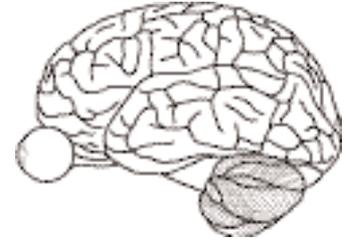


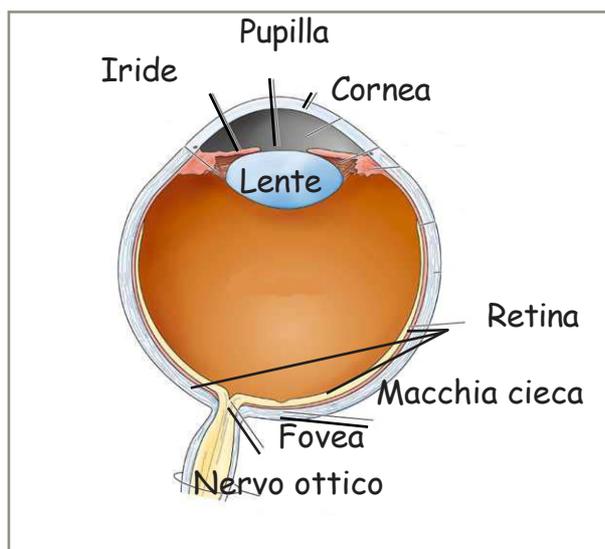
# La visione



Gli esseri umani sono una specie altamente dipendente dal senso della vista, che usano per valutare il mondo circostante. Come gli altri primati hanno gli occhi rivolti in avanti ed usano la vista per percepire gli stimoli ambientali che provengono da parti lontane dal corpo. La luce è una forma di energia elettromagnetica che entra nell'occhio ed agisce sui fotorecettori posti sulla retina che avviano i processi attraverso cui vengono generati impulsi nervosi che percorrono le reti neurali dedicate alla visione, il cervello visivo. Esistono percorsi separati che raggiungono il mesencefalo e la corteccia cerebrale mediando diverse funzioni: la rilevazione e la rappresentazione del movimento, le forme, i colori ed altri caratteri distintivi del mondo visibile. Alcuni di questi meccanismi, ma non tutti, sono accessibili alla nostra coscienza. Nella corteccia, i neuroni di aree visive distinte sono specializzati in diversi tipi di funzioni visive.

## Luce negli occhi

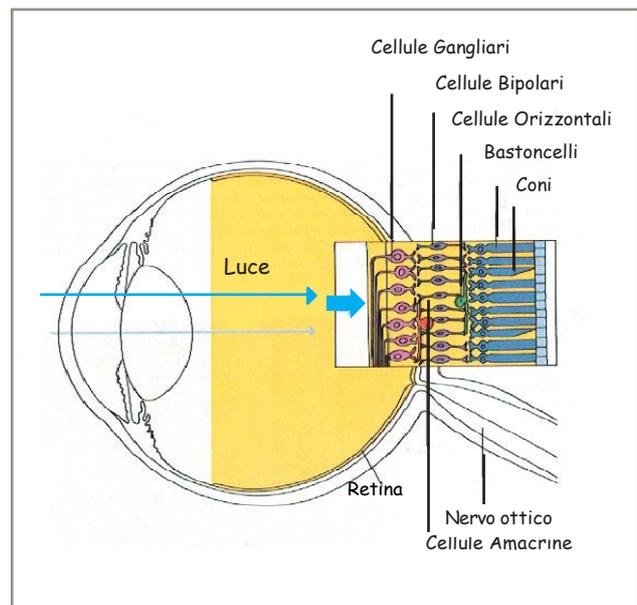
La luce entra nell'occhio attraverso la **pupilla** e viene fatta convergere, dalla **cornea** e dal **cristallino**, sulla **retina**, che si trova sulla parete posteriore dell'occhio. La pupilla è circondata dall'**iride**, pigmentata, che può espandersi o contrarsi, rendendo la pupilla più grande o più piccola al variare della quantità di luce incidente. Si è soliti supporre che l'occhio si comporti come una macchina fotografica, che crea una sorta di "immagine" del mondo, ma questa è una metafora fuorviante sotto molti punti di vista. Anzitutto, non esistono immagini visive statiche, dato che gli occhi si muovono in continuazione. Inoltre, se un'immagine formatasi sulla retina venisse inviata come tale al cervello, sarebbe



