

Minuscoli, inconsci movimenti degli occhi, a lungo sottovalutati, sono fondamentali per la nostra capacità di vedere. E potrebbero rivelare i nostri più reconditi pensieri

# FINESTRE sulla ME

di Susana Martinez-Conde  
e Stephen L. Macknik

## IN SINTESI

- Quando gli occhi fissano un oggetto, continuano a muoversi impercettibilmente secondo modalità che si rivelano essenziali per la visione.
- Per decenni gli scienziati hanno discusso sul significato di questi movimenti oculari, i più ampi dei quali sono detti microsaccadi.
- Gli autori dell'articolo hanno dimostrato che le microsaccadi generano la visibilità quando lo sguardo è fisso, e quanto più sono accentuate e rapide tanto migliore è il loro effetto.
- Poiché gli occhi fissano per l'80 per cento del tempo, le microsaccadi sono indispensabili per la percezione visiva.
- Le microsaccadi possono anche fare luce sui pensieri subliminali. Ricerche recenti indicano che la direzione delle microsaccadi è influenzata da oggetti verso cui siamo inconsciamente attratti, a prescindere da dove stiamo effettivamente guardando.

**M**entre state leggendo queste righe, i vostri occhi si spostano rapidamente da sinistra a destra, intenti a mettere a fuoco in sequenza ciascuna parola. Allo stesso modo, quando guardate il volto di una persona, balzano qua e là, fermandosi brevemente su un occhio, poi sull'altro, sul naso, sulla bocca e su ogni altro tratto del suo viso. Facendo attenzione, potete facilmente individuare questa frequente contrazione dei vostri muscoli oculari mentre osservate una pagina, un volto o una scena.

Ma gli ampi movimenti oculari volontari – le saccadi – sono solo una piccola parte dell'attività quotidiana dei muscoli oculari. I nostri occhi, infatti, si muovono incessantemente anche quando sembrano posati su quella barca a vela che beccheggia all'orizzonte. Quando fissano un oggetto – come fanno per l'80 per cento del tempo quando siamo svegli – gli occhi continuano a muoversi per piccoli scatti, un fenomeno essenziale per vedere. Se potessimo bloccare questi microscopici movimenti mentre fissiamo lo sguardo, la scena statica che osserviamo scomparirebbe alla vista.

Eppure solo di recente i ricercatori hanno cominciato a considerare la profonda importanza di questi involontari «movimenti oculari di fissazione». Per cinquant'anni si è discusso animatamente sulla possibilità che questi movimenti – le «micro-

Jens Nieth Zefa Corbis (foto); Jan Christensen (illustrazione)



**NTE**

## Lo studio delle microsaccadi può rivelarsi utile per capire i meccanismi cerebrali della percezione visiva

saccadi» – avessero uno scopo. Fra gli scienziati, qualcuno sosteneva addirittura che le microsaccadi potessero menomare, offuscandola, la visione oculare. Recenti ricerche svolte nel laboratorio di uno di noi (Martinez-Conde), al Barrow Neurological Institute di Phoenix, hanno invece rinforzato la tesi che questi minuscoli serpeggiamenti degli occhi rappresentino una barriera tra visione e cecità quando guardiamo una scena statica.

Nel frattempo le microsaccadi si stanno rivelando utili ai neuroscienziati che cercano di scoprire il codice usato dal cervello per creare percezioni coscienti del mondo visivo. In anni recenti, insieme ad altri ricercatori, abbiamo individuato un'attività neurale riconoscibile che si accompagna a questi piccoli movimenti, e che – così riteniamo – dirige buona parte delle nostre percezioni. Ma non è tutto.

Le microsaccadi sarebbero in grado di spalancare una finestra sulla nostra mente. Questi piccoli spostamenti oculari, anziché essere casuali, potrebbero infatti indicare il luogo verso cui la nostra mente si sta segretamente focalizzando – anche se abbiamo lo sguardo diretto altrove – e rivelare, così, pensieri e desideri nascosti.

## La monotonia stanca

Che gli occhi si muovano in continuazione è una cosa che sappiamo da secoli. Già nel 1860 il medico e fisico tedesco Hermann von Helmholtz sottolineò come tenere immobili gli occhi fosse un compito complicato, e propose la teoria che «il vagare dello sguardo» servisse per evitare alla retina di stancarsi.

