

Gli edifici assolvono a molti scopi. Si potrebbe pensare che la loro funzione principale consista nel dare riparo agli abitanti e ai loro beni, un posto per stare al caldo e all'asciutto e per dormire senza il timore di predatori o di agenti patogeni. Gli edifici offrono, inoltre, spazi per ospitare e agevolare gruppi sociali impegnati nell'apprendimento, nel lavoro o nel gioco. Ed essi assicurano uno spazio per la privacy, per ristorarsi e per rifugiarsi dalle richieste sociali tipiche dell'esistenza umana.

Le necessità fisiche primarie, insieme alle molte altre sussidiarie, testimoniano semplicemente il fatto che siamo creature biologiche. In aggiunta ai vincoli costruttivi dettati dal sito, dai materiali e dal budget, un architetto deve rispondere agli aspetti non negoziabili della biologia umana. In realtà l'architettura si è sempre piegata alla biologia: l'altezza del bancone di lavoro nelle cucine, il rapporto alzata pedata delle scale, l'illuminazione, le risorse d'acqua, il riscaldamento e i flussi d'aria che attraversano un edificio sono tutte soluzioni rispondenti a necessità e vincoli biologici importanti. Ci sono estensioni creative di queste soluzioni basate sulla tecnologia sotto forma di *smart homes*. Tuttavia esistono esempi più raffinati nei quali la comprensione più in profondità della biologia umana consente soluzioni qualitativamente superiori. Si consideri, per esempio, la supremazia della maniglia come imperativo progettuale imposto dalla biologia. Vista dalla prospettiva rigorosamente biomeccanica, una maniglia è di gran lunga uno strumento migliore del tradizionale pomolo tondo per aprire il chiavistello. La spinta a adottare questa soluzione migliore deriva in larga misura dal riconoscimento che essa potrebbe aiutare persone con certi deficit biologici ("disabilità fisiche"). Non sorprende che l'*U.S. Americans with Disabilities Act* (1990) abbia reso obbligatorio l'impiego delle maniglie perché la loro forma è facile da afferrare con una mano e non richiede "per azionarla una stretta o una pressione o una torsione del polso difficili da eseguire"<sup>1</sup>. Si tratta di un esempio in cui il progetto centrato esplicitamente sul dettaglio di un problema biologico consente una maggiore praticità e un utilizzo migliorato.

---

<sup>1</sup> Americans with Disabilities Act, 1990.

Nel momento stesso in cui i nostri edifici offrono soluzioni fisiche a problemi dettati dalla biologia umana, ci aspettiamo anche che essi soddisfino le nostre esigenze psicologiche. Ci aspettiamo che ci ispirino e ci eccitino, che favoriscano stati mentali che ci guidano a scoprire, a comprendere e a creare, a guarire e a trovare la nostra strada, a chiamare a raccolta le caratteristiche migliori della nostra natura. Ci aspettiamo che siano meravigliosi. Non è sorprendente che considerazioni psicologiche siano state comprese nei processi progettuali fin da quando gli esseri umani iniziarono a costruire ambienti comunitari pensati per durare nel tempo. L'antica tradizione di Vaastu Veda, che dettava il progetto dei templi e delle abitazioni nella prima società Hindu, si concentrava sui modi nei quali un edificio orienta le “energie spirituali” capaci di influenzare l'anima degli abitanti<sup>2</sup> o, nel gergo attuale, i modi in cui la progettazione influisce sui molteplici aspetti del benessere mentale. Il feng shui, l'antica filosofia cinese della progettazione di edifici, nacque per ragioni analoghe<sup>3</sup>.

### **Vaastu Veda nell'epoca delle neuroscienze**

Mentre i bisogni psicologici di base degli abitanti di un edificio rimangono oggi sostanzialmente gli stessi dei tempi che furono, disponiamo di uno strumento notevole che ci promette un nuovo punto di vista su come un'architettura influisce sui nostri stati mentali: il moderno campo delle neuroscienze. Considerate in senso lato, le neuroscienze sono un termine ombrello per indicare un insieme di discipline empiriche, fra cui: la biologia, la psicologia sperimentale, le scienze cognitive, la chimica, l'anatomia, la psicologia, la *computer science*, che indagano la relazione fra il cervello e il comportamento<sup>4</sup>. Ci sono processi interni molteplici alla base di tale relazione, tra cui la sensazione, la percezione, la cognizione, la memoria e l'emozione.

Ci sono pure livelli multipli rispetto ai quali possiamo studiare e caratterizzare la relazione fra il cervello e il comportamento. Per esempio possiamo descrivere il comportamento in termini di interazioni fra ampi sistemi di cervello deputati all'elaborazione sensoriale e alla memoria. Oppure possiamo approfondire ed esplorare come le interazioni all'interno dei circuiti delle cellule del cervello (neuroni) diano origine alle proprietà di sistema più ampie, come la percezione visiva. Ancora più in profondità, possiamo esplorare

<sup>2</sup> Sashikala Ananth, *The Penguin Guide to Vaastu: The Classical Indian Science of Architecture and Design*, Penguin Books India, Nuova Delhi, 1999.

<sup>3</sup> Stephen Skinner, *Feng Shui History: The Story of Classical Feng Shui in China and the West from 221 BC to 2012 AD*, Golden Hoard Press, Singapore, 2012.