Schema dell'occhio umano. La luce che entra nell'occhio è messa a fuoco dal cristallino sulla retina, che si trova in fondo. I suoi recettori rilevano l'energia luminosa e, con un processo di trasduzione, generano i potenziali d'azione che viaggiano poi lungo il nervo ottico.

allora necessario avere un altro omino dentro la testa, che possa osservare la seconda immagine! Per evitare la metafora di una serie infinita di persone dentro la testa che guardano senza capire cosa stiano guardando, occorre considerare il vero problema che il cervello visivo deve risolvere, ovvero come usare i messaggi criptati provenienti dagli occhi per interpretare il mondo visibile e prendere decisioni su di esso.

Quando la luce converge sulla retina, i 125 milioni di **fotorecettori** posizionati sulla sua superficie rispondono alla sua presenza generando minuscoli potenziali elettrici. Questi segnali passano per via sinaptica in una rete cellulare posta nella retina, attivando le **cellule gangliari retiniche** i cui assoni si uniscono a formare il **nervo ottico** che emerge dalla parete posteriore dell'occhio. Gli assoni entrano nel cervello, dove trasmettono i potenziali d'azione alle diverse regioni visive con differenti funzioni.



La retina. La luce attraversa le fibre che danno origine al nervo ottico e una complessa rete di cellule (bipolari, amacrine, ecc.) per arrivare ai bastoncelli e ai coni che si trovano nella sua parte posteriore

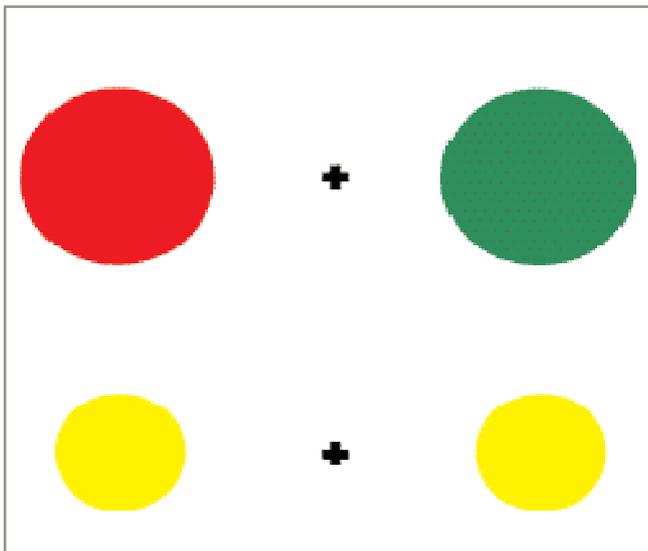
Questa prima parte del meccanismo della visione è ben conosciuta. I fotorecettori più numerosi, detti **bastoncelli**, sono circa 1000 volte più sensibili alla luce degli altri, molto meno numerosi, detti **coni**. In maniera approssimativa, si può dire che di notte vediamo con i bastoncelli e di giorno con i coni. Esistono tre tipi di coni, sensibili a diverse lunghezze d'onda della luce. Dire che i coni provocano la visione a colori è molto semplicistico, essi sono però essenziali per questo scopo. Se vengono sovraesposti alla luce di un solo colore, i pigmenti dei coni si adattano in modo da percepire subito dopo quel colore in minor misura anche se per breve tempo (vedi riquadro Esperimento sull'adattamento ai colori).

Negli ultimi 25 anni, si sono fatte importanti scoperte sul processo di **fototrasduzione** (la conversione della luce in segnali elettrici nei bastoncelli e nei coni), sulle basi genetiche della cecità ad alcuni colori (dovuta alla mancanza di alcuni pigmenti), sul funzionamento delle connessioni retiniche e sulla presenza di due diversi tipi di cellule gangliari. Circa il 90% di queste cellule sono molto piccole, mentre un altro 5% è costituito da cellule più grandi, dette di tipo M, o **magnocellulari**. Vedremo in seguito come le anomalie nelle cellule di tipo M possano essere all'origine di alcune casi di dislessia (Capitolo 9).