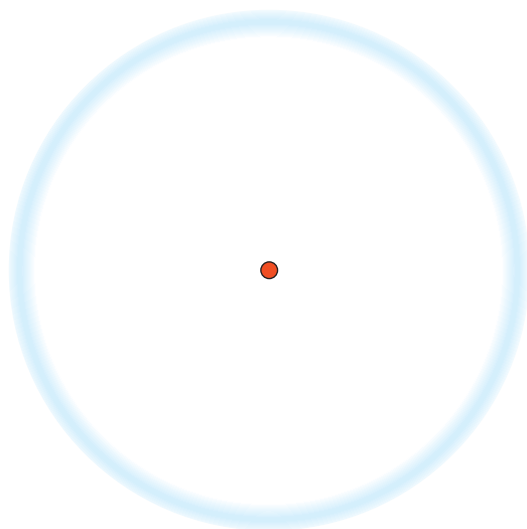
In effetti, il sistema nervoso degli animali si è evoluto per cogliere i segnali provenienti dall'ambiente: individuare le differenze favorisce la sopravvivenza. Un movimento nel campo visivo potrebbe infatti segnalare che un predatore si sta avvicinando o che una preda ci sta sfuggendo. Questi cambiamenti stimolano i neuroni visivi a rispondere con impulsi elettrochimici. In genere, gli oggetti sempre uguali a se stessi non rappresentano una minaccia, e dunque il cervello e i sistemi visivi degli animali non si sono evoluti per notarli. Le rane sono un caso estremo. Per questi anfibi, una mosca posata su un muro è invisibile, come lo sono tutti gli oggetti statici. Ma quando l'insetto è in volo la rana lo individuerà in un attimo, e lo catturerà con la lingua.

Le rane non vedono oggetti immobili perché –

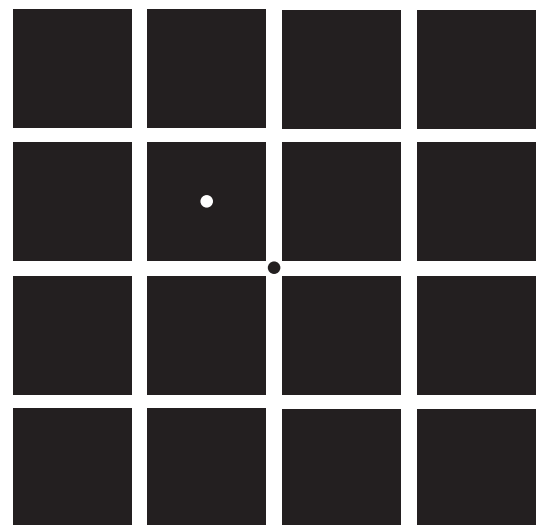
Fonti: Ignaz Paul Vital Troxler (a sinistra): *A Simple after Image Method Demonstrating the Involuntary Multidirectional Eye Movements during Fixation*, di F.J. Verheijen, in «Journal of Modern Optics», Vol. 8, pp. 309-312, ottobre 1961; © Taylor and Francis Ltd. (a destra)

## Come si scoprono i movimenti oculari in miniatura

Con le tre illusioni ottiche illustrate qui sotto potete accorgervi di una serie di effetti visivi legati ai movimenti oculari di fissazione, ai quali normalmente non prestiamo attenzione.



**IL TEST DI TROXLER.** Nel 1804 il filosofo Ignaz Troxler scopre che fissare un oggetto causa la scomparsa delle immagini circostanti. Fissate la macchia rossa facendo attenzione al cerchio azzurro. Il cerchio svanirà, e la macchia apparirà su uno sfondo bianco. Muovete gli occhi e il cerchio ricomparirà.



**PERCEPIRE IL MOVIMENTO.** Guardate il pallino nero al centro del disegno per circa un minuto, e poi il pallino bianco nel quadrato nero. L'immagine scura del tratteggio bianco che vedrete sarà in movimento, per via dei movimenti oculari di fissazione.

come ipotizzò Helmholtz – uno stimolo che resta inalterato genera un adattamento neurale: i neuroni visivi regolano il segnale in uscita in modo da interrompere gradualmente la risposta. Questo adattamento neurale è un risparmio di energia, ma anche un limite per la percezione sensoriale. Anche i neuroni umani si adattano alla monotonia. Ma il nostro sistema visivo è molto più efficiente di quello della rana nell'individuare gli oggetti immobili, perché i nostri occhi creano il movimento da sé. I movimenti oculari di fissazione spostano l'intera scena visiva sulla retina, spronando i neuroni visivi all'azione e contrastando l'adattamento neurale. È un modo, questo, per impedire che gli oggetti statici scompaiano alla vista.

