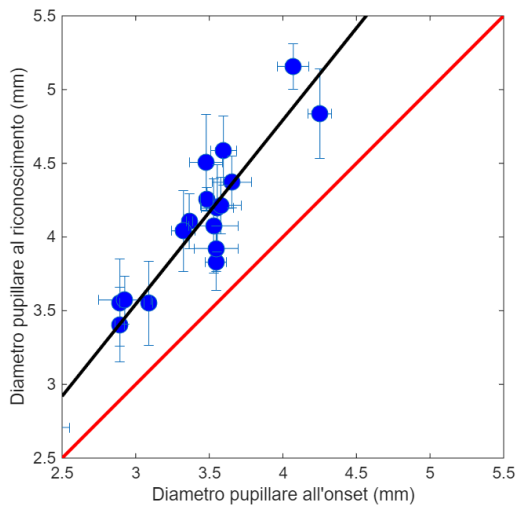
Figura 4: Diametro pupillare in funzione del tempo per il soggetto FG.

set, ovvero due secondi dopo la presentazione dello stimolo, il riconoscimento, cioè quando il soggetto vede il volto all'interno dell'immagine, e la pressione, quando lo sperimentatore segna il riconoscimento stesso. Si è deciso di porre l'istante del riconoscimento due secondi prima della pressione del tasto. Si tratta di un tempo di non facile stima: sicuramente il tempo deve essere maggiore di quello relativo al semplice tempo di reazione ottenibile a quello che si ha quando si chiede a un soggetto di premere un tasto a fronte della percezione di uno stimolo luminoso, che è di circa 200 ms[6]. Dall'andamento in figura si può notare che il diametro pupillare sia maggiore anche in una fase intermedia, probabilmente a causa del carico mentale. Questo aumento temporaneo potrebbe essere dovuto al fatto che il soggetto tenda nuovamente a concentrarsi sul compito, risentendo quindi del carico di lavoro.

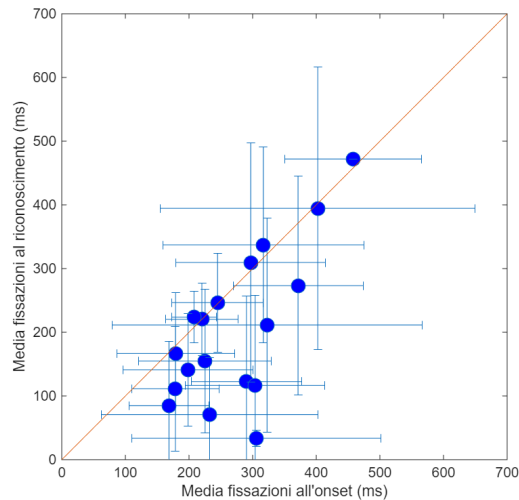
Il grafico 5a riporta il diametro pupillare al riconoscimento in funzione del diametro pupillare all'onset nell'immagine di Robert Plant. In questo esempio si possono vedere la retta di best fit, rappresentata in nero, e la retta d'identità ($y = x$), in rosso. Inoltre è stato inserito per ogni punto sperimentale l'errore dato dalla deviazione standard del diametro pupillare al riconoscimento e all'onset. I punti blu sono i dati sperimentali, mentre la linea rossa è la retta d'identità ($y = x$), che indica i punti in cui il diametro pupillare è uguale nei due momenti considerati. I punti situati al di sopra della linea indicano un aumento del diametro pupillare al riconoscimento rispetto all'onset, mentre

quelli al di sotto una diminuzione. Per tutte le immagini, nella maggior parte dei casi, si può notare un aumento del diametro pupillare al riconoscimento, ovvero in corrispondenza del cosiddetto Eureka effect, rispetto all'onset.

Un altro parametro importante valutato con l'Eye tracker è la durata delle fissazioni, ovvero quanto tempo il soggetto è rimasto fermo a guardare in un punto dell'immagine. Il grafico 5b rappresenta la durata media delle fissazioni al riconoscimento rispetto a quella delle fissazioni all'onset nell'immagine di Robert Plant. I punti rappresentano i dati sperimentali, mentre la linea rossa è la retta d'identità ($y = x$) che indica i punti in cui le fissazioni al riconoscimento e all'onset hanno la stessa durata media. Permette di distinguere i casi in cui le fissazioni sono più lunghe al riconoscimento rispetto all'onset (punti sopra la linea) dai casi in cui sono più corte (punti sotto la linea). La disposizione dei punti, simile in tutti i grafici, mostra che la durata media delle fissazioni diminuisce al riconoscimento rispetto all'onset, cioè che quando il soggetto riconosce il volto fa, in media, fissazioni più corte rispetto a quando sta iniziando a esplorare l'immagine.



(a) Diametro pupillare al riconoscimento in funzione del diametro pupillare all'onset.



(b) Media delle fissazioni al riconoscimento in funzione della media delle fissazioni all'onset.

Figura 5: Grafici relativi all'immagine di Robert Plant.