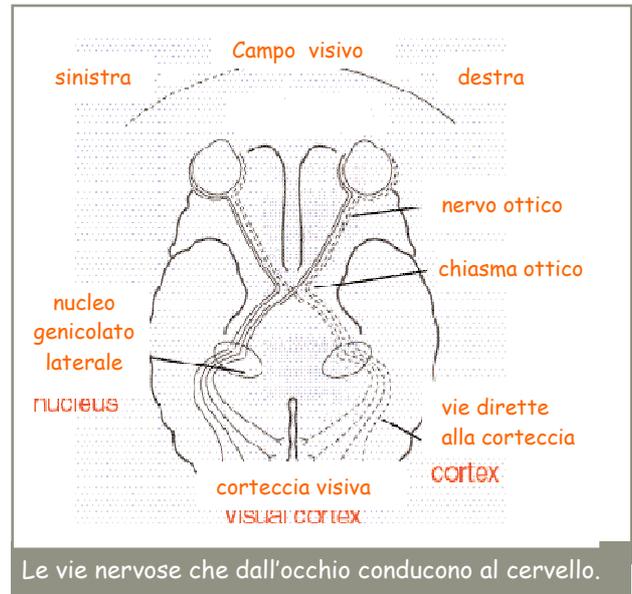
Un esperimento sull'adattamento ai colori

Fissa lo sguardo sulla piccola croce che si trova in mezzo ai due cerchi più grandi, per almeno 30 secondi. Poi trasferisci lo sguardo sulla croce più in basso. I due cerchi "gialli" sembreranno di colori diversi. Sai spiegarlo?



### Passi ulteriori nel processo visivo

I due **nervi ottici** entrano nel cervello. Le fibre di ciascun nervo si incrociano in una struttura detta **chiasma ottico**; la metà di esse passa dal lato opposto e si unisce alla metà delle fibre dell'altro nervo che non si è decussata. Questi fasci di fibre, insieme, costituiscono i **tratti ottici**, che contengono fibre provenienti da ambedue gli occhi e che si dirigono (passando tra l'intrico di cellule e sinapsi di una struttura chiamata **nucleo genicolato laterale**) verso la corteccia cerebrale. Qui si formano le "rappresentazioni interne" dello spazio visibile che ci circonda. In modo analogo a quanto avviene per il tatto (Capitolo 5), la parte sinistra del mondo visibile viene rappresentata nell'emisfero destro, e la parte destra nell'emisfero sinistro. La rappresentazione interna si forma a partire dalle informazioni provenienti da ciascun occhio: le cellule delle aree visive poste nella parte posteriore del cervello (dette **V1, V2**, ecc.) possono quindi reagire in risposta ad un'immagine che provenga indifferentemente da un occhio o dall'altro. Questa capacità è detta **binocularità**. La corteccia visiva è costituita da numerose aree, ciascuna dedicata ad uno degli aspetti del mondo visibile quali la forma, il colore, il movimento, la distanza, ecc.



Le vie nervose che dall'occhio conducono al cervello.

Le sue cellule sono organizzate in colonne. Un concetto importante circa la capacità reattiva delle cellule è quello di **campo recettivo**: la porzione di retina in cui le cellule rispondono ad un tipo specifico di immagine. In V1, dove avviene il primo stadio dell'elaborazione corticale, i neuroni rispondono meglio alla visione di linee o margini con un particolare orientamento. È stato scoperto che tutti i neuroni che compongono ogni singola colonna rispondono maggiormente a linee o margini con un specifico **orientamento**, mentre la colonna adiacente risponde meglio a linee o margini con un orientamento leggermente diverso dal precedente, e così via in tutta la superficie di V1. Questo significa che le cellule della corteccia visiva hanno un'organizzazione intrinseca per l'interpretazione del mondo, che non è però un'organizzazione statica. La varietà di direzioni alla quale una singola cellula può essere reattiva viene modificata dall'esperienza, attraverso i segnali che provengono dall'occhio destro o dall'occhio sinistro. Come per tutti i sistemi sensoriali, la corteccia visiva manifesta anch'essa quella capacità che viene detta **plasticità**.