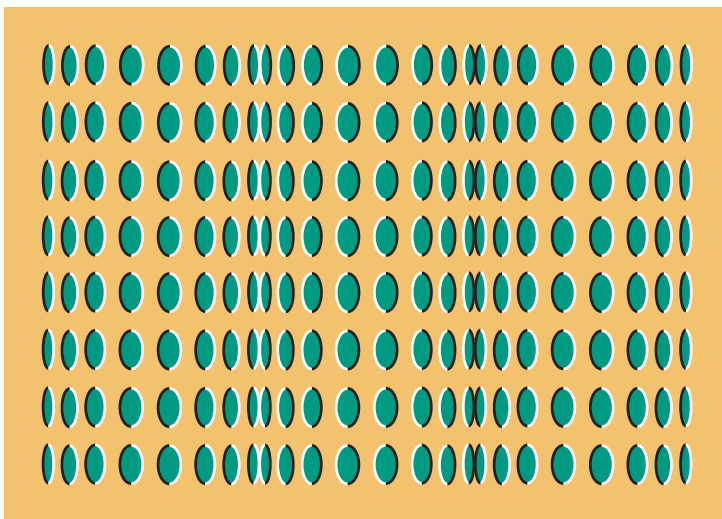
Nel 1804 il filosofo svizzero Ignaz Paul Vital Troxler riferì il primo fenomeno di evanescenza nell'uomo in concomitanza con una diminuzione dei movimenti oculari di fissazione. Troxler osservò che la focalizzazione volontaria dello sguardo su un oggetto determinava l'evanescenza progressiva delle immagini statiche nella regione circostante (si veda l'illustrazione a sinistra nella pagina a fronte).

Questa evanescenza è un fenomeno che ci capita ogni giorno. Mettere a fuoco intenzionalmente un oggetto può rallentare o ridurre per brevi istanti i movimenti oculari di fissazione, che sono inoltre meno efficaci al di fuori dell'area di focalizzazione. Pertanto anche una moderata riduzione della frequenza e dell'ampiezza dei movimenti oculari compromette la nostra visione. È un deficit di cui non ci rendiamo conto perché non prestiamo attenzione alle parti invisibili del nostro campo visivo e ci focalizziamo su ciò che abbiamo dritto davanti a noi.

L'interruzione totale dei movimenti oculari è, però, realizzabile solo in laboratorio. All'inizio degli anni cinquanta alcuni gruppi di ricerca realizzarono questo effetto di immobilizzazione montando un minuscolo proiettore di diapositive su una lente a contatto, che applicarono con una microscopica pompa a vuoto all'occhio di una persona. Con questo dispositivo il soggetto vede l'immagine proiettata attraverso la lente, che si muove insieme all'occhio. Stabilizzando la retina con questa tecnica, l'immagine rimane statica rispetto all'occhio, con l'effetto di adattare i neuroni visivi e di far svanire l'immagine. Oggi i ricercatori ricrea-

## BERSAGLI IN MOVIMENTO

I movimenti oculari di fissazione, che comprendono le microsaccadi (*linee rette*), i drift (*linee ondulate*) e i tremori (*gli zigzag sovrapposti ai drift*), trasportano l'immagine visiva sopra un mosaico di fotorecettori posti sulla retina.