<sup>4</sup> E. Kandel, J. H. Schwartz, T. M. Jessell, S. A. Siegelbaum, A. J. Hudspeth, a cura di, *Principles of Neural Science*, McGraw-Hill, New York, 2012.

le componenti e gli eventi molecolari che sottendono i comportamenti dei singoli neuroni o i codici genetici e i *pattern* dell'espressione genetica che producono i substrati cellulari e i circuiti organizzati per il funzionamento cerebrale.

Soprattutto le moderne neuroscienze ci offrono gli strumenti e i concetti che ci permettono di identificare la catena biologica causale che si estende dai geni al comportamento umano. Un approccio così potente e la ricca comprensione delle funzioni cerebrali che esso ci garantisce hanno naturalmente vaste implicazioni per le numerose applicazioni ai molti problemi nella società umana, in particolare nel campo della medicina. Tuttavia ci si potrebbe ragionevolmente chiedere, e molti lo fanno, se ci sia una qualche utilità pratica per l'architettura e il design che deriva, per esempio, dal sapere come i neuroni sono collegati nel cervello. Io sostengo che sia di una qualche utilità: conoscere come una macchina funziona può darci indicazioni sulle sue prestazioni e sui suoi limiti, indicazioni su ciò che fa meglio e su come potremmo essere in grado di regolarla rispetto al compito da svolgere; comprendere un circuito amplificatore della tua autoradio può aiutarti a formulare delle ipotesi di principio in merito ai tipi di suono che diffonde meglio; sapere come il sistema visivo umano è collegato potrebbe, per esempio, orientarti verso previsioni inaspettate sull'estetica visiva e sull'orientamento all'interno di un edificio. Allo stesso tempo, naturalmente, il livello di analisi delle funzioni cerebrali dovrebbe essere appropriato alla domanda. In maniera analoga al modo in cui la conoscenza del flusso di elettroni in un transistor ti dà pochi suggerimenti pratici su cosa è in grado di fare la tua autoradio, sembra improbabile che l'attuale conoscenza dei *pattern* dell'espressione genetica che sottostà ai circuiti cerebrali determini un gran vantaggio per la progettazione. Detto ciò, la nostra comprensione sullo sviluppo, sul funzionamento e sulla plasticità del cervello è ancora in evoluzione, e potremmo scoprire che un quadro multivello più ampio alla fine ci condurrà verso nuovi modi di pensare.

### **Il cervello come elaboratore di informazioni**

Nel cercare di comprendere più concretamente quanto le neuroscienze potrebbero essere importanti per la progettazione, è utile pensare al cervello come a uno strumento che elabora informazioni, ed è così, naturalmente. Infatti il cervello è il più potente strumento conosciuto dall'uomo per elaborare informazioni: acquisisce le informazioni sul mondo attraverso i sensi e poi le organizza, le interpreta e le integra. Il cervello assegna valore, emozione e utilità potenziale alle informazioni acquisite e le immagazzina, grazie alla memoria, per potervi accedere in un secondo momento. La memoria delle informazioni ricevute forma la base per le azioni future.

Continuando a ragionare secondo le linee di pensiero appena tracciate, possiamo affermare che l'architettura è una sorgente molteplice di informazioni. L'aspetto sensoriale ci dice com'è organizzato lo spazio e quindi la sua utilità e la sua navigabilità. Allo stesso modo l'aspetto e la sua relazione con la funzione assegnata possono essere profondamente simbolici, suggerendo una visione più ampia delle responsabilità verso gli utenti dello spazio e del loro rapporto con la società. Le esperienze precedenti con il mondo entreranno naturalmente in gioco nel comprendere il significato di uno spazio e di come potrebbe servire allo scopo in modo più efficiente oppure ispirare altri usi non previsti. E, naturalmente, l'informazione veicolata attraverso i nostri sensi, considerata in un contesto simbolico e funzionale, potrebbe essere la sorgente di risposte estetiche ed emotive potenti, compresa la nostra percezione della bellezza.

Basandoci su questa idea dell'elaborazione delle informazioni possiamo iniziare ad articolare alcuni principi di base su come la conoscenza del nostro cervello potrebbe avere delle ricadute nella progettazione architettonica. I principi vengono opportunamente organizzati nelle categorie di *acquisizione*, *organizzazione* e *uso* delle informazioni. In termini di acquisizione, l'ambiente costruito dovrebbe essere ottimizzato ai vincoli neurali delle prestazioni sensoriali e sul comportamento di ricerca delle informazioni, e ottimizzato rispetto all'adattabilità di tali vincoli. Al livello più semplice sapere qualcosa sulla sensibilità visiva dell'uomo – che cosa vediamo meglio e che cosa invece abbiamo difficoltà a vedere – potrebbe definire, per esempio, delle regole per una progettazione efficiente degli ambienti di lavoro, dell'apprendimento, della guarigione e dello svago. Più avanti, all'interno del capitolo, approfondirò alcuni esempi di ottimizzazione delle prestazioni sensoriali.