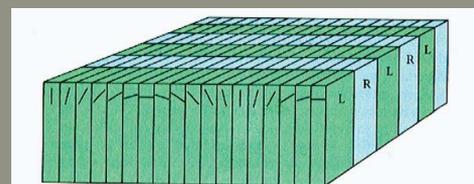
David Hubel



Torsten Wiesel



Le registrazioni elettriche delle cellule della corteccia visiva (a sinistra) da parte di David Hubel e Torsten Wiesel ha rivelato alcune stupefacenti proprietà di queste cellule, come l'orientamento selettivo, l'ordinata organizzazione colonnare e la plasticità dell'intero sistema. Queste scoperte hanno portato all'assegnazione del Premio Nobel.

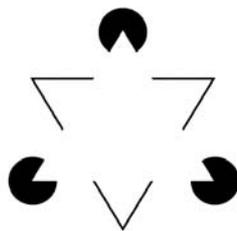


## Frontiere della ricerca

Un cieco può vedere? Certamente no. Tuttavia, la scoperta di diverse aree visive cerebrali ha dimostrato che alcune abilità visive si verificano anche in assenza di consapevolezza. Persone che abbiano subito un danno della corteccia visiva primaria (V1) riferiscono di non poter vedere gli oggetti nel loro campo visivo ma, quando richiesti di afferrare gli oggetti che dicono di non vedere, vi riescono con precisione. Questo curioso ed affascinante fenomeno è noto come "cecità corticale" ed è verosimilmente dovuto a connessioni parallele tra gli occhi ed altre zone di corteccia.

Il non rendersi conto di ciò che si vede è un fatto comune anche nei soggetti normali. Se state chiacchierando mentre guidate, la vostra attenzione è assorbita dalla conversazione, pur tuttavia vi fermate ai semafori ed evitate gli ostacoli. Questa capacità rappresenta una sorta di cecità corticale funzionale.

L'intricato insieme di circuiti della corteccia visiva è uno dei grandi rompicapo dei neuroscienziati. Differenti tipi di neuroni sono disposti in sei strati corticali, connessi a formare precisi circuiti locali che solo ora iniziamo a comprendere. Alcune connessioni sono eccitatorie, altre inibitorie. Qualche neuroscienziato ha avanzato l'ipotesi che esistano dei **microcircuiti corticali canonici**, come i circuiti integrati all'interno di un computer. Non tutti sono d'accordo. Si ritiene che i circuiti di un'area visiva abbiano notevoli somiglianze con quelli di un'altra, ma potrebbero esserci sottili differenze che riflettono i diversi modi in cui ciascuna informazione elementare del cervello visivo fornisce un'interpretazione dei diversi aspetti del mondo visivo. Gli studi sulle illusioni ottiche hanno inoltre fornito spunti circa il tipo di processi che potrebbero avvenire passo a passo nell'analisi visiva.



La forma di questo famoso muro di un caffè di Bristol (a sinistra) è rettangolare, anche se non sembra. La disposizione degli elementi raffigurati crea un'illusione dovuta a complesse interazioni eccitatorie ed inibitorie dei neuroni decodificanti linee e bordi. Il triangolo di Kanizsa (a destra) in realtà non esiste, ma ciò non ci vieta di percepirlo! Il sistema visivo "decide" che c'è un triangolo bianco sopra gli altri elementi del disegno.

## Decisione e Indecisione

Una funzione chiave della corteccia cerebrale è la capacità di sintetizzare ed elaborare informazioni sensoriali provenienti da fonti diverse. La possibilità di **prendere una decisione** è parte essenziale di questa capacità. Questa parte del processo ha a che fare con il pensiero e con il confronto con elementi già noti, ed è detta "processo cognitivo". I dati sensoriali disponibili debbono essere valutati ed elaborati per formulare la scelta che meglio si adatti alla circostanza (ad esempio, muoversi o restare fermi).