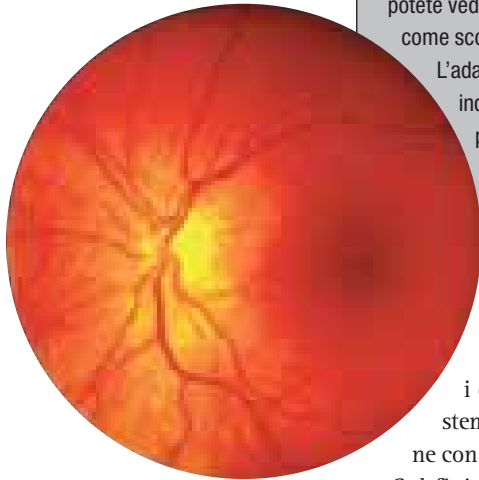


**MOVIMENTO ILLUSORIO.** Lasciate vagare gli occhi liberamente nel disegno qui sopra, e i tre «rulli» sembreranno girare. Se però mantenete lo sguardo fermo su una delle macchie azzurre al centro dell'immagine, il movimento illusorio rallenterà o addirittura si fermerà. Poiché tenere fermi gli occhi interrompe il movimento illusorio, gli autori ipotizzano che i movimenti oculari di fissazione siano necessari per vederlo.

## Vasi sanguigni che svaniscono

I neuroscienziati David Coppola e Dale Purves, della Duke University, hanno dimostrato che i vasi sanguigni della retina, che sono stazionari rispetto a ciascun occhio, possono svanire alla vista di una persona in appena 80 millesimi di secondo. Lo potete constatare voi stessi. Chiudete gli occhi mentre tenete in mano una piccola lampadina (non troppo luminosa!) lateralmente rispetto a un occhio. Se la muovete rapidamente, potete vedere fugacemente i vasi sanguigni della retina nella vostra visione periferica. Ma osservate anche come scompaiono rapidamente alla vista.

L'adattamento neurale si verifica in tutti i sensi, compreso il tatto. Per esempio, avete la sensazione di indossare le scarpe non appena le calzate al mattino, ma è una sensazione che scompare in breve: probabilmente non vorreste essere consapevoli delle vostre scarpe 16 ore al giorno. Ma se muovete le dita dei piedi avvertite di nuovo la presenza delle scarpe. Allo stesso modo i movimenti oculari fanno tremolare costantemente le immagini sulla retina. Per questo la vista non svanisce mai.



no quel risultato misurando i movimenti oculari con una videocamera puntata sull'occhio. Essi trasmettono i dati della posizione oculare a un sistema di proiezione che sposta l'immagine con l'occhio.

Sul finire degli anni cinquanta i ricercatori individuaronero un ruolo per le microsaccadi. Dopo aver soppresso ogni movimento oculare in laboratorio, sovrapposero dei movimenti simili alle microsaccadi, scoprendo che in questo modo si ristabiliva la percezione. Altri gruppi di ricerca ottennero però risultati differenti. In altre parole, ristabilire le microsaccadi dopo aver congelato i movimenti oculari non produceva alcun effetto. Stabilire chi fosse nel giusto era difficile, perché nessuna delle tecniche usate per stabilizzare la retina era perfetta. Per esempio, la lente a contatto attaccata all'occhio può scivolare, lasciando qualche movimento oculare residuo. Nessuno poteva dire se un risultato sperimentale era causato da quei movimenti residui oppure dalla microsaccadi «artificiali».

### Semplici tic nervosi?

Nello stesso periodo i ricercatori identificarono altri due tipi di movimento oculare di fissazione: i *drift* e il tremore. I drift sono movimenti lenti e serpeggianti che si verificano tra le microsaccadi, veloci e lineari. Il tremore, invece, è una rapida e minuscola oscillazione che si sovrappone ai drift. Le microsaccadi sono i più ampi fra questi tipi di movimenti oculari, e trasferiscono l'immagine su decine o anche centinaia di fotorecettori, le cellule dell'occhio specializzate nella rilevazione della luce. Queste cellule comprendono i coni – specializzati nella visione dei dettagli e dei colori – e i bastoncelli, necessari per la visione periferica e con luce debole. Il tremore è il più piccolo dei movimenti oculari di fissazione, non più am-

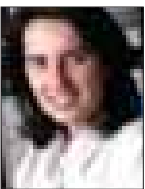
pio della dimensione di una di queste cellule. Tuttavia, ancora ci sfuggono i diversi ruoli di questi movimenti.