In termini di organizzazione l'ambiente costruito dovrebbe facilitare l'organizzazione percettiva e dare origine alla formazione di schemi cognitivi/mappe neurali per i compiti da svolgere. Un esempio dell'importanza delle mappe neurali si può riscontrare nelle ricerche sull'orientamento spaziale<sup>5</sup>. Un ricco filone di ricerca delle neuroscienze ha svelato molto su come lo spazio e la posizione di un osservatore nello spazio siano rappresentati da una popolazione di neuroni – mappe neurali di spazio – in una struttura del cervello conosciuta come ippocampo<sup>6</sup>. Una conoscenza del genere, unita alla comprensione di come i segni e altri indizi sensoriali presenti nell'ambiente costruito facilitino l'orientamento spaziale, potrebbe condurre a nuove idee su come agevolare la

<sup>5</sup> Reginald G. Golledge, "Human Cognitive Maps and Wayfinding," in Id., a cura di, *Wayfinding Behavior*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1999.

<sup>6</sup> T. Hartley, C. Lever, N. Burgess, J. O'Keefe, "Space in the Brain: How the Hippocampal Formation Supports Spatial Cognition", in «Philosophical Transactions of the Royal Society», B 369 (2014).

navigabilità attraverso la progettazione. Un'idea del genere, a sua volta, potrebbe essere d'aiuto a chi soffre di disordini della memoria associati alla demenza, e contribuire a migliorare la progettazione degli *hub* dei trasporti e gli spazi pubblici in genere<sup>7</sup>.

In termini di utilizzo, l'ambiente costruito dovrebbe stimolare stati interiori capaci di avvantaggiare le prestazioni sensoriali, percettive e cognitive e i risultati comportamentali. Quando qui parlo di "stati interiori" mi riferisco a quelli associati all'attenzione focalizzata, alla motivazione, all'emozione e allo stress. Diversi studi recenti sostengono la congettura plausibile che certi ambienti provochino stati attentivi<sup>8</sup> o stati di ansietà e stress<sup>9</sup> che possono facilitare o interferire con l'abilità dell'osservatore nel rispondere alle informazioni contenute in un ambiente o a portare a termine azioni per le quali quell'ambiente era stato concepito. Nel suo lavoro con i pazienti malati di Alzheimer, per esempio, John Zeisel<sup>10</sup> ha dimostrato che la progettazione architettonica ottiene certi risultati che hanno un valore clinico: l'ansietà e l'aggressività si riducono in ambienti con una maggiore privacy e personalizzazione; l'emarginazione sociale diminuisce negli ambienti quando c'è un numero ridotto di spazi comuni ognuno con la propria identità; l'agitazione viene arginata in ambienti che possiedono un carattere più domestico che istituzionale. Allo stesso modo questo tipo di conoscenza potrebbe guidare la progettazione di aule, di sale per conferenze, strutture sanitarie, ambienti per il lavoro e altro ancora.

### La funzione visiva, la percezione e l'architettura

Un'area di ricerca delle neuroscienze che è particolarmente adatta a tale tipo di approccio alla elaborazione dell'informazione – e per la sua rilevanza per l'architettura – è quella associata allo studio del sistema visivo. Tutto ciò è vero in parte perché la vista gioca un ruolo primario nell'esperienza architettonica, ma anche perché ora abbiamo una grande quantità di informazioni su come lavora il sistema visivo<sup>11</sup>. Nei prossimi paragrafi mi soffermerò su alcuni esempi desunti dalla nostra comprensione attuale della vista, per illustrare i pregi di questo modo di pensare. Per prima cosa, per preparare il terreno, riassumerò brevemente

<sup>7</sup> Eduardo Macagno, "Research Technology and Architectural Design", *Lecture* alla conferenza ANFA, 20 settembre 2012, Salk Institute for Biological Studies, La Jolla, California.

<sup>8</sup> S. Kaplan, "The Restorative Benefits of Nature: Toward an Integrative Framework", in «*Journal of Environmental Psychology*» n. 15 (1995), pp. 159-182.

<sup>9</sup> Esther M. Sternberg, *Healing Spaces: The Science of Place and Well-Being*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 2010.

<sup>10</sup> John Zeisel, *I'm Still Here: A Breakthrough Approach to Living with Someone with Alzheimer's*, Avery, New York, 2009.

<sup>11</sup> C.D. Gilbert, "The Constructive Nature of Visual Processing"; M. Meister, M. Tessier-Lavigne, "Low-Level Visual Processing: The Retina"; C.D. Gilbert, "Intermediate-Level Visual Processing and Visual Primitives"; T.D. Albright, "High-Level Visual Processing: Cognitive Influences"; M.E. Goldberg, R.H. Wurtz, "Visual Processing and Action". Tutti i saggi sono stati pubblicati in Eric Kandel et al., cit.

l'organizzazione di base del sistema visivo umano insieme ai metodi impiegati dalla ricerca neuroscientifica per studiarlo.