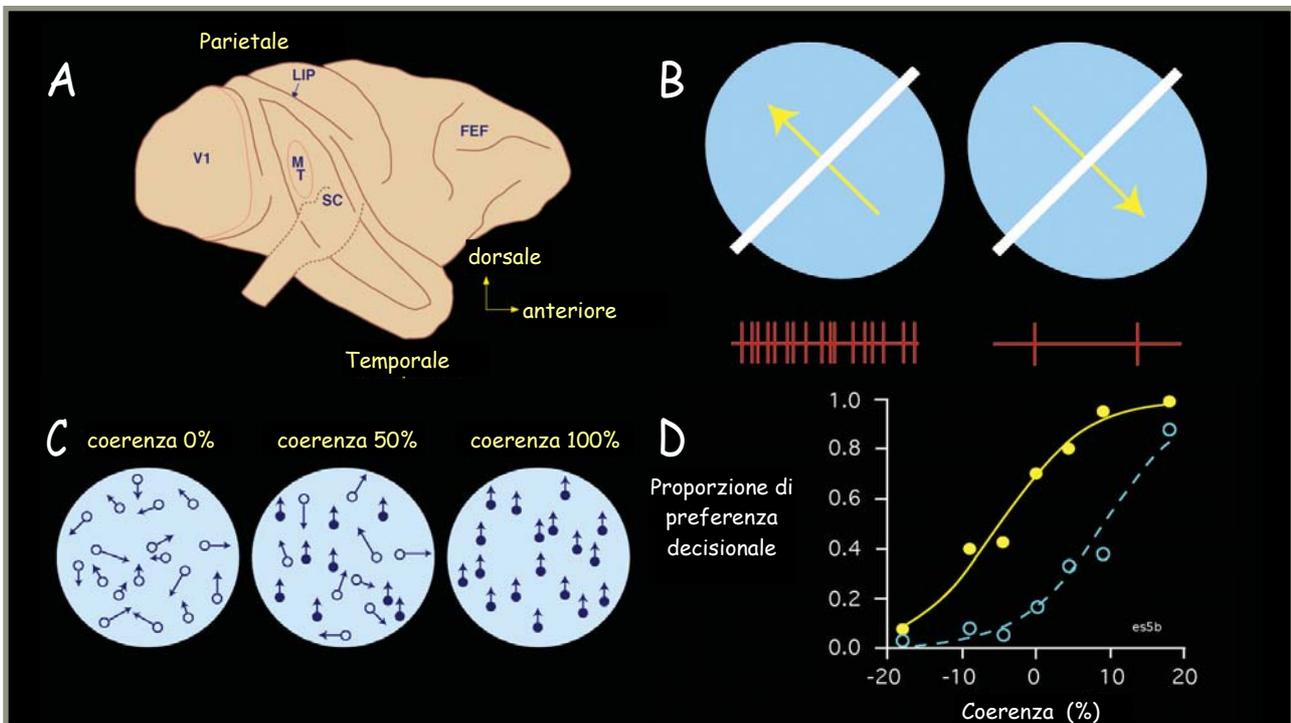
Solo macchie bianche e nere? All'inizio è difficile identificare il profilo dell'immagine. Ma dopo aver saputo che si tratta di un cane dalmata, la figura "emerge". Il cervello visivo usa le sue nozioni interne per interpretare la scena percepita.

Esistono decisioni difficili che richiedono un ragionamento complesso ed altre che possono essere semplici ed automatiche. Persino le decisioni più semplici possono però coinvolgere la collaborazione fra informazioni sensoriali e ciò che già si sa. Un modo per cercare di comprendere le basi neurali del processo di decisione potrebbe essere quello di registrare l'attività dei neuroni di una persona durante le sue normali attività quotidiane. Potremmo immaginare di essere in grado di registrare, con una precisione di un millisecondo, l'attività di ognuno dei  $10^{11}$  neuroni del cervello. In questo modo, non solo avremmo una quantità ingestibile di dati, ma anche il compito di doverli interpretare, il che complica ulteriormente le cose. Per capirne il motivo, si pensi un istante al perché le persone compiono determinate azioni. Una persona che vediamo camminare in una stazione ferroviaria potrebbe trovarsi là per prendere un treno, incontrare qualcuno che sta arrivando, o persino per fare dei graffiti sui vagoni. Senza sapere quali siano le sue intenzioni, potrebbe risultare difficile interpretare le correlazioni fra qualsiasi modalità di attivazione nel suo cervello ed il suo comportamento.