In realtà, per decenni molti studiosi della visione hanno messo in dubbio il fatto che questi movimenti – e in particolare le microsaccadi, le più studiate – svolgessero un ruolo nella visione. I critici osservavano che alcuni individui sopprimevano le microsaccadi per alcuni secondi senza che la loro visione centrale scomparisse. (Potete constatare questo fenomeno con il test di Troxler: sopprimendo per breve tempo le microsaccadi l'anello svanisce, ma vedete ancora il puntino rosso al centro del campo visivo). Inoltre, noi teniamo momentaneamente sotto controllo le microsaccadi quando eseguiamo compiti di precisione, come prendere la mira con il fucile o infilare il filo nella cruna di un ago. Nel 1980 Eileen Kowler e Robert Steinman, psicologi dell'Università del Maryland, erano arrivati alla conclusione che le microsaccadi fossero del tutto inutili. Le consideravano «una specie di tic nervoso».

Le ricerche in questo campo si sono arenate fino agli anni novanta, quando i ricercatori hanno iniziato a studiare le eventuali risposte neurali generate nell'occhio e nel cervello dai movimenti oculari di fissazione. Collaborando con il premio Nobel David Hubel, della Harvard Medical School, a partire dal 1997 abbiamo addestrato alcune scimmie a fissare una macchiolina presente sullo schermo di un computer, dove, in un'altra zona, era visibile anche una banda di luce stazionaria.

Mentre la scimmia guardava, registravamo i suoi movimenti oculari e l'attività elettrica dei neuroni del nucleo genicolato laterale (NGL), del mesencefalo e della corteccia visiva, un'area situata nella parte posteriore del cervello (*si veda il box nella pagina a fronte*). In ciascun esperimento, la banda era collocata in quella sede per scatenare la risposta elettrica ottimale – sotto forma di impulsi

### GLI AUTORI



**SUSANA MARTINEZ-CONDE** è direttore del Laboratorio di neuroscienze della visione presso il Barrow Neurological Institute a Phoenix, in Arizona. Ha ottenuto il dottorato in medicina e chirurgia all'Università di Santiago de Compostela, in Spagna.

**STEPHEN L. MACNICK** è direttore del Laboratorio di neurofisiologia del comportamento al Barrow Neurological Institute di Phoenix e ha ottenuto un dottorato in neurobiologia alla Harvard University.

nervosi, i cosiddetti *spike* – nei neuroni registrati. I risultati di questi esperimenti – pubblicati nel 2000 e nel 2002 – dimostravano che le microsaccadi aumentavano la frequenza degli impulsi nervosi generati dai neuroni del NGL e della corteccia visiva, e lo facevano accompagnando stimoli statici – come la banda di luce – dentro e fuori il campo recettivo di un neurone, la regione dello spazio visivo che attiva il neurone medesimo.