Ovviamente, l'esperienza visiva dipende dall'informazione veicolata dai *pattern* di luce. Molta della luce a *pattern* che si vede ha origine dalla riflettività delle superfici nel nostro ambiente, la luce del sole, per esempio, viene riflessa dalla facciata di un edificio. Essa è, dal punto di vista ottico, rifratta dal cristallino situato davanti al nostro occhio, producendo un'immagine a fuoco che viene proiettata sulla superficie retrostante dell'occhio, che è allineata con un tessuto neuronale fondamentale, conosciuto come retina, dove ha luogo la fototrasduzione: l'energia sotto forma di luce viene tradotta in energia sotto forma di segnali elettrici, che vengono comunicati dai neuroni. I neuroni retinici, che trasportano l'informazione sotto forma di siffatti segnali, fuoriescono dagli occhi attraverso il nervo ottico e terminano in una regione vicina al centro del cervello conosciuta come talamo. L'informazione che raggiunge questo livello viene trasportata attraverso sinapsi chimiche e trasmessa dalle fibre talamiche per raggiungere la corteccia visiva. La corteccia visiva comprende la regione più posteriore della corteccia cerebrale, la quale è un ampio foglio rugoso di tessuto neuronale che forma la superficie esterna del cervello umano. La corteccia visiva è il luogo dove avviene l'elaborazione ad alto livello delle immagini visive ed è un sostrato che è alla base delle esperienze visive consapevoli del mondo. In questo caso il nostro obiettivo è capire come l'organizzazione della corteccia visiva potrebbe avere delle ricadute nella progettazione degli ambienti per l'uomo.

### **Approcci empirici alla comprensione del processo visivo**

C'è una varietà di potenti strumenti sperimentali per studiare l'organizzazione e il funzionamento del cervello che sono qui ricapitolati rispetto al modo in cui vengono applicati per capire il sistema visivo<sup>12</sup>. Forse l'approccio più semplice riguarda l'analisi delle risposte comportamentali agli stimoli sensoriali. Un metodo del genere, conosciuto come psicofisico, risale al XIX secolo e consiste nel chiedere alle persone, in condizioni molto controllate, di dire cosa osservano quando gli vengono presentati degli stimoli visivi che variano secondo dimensioni semplici, come la lunghezza d'onda della luce o la direzione del moto. Da ciò siamo in grado di quantificare con precisione quali informazioni stimolo gli osservatori sono in grado di percepire, ricordare e utilizzare per guidare le proprie azioni. Tale approccio è particolarmente prezioso in combinazione con altre tecniche sperimentali, come quelle a seguire.

<sup>12</sup> T.D. Albright, T.M. Jessell, E.R. Kandel, M.I. Posner, "Neural Science: A Century of Progress and the Mysteries that Remain", in «Cell 100/Neuron 25» (2000), supplemento S1-S55.

Un importante complemento alla psicofisica è la neuroanatomia, che rivela la funzione delle unità cellulari del cervello e i loro schemi di interconnessione: possiamo tracciare, per esempio, le connessioni neuronali dalla retina fino agli stadi multipli dell'elaborazione visiva nella corteccia cerebrale, così da ottenere un diagramma a rete dei circuiti neuronali<sup>13</sup>. Tali schemi di collegamento rivelano, a loro volta, i principi computazionali attraverso i quali l'informazione visiva viene combinata e astratta per produrre l'esperienza percettiva.

Un'altra potente tecnica sperimentale è l'elettrofisiologia, il cui principale scopo è comprendere come l'informazione fluisca attraverso il sistema. Per misurare il flusso vengono utilizzati dei microelettrodi – cavi sottili che sono isolati per la loro lunghezza ed esposti alle loro estremità – inseriti nel cervello per monitorare i segnali elettrici (conosciuti come potenziali di azione) provenienti dai singoli neuroni. Da simili sperimentazioni sappiamo che la frequenza dei segnali elettrici trasportati da un neurone visivo è spesso in correlazione con una specifica proprietà dello stimolo visivo. Un neurone potrebbe così “rispondere” selettivamente a un particolare colore di luce o a una forma specifica<sup>14</sup>. I *pattern* di segnalazione selettiva riflettono l'informazione visiva codificata dai circuiti neuronali. Inoltre, monitorando le modalità attraverso le quali i segnali vengono trasformati da uno stadio di elaborazione all'altro, possiamo inferire gli “obiettivi” di ogni stadio e trarre indicazioni sulla computazione sottesa.

L'utilizzo dell'elettrofisiologia del tipo a grana sottile, descritta poc'anzi, è in larga misura limitato all'impiego con animali da laboratorio, ma esistono approcci a larga scala che coinvolgono valutazioni di *pattern* di attività cerebrali registrate sulla superficie del cuoio capelluto. Nonostante la relativa grossolanità dell'ultimo approccio, i metodi con l'elettroencefalogramma (EEG) sono vantaggiosi rispetto al nostro interesse nei confronti dell'architettura, perché possono essere impiegati per valutare ampi *pattern* di attività neuronali, in modo non invasivo, sugli esseri umani che stanno esplorando attivamente un ambiente<sup>15</sup>.

Spesso gli approcci elettrofisiologici vengono integrati con una nuova tecnica sperimentale conosciuta come risonanza magnetica funzionale (fMRI). Questo metodo non invasivo sfrutta il fatto che: 1. il sangue ossigenato ha una marcatura diversa in un'immagine a risonanza magnetica; 2. il sangue ossigenato viene dinamicamente reindirizzato a regioni del cervello

---

<sup>13</sup> D.J. Felleman, D.C. Van Essen, “Distributed Hierarchical Processing in the Primate Cerebral Cortex”, in «Cerebral Cortex» n. 1 (1991), pp. 1-47.