Per questo motivo, ai neuroscienziati piace valutare il comportamento in situazioni tenute sotto un **preciso controllo sperimentale**. Questo può essere ottenuto mettendo a punto un compito specifico, assicurandosi che i soggetti lo eseguano al meglio delle loro possibilità dopo un intenso allenamento, e tenere infine sotto controllo l'esecuzione del compito. Il compito meglio configurato per capire cosa sta succedendo deve avere la caratteristica di essere sufficientemente complesso da essere interessante, ma anche abbastanza semplice da offrire la possibilità di essere seguito. Un buon esempio è costituito dal processo decisionale sulle caratteristiche di due stimoli visivi - generalmente non più di due - che comporta una semplice risposta (ad esempio, quale sorgente luminosa è più intensa, o quale la più estesa). Benché si tratti di un compito semplice, per eseguirlo viene attivato un ciclo completo del processo decisionale. L'informazione sensoriale viene acquisita ed analizzata; vi sono risposte corrette e sbagliate per la decisione che viene presa; si può pensare di assegnare una ricompensa a seconda che il compito venga eseguito in maniera corretta o meno. Questo tipo di ricerca è una sorta di "fisica della visione".

## Decisioni su Movimento e Colori

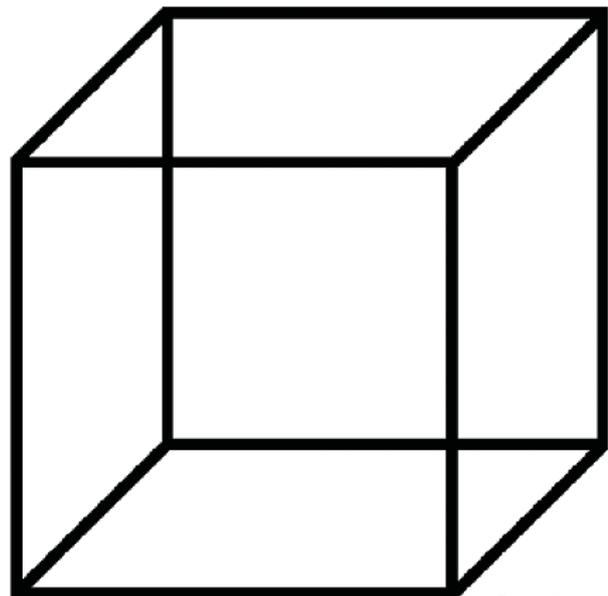
Un argomento attuale e di grande interesse è come i neuroni siano coinvolti nel prendere decisioni sulla **visione del movimento**. Sapere se un oggetto si sta muovendo o no, ed in quale direzione, è importante per gli esseri umani e per tutti gli altri esseri viventi. Il movimento relativo indica generalmente che un oggetto è differente dagli altri che gli stanno attorno. Le regioni del cervello visivo che sono coinvolte nell'elaborazione delle informazioni sul movimento possono essere identificate come regioni anatomicamente distinte esaminando i percorsi delle fibre e le connessioni fra le varie aree cerebrali, mediante tecniche di "neuroimmagine" nell'uomo (vedi Capitolo 14) o registrando l'attività di singoli neuroni negli altri animali.



Percezione del movimento. A. Vista laterale di cervello di scimmia con la corteccia visiva primaria (V1) a sinistra e l'area MT (chiamata anche V5) dove si trovano i neuroni che percepiscono gli oggetti in movimento. B. Attività elettrica (potenziali d'azione: linee verticali) di un neurone che percepisce uno stimolo (barra bianca) che si muove da sud-est a nord-ovest, ma non in direzione opposta. C. Stimoli utilizzati negli esperimenti sulla percezione del movimento, dove i cerchietti si muovono in tutte le direzioni (0% di coerenza) o in una sola direzione (100% di coerenza). D. La capacità della scimmia di indicare la direzione più probabile aumenta con la coerenza del loro movimento (linea gialla). La microstimolazione elettrica delle colonne di diverso orientamento sposta la linea della stima della direzione (linea blu).