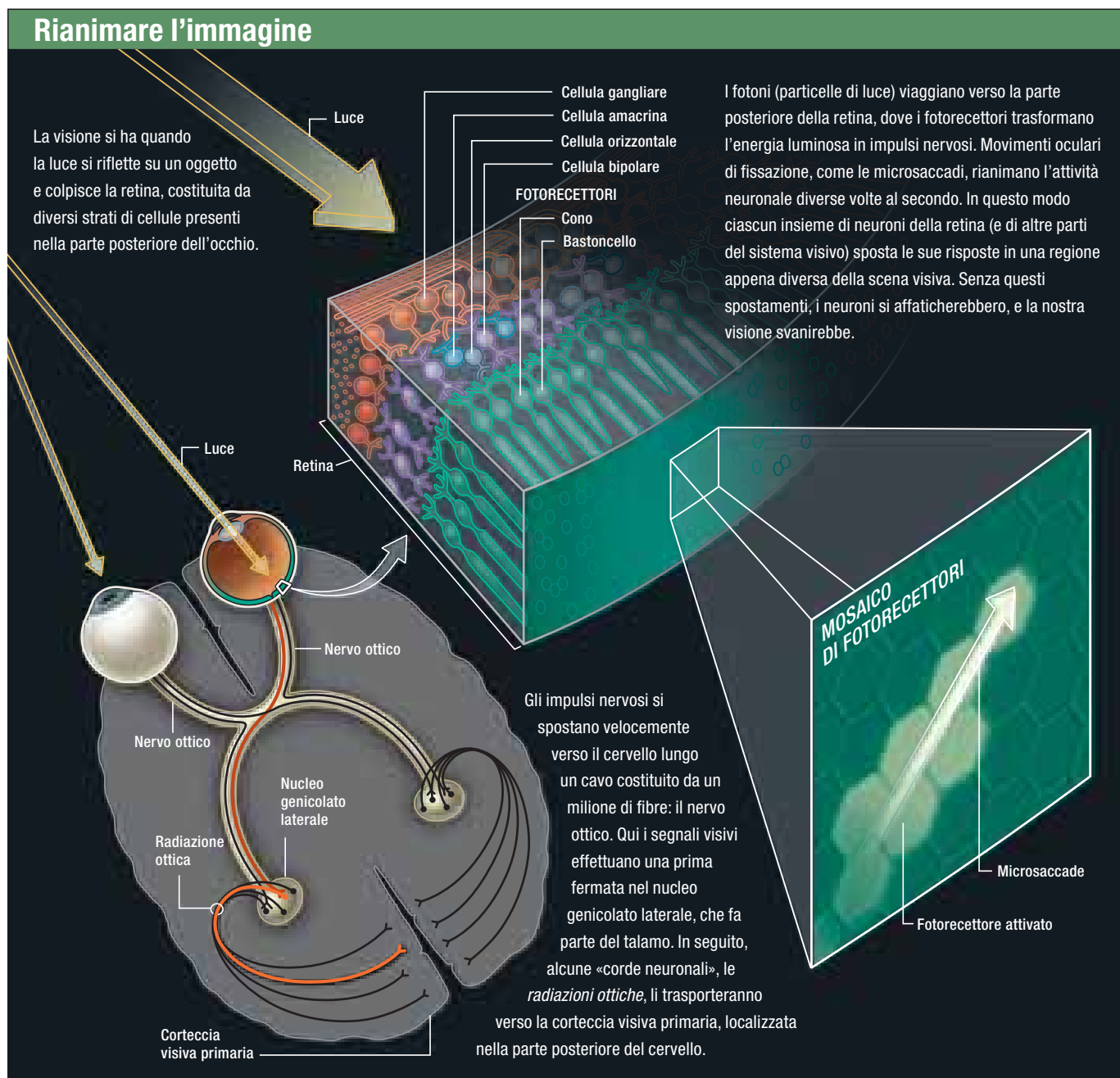
Questa scoperta ha dato sostegno alla tesi che le microsaccadi svolgano un ruolo importante nell'impedire l'evanescenza visiva e nel conservare la visibilità dell'immagine. Inoltre i nostri studi neuronali delle microsaccadi sono stati un primo

passo verso la comprensione del codice adottato dal sistema visivo per la percezione delle immagini. Negli studi condotti sulle scimmie abbiamo scoperto che le microsaccadi erano associate a rapide scariche di impulsi nervosi più che a singoli impulsi dei neuroni cerebrali. Evidentemente queste scariche sono un segnale nel cervello che qualcosa è visibile.

### Risolvere il caso

Altri ricercatori hanno scoperto che le microsaccadi stimolano risposte neuronali in ogni parte del sistema visivo da noi esaminata. Eppure questo campo di studi era ancora in balia dei risultati

**Per decenni molti studiosi hanno messo in dubbio che le microsaccadi avessero un ruolo nella visione**





**Potete anche distogliere lo sguardo dall'ultima fetta di torta o da una donna attraente. Ma le microsaccadi rivelano i vostri pensieri segreti**

controversi degli esperimenti sulla stabilizzazione retinica, che non fuggivano i dubbi sul significato delle microsaccadi nella visione.

Per questa ragione, alcuni anni fa ci siamo prefissi, qui al Barrow Neurological Institute, di misurare direttamente la relazione tra microsaccadi e capacità visiva, ricorrendo a una tecnica nuova. Nel corso di questi esperimenti abbiamo chiesto ad alcuni volontari di eseguire una versione del test di Troxler sull'evanescenza. I soggetti dovevano fissare una piccola macchia e contemporaneamente premere o rilasciare un pulsante per indicare se vedevano o meno un bersaglio periferico statico. Il bersaglio scompariva e riappariva in momenti specifici dell'esperimento mentre ciascun soggetto fissava lo sguardo più a lungo e poi più brevemente. Nel corso del test abbiamo misurato i movimenti oculari di fissazione di ogni persona con un sistema video ad alta precisione.