<sup>14</sup> Gilbert, “Intermediate-Level Visual Processing and Visual Primitives”, cit.; Albright, “High-Level Visual Processing: Cognitive Influences”, cit.

<sup>15</sup> L. Zhang, Y. Chi, E. Edelman, J. Schulze, K. Gramann, A. Velasquez, G. Cauwenberghs, E. Macagno, “Wireless Physiological Monitoring and Ocular Tracking: 3D Calibration in a Fully-Immersive Virtual Health Care Environment”, Proceedings of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Conference, Buenos Aires, 31 agosto – 4 settembre 2010, pp. 4464-4467.

che sono metabolicamente attive; 3. i neuroni che sono elettricamente attivi hanno un carico metabolico più elevato. Così il segnale del flusso sanguigno attraverso l'fMRI fa le veci delle misurazioni delle attività neuronali e può essere utilizzato per identificare le regioni del cervello che sono attive rispetto a differenti condizioni sensoriali, percettive, cognitive e/o comportamentali<sup>16</sup>.

Le diverse tecniche sperimentali delle moderne neuroscienze appena riassunte sono più potenti quando vengono utilizzate di concerto con le altre, laddove possono collettivamente definire un quadro ricco e coerente dei modi nei quali l'informazione viene acquisita e organizzata dal cervello e utilizzata per prendere delle decisioni e guidare delle azioni.

### **Sulle proprietà statistiche dell'informazione visiva**

Con questa breve introduzione sull'organizzazione del sistema visivo e sui metodi con i quali può essere studiato possiamo prendere in considerazione come l'attuale conoscenza delle modalità di elaborazione della conoscenza da parte del cervello potrebbe suggerire principi di progettazione per gli ambienti per l'uomo. Comincerò con la premessa che il cervello si è evoluto per massimizzare l'acquisizione di informazioni comportamentali rilevanti sull'ambiente, ma deve farlo a dispetto di alcuni vincoli biologici, che comprendono varie sorgenti di rumore e colli di bottiglia dovuti all'organizzazione neuronale del cervello stesso, e di conseguenza i nostri sistemi sensoriali sono trasduttori men che perfetti. Ovvero, per dirla più concretamente, ci sono alcune cose che vediamo meglio di altre.

Per spiegare come un limite del genere si applichi all'architettura e al design possiamo iniziare col misurare le proprietà fisiche di scene visive dalle quali il cervello estrae le informazioni. Ci sono molti modi per farlo: sia gli ambienti naturali sia quelli artificiali hanno dati statistici misurabili e possiamo quantificare cose semplici come le distribuzioni di frequenza di caratteristiche primarie, quali i diversi colori di una scena o l'orientamento dei contorni (per esempio, quelli che definiscono la cornice di una finestra o i rami di un albero). Questi semplici dati statistici possono venire confrontati con la sensibilità, determinata empiricamente, del sistema visivo rispetto a quelle stesse caratteristiche. La sensibilità offre una misura del livello fino al quale le persone possono realmente acquisire (e quindi utilizzare) certe classi di informazione presenti nell'ambiente. Utilizzando lo stesso approccio possiamo anche quantificare i dati statistici delle

<sup>16</sup> N.K. Logothetis, "What We Can Do and What We Cannot Do with fMRI", in «Nature» n. 453 (2008), pp. 869-878.

caratteristiche delle immagini di ordine superiore – che sono probabilmente più direttamente rilevanti per il comportamento umano in ambienti naturali e artificiali – come forme particolari e le probabilità congiunte di certe caratteristiche (per esempio, quanto spesso un certo colore coincide nello spazio con una certa forma). Un esempio specifico a cui si è guardato con un certo qual dettaglio è la relazione fra i diversi orientamenti di linee in funzione della loro vicinanza nello spazio visivo<sup>17</sup>. Come suggerisce l'intuito c'è una forte propensione verso i contorni immagine che hanno all'incirca orientamenti simili, tuttavia non appena la distanza fra di essi aumenta si manifesta un progressivo incremento nella varianza fra coppie di orientamenti contorno. Basta solo guardare i contorni di oggetti comuni artificiali o naturali – una teiera, per esempio, o una rosa – per accorgersi che questa relazione dell'orientamento del contorno in funzione della distanza riflette semplicemente le proprietà fisiche delle cose nel nostro mondo visivo. L'importanza funzionale che ne deriva può venire compresa per contrasto con artefatti che ne violano il principio: i dati statistici dell'immagine di un quadro di Jackson Pollock<sup>18</sup>, per esempio, riflettono un tumulto di angoli e colori le cui relazioni non giungono a una reale sintesi percettiva.

### Organizzazione funzionale del cervello visivo

Alcune intuizioni e previsioni inaspettate provengono dalla valutazione dei dati statistici delle immagini insieme alla conoscenza dei caratteri organizzativi della corteccia visiva. Negli ultimi decenni abbiamo appreso che ci sono un certo numero di regioni diverse della corteccia visiva specializzate nell'elaborare tipi unici di informazioni visive; una regione elabora l'orientamento contorno, un'altra il movimento, un'altra elabora il colore e così via<sup>19</sup>. Tale conoscenza deriva, in parte, dagli studi elettrofisiologici del tipo di quelli descritti sopra nei quali la risposta (misurata come frequenza dei potenziali di azione) di un neurone visivo varia con il valore di un semplice stimolo lungo una dimensione caratteristica specifica: per esempio, il particolare angolo di un contorno orientato o la particolare direzione di un *pattern* di movimento.