L'attività elettrica dei neuroni in una di queste aree, detta area **MT** o anche **V5**, è stata registrata nella scimmia mentre eseguiva un semplice compito di decisione sul percorso di un insieme di punti in movimento. La maggior parte dei punti veniva fatta muovere in maniera casuale in diverse direzioni, mentre solo alcuni si spostavano costantemente in una stessa direzione - verso l'alto, verso il basso, a destra o a sinistra. L'osservatore doveva giudicare quale fosse la direzione del movimento preferenziale di tutto l'insieme. Il compito poteva essere reso molto semplice, aumentando la percentuale di punti che si muovevano uniformemente, o più difficile riducendo questa percentuale. Il risultato di questo esperimento è che l'attività delle cellule in V5 riflette accuratamente l'intensità del segnale fornito dal movimento uniforme. I neuroni in quest'area rispondono selettivamente a particolari direzioni di movimento, aumentando sistematicamente ed accuratamente la loro attività quando aumenta la percentuale di punti che si spostano nella direzione preferenziale delle cellule neuronali.

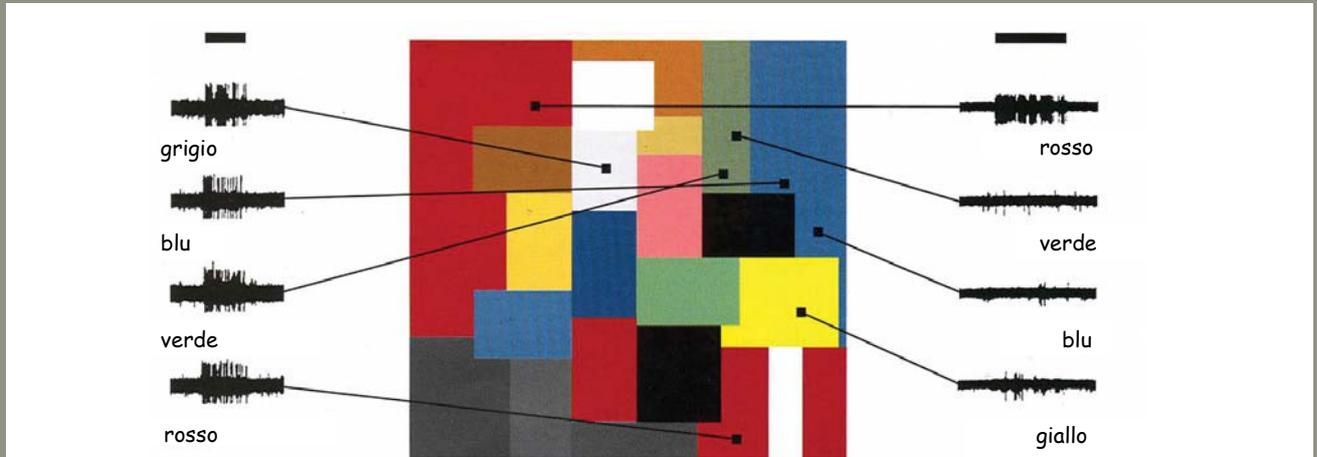
Sorprendentemente, alcuni neuroni **singoli** riescono ad identificare il movimento dei puntini come fa un osservatore, sia esso una scimmia o un essere umano, compiendo una scelta decisionale. La microstimolazione di questi neuroni attraverso l'elettrodo che si usa normalmente per la registrazione può persino influenzare il giudizio della scimmia sullo spostamento relativo. Questo è insolito, poiché un gran numero di neuroni è sensibile alla osservazione del movimento e ci si potrebbe aspettare che la decisione sia basata sull'attività di molti neuroni anziché soltanto di pochi. Le decisioni relative al colore procedono in maniera simile (vedi riquadro Frontiere della Ricerca).



Il cubo di Necker è un'immagine percettivamente reversibile. L'immagine sulla retina non cambia, ma il cubo può essere visto con l'angolo in alto a sinistra sia vicino all'osservatore che in profondità. A volte, ma raramente, può essere anche visto come una serie di linee che si incrociano su una superficie piana. Esistono molti tipi di figure reversibili, alcune delle quali sono state utilizzate per esplorare i segnali nervosi che vengono coinvolti quando il cervello visivo prende decisioni su quale configurazione sia dominante in ogni movimento.