Come avevamo previsto, le microsaccadi del soggetto diventavano più rade, più piccole e più lente poco prima che il bersaglio svanisse. Era il segno che l'assenza di microsaccadi – o di microsaccadi insolitamente piccole e lente – determinava l'adattamento e l'evanescenza. Come ulteriore conferma della nostra ipotesi, le microsaccadi diventavano più numerose, ampie e rapide prima che il bersaglio periferico ricomparisse. Questi risultati, pubblicati nel 2006, dimostrarono per la prima volta che le microsaccadi contribuiscono alla visione quando i soggetti fissano lo sguardo su un'immagine, e che microsaccadi più ampie e più rapide sono più efficaci. E poiché gli occhi fissano – fermandosi tra le più ampie saccadi volontarie – per buona parte del tempo, le microsaccadi risultano fondamentali per la percezione visiva.

Queste ricerche non hanno soltanto un signifi-

cato teorico, ma potrebbero avere anche implicazioni terapeutiche. Una migliore conoscenza dei movimenti oculari di fissazione nella visione potrebbe illuminarci sulle patologie e le condizioni che compromettono questi movimenti. Per esempio un'assenza di movimenti oculari di fissazione può derivare dalla paralisi dei nervi oculomotori, che sono preposti al controllo di gran parte dei movimenti oculari. Movimenti oculari di fissazione anomali sono comuni anche nell'ambliopia, o sindrome dell'«occhio pigro», una perdita dei dettagli della visione senza un'evidente patologia, che è fra le cause principali di perdita della visione in un occhio nelle persone comprese tra i venti e i settant'anni. In forme gravi di ambliopia, un eccesso di drift e un numero ridotto di microsaccadi possono far svanire ampie zone della scena visiva durante la fissazione.

Nella visione normale, il sistema oculomotore deve stabilire un delicato equilibrio fra un numero troppo esiguo e uno troppo nutrito di movimenti oculari, che genera una visione annebbiata e instabile durante i momenti di fissazione. Capire come il sistema dei movimenti oculari realizza questo equilibrio potrebbe consentire ai medici di ricalibrare il sistema quando qualcosa non funziona. Diverse disfunzioni compromettono i movimenti oculari di fissazione, e ciò li rende un terreno di ricerca fertile, per buona parte ancora inesplorato.

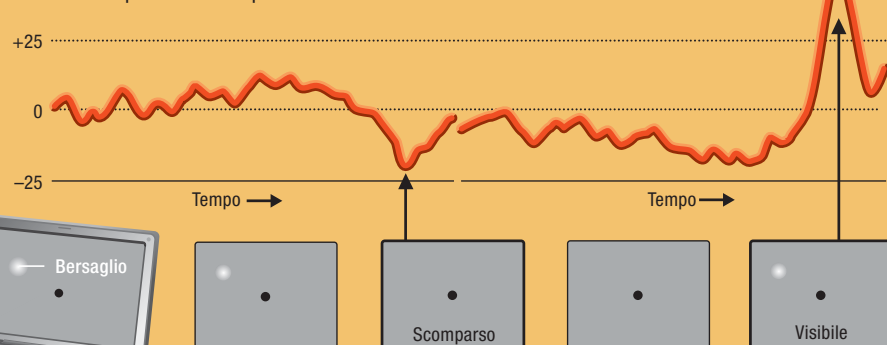
### Leggere nel pensiero

Il significato delle microsaccadi può travalicare quello della pura visione. Questi piccoli movimenti oculari potrebbero infatti mettere a nudo i nostri pensieri subliminali. Come hanno scoperto gli psicologi, anche quando il nostro sguardo è fisso in una scena visiva l'attenzione può inconsiamente

## Vedere con le microsaccadi

In un test recente gli autori hanno chiesto ad alcuni soggetti di fissare una macchia sullo schermo di un computer (*in basso*). Ciò causava la scomparsa dalla loro vista, e poi la ricomparsa, di un bersaglio periferico statico. Si è così scoperto che, prima che il bersaglio svanisse, le microsaccadi dei soggetti diventavano rade e lente, mentre prima della sua ricomparsa i movimenti oculari erano più frequenti (*si veda il grafico*). È la dimostrazione che le microsaccadi causano la visione quando teniamo fisso lo sguardo.