Conclusioni

Il primo risultato di questo lavoro è che la capacità di sperimentare l'*Eureka effect* è indipendente dallo stile percettivo misurato tramite il Navon test: non emerge infatti alcuna correlazione tra il punteggio al Navon test e la facilità di riconoscimento delle immagini, quantificata tramite il tempo di riconoscimento. Il secondo risultato è che il diametro pupillare aumenta in maniera statisticamente significativa in corrispondenza dell'*Eureka effect*, ovvero nel momento in cui il soggetto riconosce il volto celato all'interno delle immagini bistabili. Questo dato conferma le numerose evidenze sperimentali sulla midriasi associata al riconoscimento di stimoli, estendendo tale fenomeno al dominio delle immagini bistabili, un ambito che, per quanto a nostra conoscenza, non era stato ancora esplorato in letteratura. Per ottenere risultati affidabili è stato necessario controllare diversi fattori confondenti. Per tutta la durata dell'esperimento i soggetti erano invitati a verbalizzare ciò che percepivano, mentre era lo sperimentatore (e non il partecipante) a premere il tasto per il proseguimento della sessione, al fine di eliminare i contributi pupillari legati al carico cognitivo motorio documentati in letteratura. L'illuminazione della stanza e la luminanza del monitor sono state mantenute costanti per l'intera durata dell'esperimento. L'analisi dei dati di eye tracking ha inoltre rivelato che al momento del riconoscimento del volto la durata media delle fissazioni si riduce rispetto alla fase iniziale di esplorazione: i soggetti esplorano inizialmente la scena con movimenti oculari più lenti, mentre al momento dell'insight accelerano la scansione, a indicare una riorganizzazione percettiva rapida della scena visiva. L'eye tracker ha infine consentito di valutare il ruolo delle aree di interesse (*Areas of Interest*, AOI) — identificate negli occhi e nella bocca del volto nascosto — sul tempo di riconoscimento. I soggetti con tempi di riconoscimento più lunghi hanno trascorso una frazione maggiore del tempo al di fuori delle AOI; tuttavia, i soggetti più rapidi non si sono limitati alle AOI, ma hanno esplorato l'immagine nella sua totalità. In modo coerente,

il tempo complessivo trascorso fuori dalle AOI non correla con il tempo di riconoscimento del volto.

Sebbene questo lavoro si collochi all'intersezione tra neuroscienze visive e psicofisica, le sue implicazioni per la pratica optometrica sono concrete e meritano di essere sottolineate. In primo luogo, la pupillometria rappresenta uno strumento non invasivo e di crescente interesse clinico: comprendere in quali condizioni cognitive e percettive il diametro pupillare varia — al di là della risposta alla luce — amplia il quadro interpretativo a disposizione dell'optometrista nell'analisi della risposta pupillare del paziente. In secondo luogo, lo studio del comportamento oculomotore tramite eye tracking durante compiti percettivi complessi fornisce informazioni preziose su come i soggetti esplorano le scene visive. Tali dati possono trovare applicazione nella valutazione delle strategie visive in popolazioni con deficit percettivi o attentivi, nonché nella progettazione di test optometrici più sensibili alla componente cognitiva della visione. Infine, la relazione tra stile percettivo e riconoscimento visivo apre prospettive interessanti per la personalizzazione della correzione ottica e della riabilitazione visiva: sapere se un paziente adotta preferenzialmente una strategia locale o globale nell'elaborazione delle scene potrebbe orientare scelte cliniche più mirate, dalla prescrizione di lenti progressive alla gestione dei pazienti con patologie del campo visivo.

I risultati di questo lavoro aprono inoltre diverse direzioni di ricerca. Dal punto di vista metodologico, sarebbe interessante replicare lo studio su campioni più ampi e su popolazioni clinicamente caratterizzate (ad esempio soggetti con ambliopia, disturbi dello spettro autistico o deficit attentivi) per verificare se le relazioni osservate tra *Eureka effect*, diametro pupillare e stile percettivo si mantengono o si modificano in presenza di alterazioni del processing visivo. Un'ulteriore direzione riguarda l'estensione del paradigma sperimentale ad altre categorie di immagini bistabili, oltre al cubo di Necker e alle immagini di volti nascosti, per valutare la generalizzabilità dei risultati ottenuti. Sarebbe inoltre utile indagare il ruolo dell'*attentional breadth* in modo più diretto, introducendo manipolazioni sperimentali dell'ampiezza dell'attenzione e misurando l'effetto sul tempo di riconoscimento e sulla risposta pupillare, al fine di chiarire il legame tra questi tre costrutti.

Bibliografia

- [1] L. N. Jefferies and V. Di Lollo, “When can spatial attention be deployed in the form of an annulus?,” *Attention, Perception, & Psychophysics*, vol. 77, pp. 413–422, 2015.
- [2] M. Kolnes, A. Uusberg, and S. Nieuwenhuis, “Broadening of attention dilates the pupil,” *Attention, Perception, & Psychophysics*, vol. 86, no. 1, pp. 146–158, 2024.
- [3] Y. Kounios, “The brain science of elusive ‘aha! moments’: What happens in your mind when insight strikes?,” *Scientific American*, vol. 332, no. 3, pp. 20 – 27, 2025.
- [4] C. Gerlach and N. Poirel, “Navon’s classical paradigm concerning local and global processing relates systematically to visual object classification performance,” *Scientific reports*, vol. 8, no. 1, p. 324, 2018.
- [5] M. Kleiner *et al.*, “Visual stimulus timing precision in psychtoolbox-3: Tests, pitfalls and solutions,” *Perception*, vol. 39, no. S, p. 189, 2010.
- [6] J. Shelton and G. P. Kumar, “Comparison between auditory and visual simple reaction times,” *Neuroscience and medicine*, vol. 1, no. 1, pp. 30–32, 2010.