### Frontiere della ricerca

Cellule sensibili ai colori. Alcuni neuroni mostrano attività elettriche diverse a seconda della lunghezza d'onda della luce. Alcuni rispondono meglio alle onde lunghe, altri a quelle corte. Si potrebbe pensare che ciò sia sufficiente a percepire i colori, ma non è sempre così. Si paragoni l'attività della cellula a sinistra con quella della cellula a destra. Qual è la differenza? Sotto è riportata una rappresentazione di uno sfondo colorato chiamato Mondrian (dall'artista Peter Mondrian). Può essere illuminato con differenti combinazioni di onde lunghe, medie e corte, così che ogni pannello colorato rifletta esattamente la stessa miscela luminosa: ciò nonostante si continuerebbero a percepire colori diversi a causa della presenza dei pannelli circostanti.



**Sinistra.** La cellula a sinistra, registrata in V1, risponde più o meno allo stesso modo in tutti i casi. Non "percepisce" i colori: semplicemente risponde alle identiche miscele di lunghezze d'onda riflesse da ciascun pannello.

**Destra.** Una vera cellula sensibile ai colori dell'area V4 risponde bene a un'area del Mondrian che viene percepita rossa, ma molto meno agli altri pannelli. La diversità di risposta si verifica anche quando la stessa tripletta di lunghezze d'onda è riflessa da ciascun pannello. V4 può quindi essere la parte del cervello che consente di percepire i colori, anche se alcuni neuroscienziati ritengono che non sia l'unica.

### Vedere per Credere

L'area V5 fa qualcosa di più della sola ricognizione del movimento di uno stimolo visivo, essa registra anche la percezione del movimento. Usando alcuni trucchi visivi per far sembrare che un gruppo di puntini si stia spostando in una direzione muovendo opportunamente i puntini circostanti, fornendo dunque l'illusione del movimento, si osserva che i neuroni corrispondenti all'area dell'illusione inviano segnali differenti se lo spostamento illusorio è percepito verso sinistra o verso destra. Se il movimento è completamente casuale, i neuroni che normalmente preferiscono lo spostamento verso destra si attiveranno un po' di più se l'osservatore riferisce che il movimento casuale dei puntini sembra andare complessivamente verso destra (e viceversa). Le differenze fra le decisioni neuronali di "movimento verso destra" o "verso sinistra" riflettono il giudizio dell'osservatore sulla modalità del moto, non la natura assoluta del moto che viene presentato.

Altri esempi di decisione o indecisione visiva includono le reazioni alla percezione di oggetti ambigui, come il cosiddetto **cubo di Necker** (vedi Figura). Con questo tipo di stimolo, l'osservatore è posto in uno stato forzato di indecisione e fluttua continuamente fra un'interpretazione e l'altra. Un simile conflitto interiore si può sperimentare guardando un gruppo di linee verticali con l'occhio sinistro mentre con l'occhio destro si guardano delle linee orizzontali. La percezione risultante è detta **rivalità binoculare**, poiché l'osservatore riferisce inizialmente di vedere soprattutto linee verticali, poi orizzontali e poi nuovamente verticali. Di nuovo, i neuroni in diverse aree della corteccia visiva reagiscono diversamente quando la percezione dell'osservatore cambia da orizzontale a verticale e viceversa.

Il nostro mondo visibile è affascinante. La luce ci permette di apprezzare il mondo intorno a noi, dai semplici oggetti alle opere d'arte che ci abbagliano ed incantano. Milioni e milioni di neuroni, che vanno dal fotorecettore retinico che risponde ad un puntino luminoso al neurone in area V5 che decide se qualcosa nel mondo visibile si sta muovendo sono coinvolti con diversi ruoli. Tutto ciò avviene apparentemente senza sforzo nel nostro cervello. Non siamo ancora in grado di capire tutto questo, ma i neuroscienziati ci stanno lavorando e progrediscono a grandi passi.

Colin Blakemore ha contribuito alla comprensione di come il sistema visivo si sviluppi, compiendo studi pionieristici con culture cellulari per studiare le interazioni fra porzioni diverse delle vie nervose nel cervello dell'embrione (a sinistra). A destra sono mostrati assoni (colorati in verde) che scendono dalla corteccia verso altre fibre (colorate in arancione) e che "si stringono la mano" prima di salire verso la corteccia.