La fig. 10.1 illustra la “sintonizzazione” cellulare come originariamente scoperta per i neuroni della corteccia visiva primaria<sup>20</sup>. I dati rappresentano azioni potenziali registrate in

<sup>17</sup> G.A. Cecchi, A.R. Rao, Y. Xiao, E. Kaplan, “Statistics of Natural Scenes and Cortical Color Processing”, in «Journal of Vision» n. 10 (2010), pp. 1-13; W.S. Geisler, “Visual Perception and the Statistical Properties of Natural Scenes”, in «Annual Review of Neuroscience» n. 55 (2008), pp. 167-192; M.I. Sigman, G.A. Cecchi, C.D. Gilbert, M.O. Magnasco, “On a Common Circle: Natural Scenes and Gestalt Rules”, in «Proceedings of the National Academy of Sciences» n. 98 (2001), pp. 1935-1940.

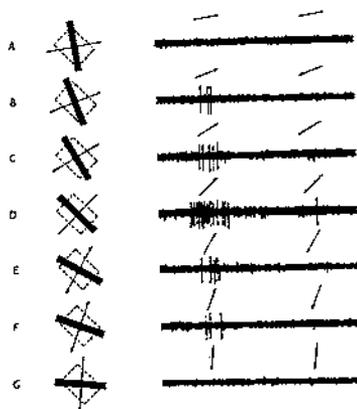
<sup>18</sup> Cecchi, Rao, Xiao, Kaplan, “Statistics of Natural Scenes and Cortical Color Processing”, cit.

<sup>19</sup> S. Zeki, “Parallelism and Functional Specialization in Human Visual Cortex”, in «Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology» n. 55 (1990), pp. 651-661.

<sup>20</sup> D.H. Hubel, T.N. Wiesel, “Receptive Fields and Functional Architecture of Monkey Striate Cortex”, in «Journal



**10.1** Selettività di orientamento nella corteccia visiva primaria. D.H. Hubel e T.N. Wiesel, 1968.



*pagina a fronte*  
**10.2** Campo di grano.

**10.3** Foglie di fico delle pagode (Ficus religiosa).

**10.4** Tundra dell'Alaska.

**10.5** Piume di struzzo.

funzione dell'orientamento e della direzione di movimento di un semplice stimolo visivo (un contorno orientato). In questo caso il neurone registrato ha risposto al meglio rispetto a un orientamento leggermente fuori dalla verticale che si spostava verso destra, e la risposta neuronale è diminuita in funzione della deviazione angolare del contorno rispetto a questo orientamento preferenziale. La maggior parte dei neuroni nella corteccia visiva primaria manifesta questa proprietà di "selettività di orientamento". La loro scoperta negli anni Sessanta da parte di David Hubel e Torsten Wiesel ha trasformato il modo in cui concepiamo il sistema visivo e ha incoraggiato lo sviluppo di un insieme di tecniche completamente nuove per studiarlo. L'esistenza di questa popolazione di neuroni specializzati nella corteccia cerebrale, e di altre popolazioni che rappresentano lo stimolo direzione<sup>21</sup> e lo stimolo colore<sup>22</sup>, spiega il primato di tali caratteristiche, così semplici, nella nostra esperienza visiva del mondo.

Ognuna di queste aree funzionalmente specifiche è ulteriormente organizzata secondo alcuni principi organizzativi. Uno di questi è l'organizzazione colonnare, il che significa che valori simili di una data dimensione caratteristica (come l'orientamento contorno o la direzione di movimento) vengono rappresentati nei tessuti corticali adiacenti<sup>23</sup>.

of Physiology» n. 195 (1968), pp. 215-243.

<sup>21</sup> T.D. Albright, "Cortical Processing of Visual Motion", in F.A. Miles, J. Wallman, a cura di, *Visual Motion and Its Role in the Stabilization of Gaze*, Elsevier, Amsterdam, 1993.

<sup>22</sup> S. Zeki, L. Marini, "Three Stages of Colour Processing in the Human Brain", in «Brain» n. 121 (1998), pp. 1669-1685; K.R. Gegenfurtner, "Cortical Mechanisms of Colour Vision", in «Nature Reviews Neuroscience» n. 4 (2003), pp. 563-572.

<sup>23</sup> V.B. Mountcastle, "An Organizing Principle for Cerebral Function: The Unit Model and the Distributed System", in Gerald M. Edelman, Vernon B. Mountcastle, a cura di, *The Mindful Brain*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1978; D. H. Hubel, T. N. Wiesel, "Sequence Regularity and Geometry of Orientation Columns in the Monkey Striate Cortex", in «Journal of Comparative Neurology» n. 158 (1974), pp. 267-293.