**ATTIVITÀ DELLE MICROSACCADI NEL TEMPO**  
Variazione in percentuale rispetto al caso





#### RIVELATORI DELL'ATTENZIONE:

gli scienziati riescono a seguire le microsaccadi per stabilire se qualcosa sta segretamente attirando l'attenzione di una persona – come l'ultima fetta di una squisita torta al cioccolato – anche quando il soggetto sta guardando altrove.

Ma non temete! Le persone comuni non riescono facilmente a sfruttare questi movimenti oculari per leggere nella vostra mente.

te spostarsi su oggetti che attirano il nostro interesse. Stando a ricerche recenti, le microsaccadi possono rivelare questi oggetti di attrazione perché la loro direzione, tutt'altro che casuale, punterebbe proprio su di essi. Persino se stiamo guardando altrove.

Gli scienziati della visione Ziad M. Hafed e James J. Clark, della McGill University, in Canada, hanno chiesto ad alcuni volontari di dirigere gli occhi su una macchia al centro del monitor di un computer mentre prestavano attenzione a una macchia periferica che cambiava colore alla fine di ciascuna prova. In teoria, i volontari avrebbero dovuto rivelare questo cambiamento di colore. Nel 2002 Hafed e Clark hanno constatato che la direzione delle microsaccadi dei soggetti era sbilanciata verso il loro vero punto di focalizzazione, anche se stavano guardando altrove. Questi dati indicavano non solo che le microsaccadi potrebbero indicare i nostri pensieri nascosti, ma anche – hanno osservato gli autori – che spostamenti nascosti dell'attenzione controllano la direzione delle microsaccadi.

In un secondo esperimento, il neuroscienziato computazionale Ralf Engbert e lo psicologo cognitivo Reinhold Kliegl, dell'Università di Potsdam, in Germania, hanno scoperto che anche la

frequenza delle microsaccadi comunica la presenza di qualcosa che attira segretamente la nostra attenzione. Come gli autori della ricerca hanno affermato nel 2003, la comparsa improvvisa di un segnale visivo nella periferia del campo visivo causa in prima battuta una breve caduta della frequenza delle microsaccadi, seguita da un rapido contraccolpo in cui la loro frequenza supera il valore normale. Non solo. Le microsaccadi da loro individuate erano deviate verso la direzione del segnale. Questo studio suggerisce, perciò, che la frequenza e la direzione delle microsaccadi segnalino improvvisi cambiamenti nell'ambiente, che attirano la nostra attenzione anche quando non li guardiamo direttamente.

Perciò, per quanto vi sforziate di distogliere lo sguardo dall'ultima fetta di torta rimasta nel piatto o dalla donna avvenente dall'altra parte della stanza, la frequenza e la direzione delle vostre microsaccadi tradiscono l'oggetto verso cui sta puntando il cono di luce della vostra attenzione. Questo «tradimento» è però privo di interesse pratico. Se infatti gli scienziati possono individuare e misurare in laboratorio questi minuscoli movimenti oculari per rivelare i meccanismi cerebrali nascosti dell'attenzione, le persone che ci circondano non possono leggere i nostri pensieri. Almeno non ancora... ■

## ➔ Letture

**Microsaccades as an Overt Measure of Covert Attention Shifts.** Hafed Z.M. e Clark J.J., in «Vision Research», Vol.42, pp.2533-2545, 2002.

**Microsaccades Uncover the Orientation of Covert Attention.** Engbert R. e Kliegl R., in «Vision Research», Vol. 43, pp. 1035-1045, 2003.

**The Role of Fixational Eye Movements in Visual Perception.** Martinez-Conde S. e altri, in «Nature Reviews Neuroscience», Vol.5, pp 229-240, 2004.

**Fixational Eye Movements in Normal and Pathological Vision.** Martinez-Conde S., in «Progress in Brain Research», Vol.154, pp. 151-176, 2006.

**Microsaccades Counteract Visual Fading during Fixation.** Martinez-Conde S. e altri, in «Neuron», Vol. 49, pp. 297-305, 2006.

L'illusione di Akiyoshi Kitaoka: [www.ritsumeai.ac.jp/~akitaoka/index-e.html](http://www.ritsumeai.ac.jp/~akitaoka/index-e.html).

Il laboratorio di Martinez-Conde: [www.neuralcorrelate.com/smc\\_lab](http://www.neuralcorrelate.com/smc_lab).