Le colonne funzionali si estendono attraverso lo spessore della corteccia cerebrale e sono mediate da microcircuiti neuronali che corrispondono anatomicamente alle stesse colonne<sup>24</sup>. L'architettura neuronale è tale che il valore preferenziale della caratteristica rilevante (per esempio l'orientamento preferenziale del contorno) rimane costante quando ci si muove dalla superficie attraverso la profondità della corteccia, ma cambia gradualmente quando ci spostiamo nel piano ortogonale, cioè parallelo alla superficie corticale<sup>25</sup>. La scala di questo sistema è a grana fine, con un ciclo completo di orientamenti preferenziali contenuto in meno di un millimetro di corteccia. Un'organizzazione colonnare straordinariamente simile esiste in una regione della corteccia visiva specializzata nella direzione codificata del movimento<sup>26</sup>. In questo caso, neuroni individuali rappresentano specifiche direzioni, piuttosto che orientamenti contorno, e un ciclo completo di colonne direzione si estende allo stesso modo su una regione di corteccia inferiore al millimetro.

<sup>24</sup> Mountcastle, "An Organizing Principle for Cerebral Function", cit.; R.J. Douglas, K.A.C. Martin, "Neuronal Circuits of the Neocortex", in «Annual Review of Neuroscience» n. 27 (2004), pp. 419-451.

<sup>25</sup> Hubel, Wiesel, "Sequence Regularity and Geometry", cit.

<sup>26</sup> T.D. Albright, R. Desimone, G.G. Gross, "Columnar Organization of Directionally Selective Cells in Visual Area MT of the Macaque", in «Journal of Neurophysiology» n. 51 (1984), pp. 16-31.

pagina a fronte  
 10.6 Fay Jones,  
 Thorncrown  
 Chapel,  
 Fayetteville,  
 Arkansas.

10.7 Chiostri,  
 Monreale,  
 Sicilia.

Un altro principio organizzativo del sistema visivo si basa sul concetto di campi associativi<sup>27</sup>. I campi associativi riflettono *pattern* di connessioni anatomiche locali che uniscono neuroni che rappresentano specifici valori di una dimensione visiva caratteristica. Nella corteccia visiva primaria la specificità di questi collegamenti è resa possibile dall'esistenza di un'organizzazione colonnare predisposta per rappresentare gli orientamenti contorno (vedi sopra). I collegamenti si manifestano come legami anatomici fra colonne che rappresentano specifici orientamenti contorno. In particolare, all'interno delle regioni corticali che rappresentano localizzazioni prossime nello spazio visivo esistono collegamenti forti fra le colonne che rappresentano orientamenti simili e solo collegamenti deboli fra le colonne che rappresentano orientamenti profondamente diversi (visto che l'orientamento perpendicolare occupa la posizione estrema)<sup>28</sup>. Mano a mano che la distanza spaziale cresce, il *pattern* delle connessioni anatomiche diventa più isotropico.

### Aspetti percettivi facilitati dall'architettura neuronale

Le proprietà organizzative altamente specifiche necessarie per rappresentare le informazioni sull'ambiente visivo sollevano interessanti domande e congetture sulla loro relazione con la percezione visiva. Per prima cosa notiamo che c'è un'apparente simmetria fra i campi associativi dell'orientamento contorno e i dati statistici (sintetizzati poc'anzi) degli orientamenti contorno nel mondo visivo. Come abbiamo visto, i contorni che sono vicini nello spazio visivo sono di solito più simili nell'orientamento rispetto a quelli che sono distanti. Analogamente, nella corteccia visiva le cellule che presentano orientamenti simili sono preferibilmente interconnesse a condizione che rappresentino anche luoghi vicini nello spazio visivo. Ci sono ragioni evolutive che si possono prendere in considerazione: sembra estremamente probabile che questo sistema corticale di organizzazione dell'informazione visiva abbia apportato un vantaggio selettivo nella determinazione di regolarità statistiche nel mondo in cui ci siamo evoluti. In ogni caso noi ipotizziamo che l'esistenza del sistema corticale aiuti a facilitare l'elaborazione delle relazioni che comunemente avvengono fra le caratteristiche visive.

L'elemento chiave di una congettura del genere, che ha implicazioni per l'architettura e il design, è il termine *facilitare*. Esperimenti psicofisici condotti sugli esseri umani hanno dimostrato, per esempio, che quando le persone vedono *pattern* casuali di segmenti

<sup>27</sup> D.J. Field, A. Hayes, R. Hess, "Contour Integration by the Human Visual System: Evidence for a Local 'Association Field'", in «Vision Research» n. 33 (1993), pp. 173-193.

<sup>28</sup> D.D. Stettler, A. Das, J. Bennett, C.D. Gilbert, "Lateral Connectivity and Contextual Interactions in Macaque Primary Visual Cortex", in «Neuron» n. 36 (2002), pp. 739-750.



di linea, qualsiasi relazione collineare, o quasi collineare, all'interno di quei *pattern* tende a distinguersi percettivamente da uno sfondo confuso<sup>29</sup> (secondo la nostra ipotesi, la sensibilità percettiva a queste composizioni viene *facilitata* dalle proprietà organizzative della corteccia visiva).

Come lasciato intendere dalle argomentazioni precedenti, i *pattern* visivi nei quali c'è una regolarità statistica fra gli orientamenti contorni adiacenti – linee ripetute in *pattern* collineari, curvilinei, paralleli e radiali, per esempio – si trovano ovunque nel mondo naturale. I campi d'erba, le onde dell'oceano, le venature in una foglia, i rami di un albero, le foglioline di una fronda di palmizio o i peli di una piuma sono tutti esempi che si incontrano comunemente e che incarnano questo principio.

Noi ipotizziamo che i progetti dell'uomo che adottano lo stesso principio in qualche modo ne beneficino – la loro individuazione viene “facilitata” – perché si inseriscono nel sistema neuronale altamente organizzato per rappresentare gli orientamenti contorni. Non è difficile trovare nell'ambiente costruito esempi significativi che mostrano *pattern* collineari, curvilinei, paralleli e radiali: la Cappella Thornycrown di Fay Jones a Fayetteville, in Arkansas, il

<sup>29</sup> W. Li, C.D. Gilbert, “Global Contour Saliency and Local Colinear Interactions”, in «Journal of Neurophysiology» n. 88 (2002), pp. 2846-2856; U. Polat, D. Sagi, “The Architecture of Perceptual Spatial Interactions”, in «Vision Research» n. 34 (1994), pp. 73-78.

*pagina a fronte*  
**10.8** Rosone  
 a Notre Dame,  
 Parigi.

colonnato romanico di chiese e monasteri come quello della Basilica di Assisi o il rosone della Cattedrale di Notre Dame. Il ponte strallato, che di solito viene costruito impiegando ventagli radiali di cavi per sostenere l'impalcato della strada, è un esempio particolarmente calzante; attualmente è il tipo di ponte autostradale maggiormente realizzato. Ci sono molte ragioni che spiegano un fatto del genere, ragioni che hanno origine dai progressi nella scienza dei materiali e nell'ingegneria, così come nell'economia della costruzione. Tuttavia ipotizzo che la popolarità del ponte strallato sia anche dovuta, almeno in parte, al fatto che il graduale cambiamento dei contorni si innesta in qualcosa di fondamentale nell'organizzazione originaria del nostro sistema visivo. Esiste, ne parlerò, un'attrazione verso progetti simili che ha origine nella facilità con la quale vengono elaborati e percepiti dai nostri sistemi visivi.

### Il senso dell'ordine

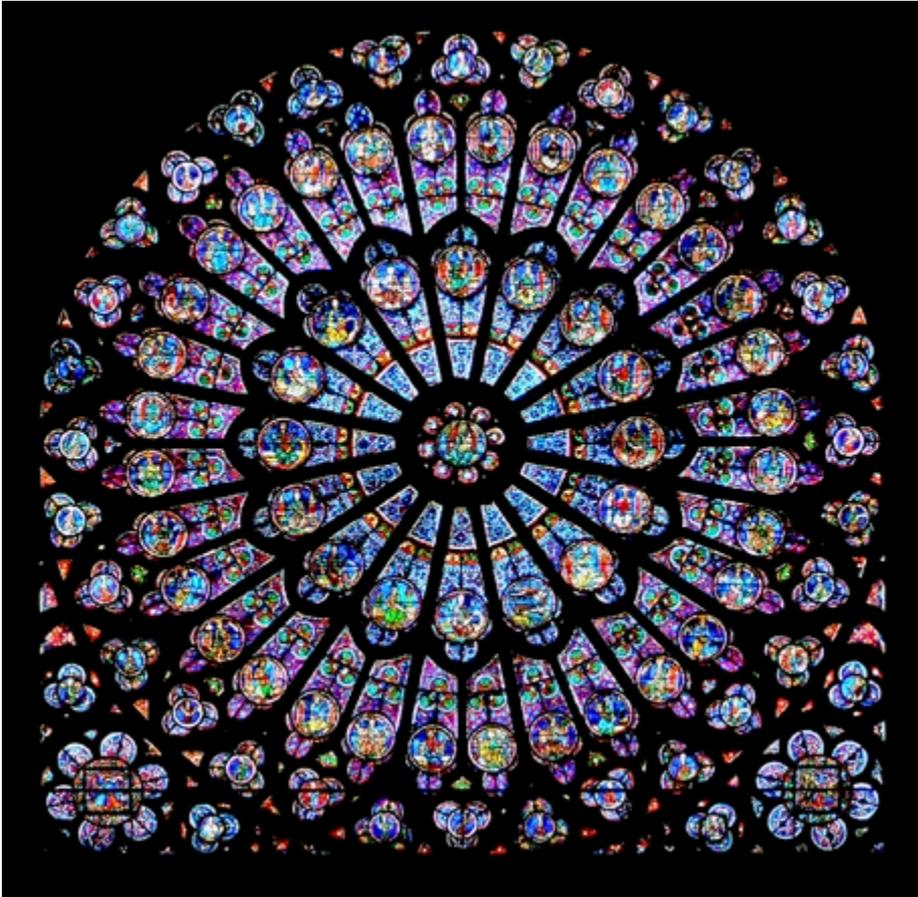
I neuroscienziati non furono i primi a fare un collegamento del genere. Ernst Gombrich, uno dei più grandi geni del xx secolo nelle arti e negli studi umanistici, ha scritto e riflettuto molto a proposito della relazione fra arte e percezione visiva<sup>30</sup>. Il suo testo *Il senso dell'ordine. Studi sulla psicologia dell'arte decorativa* studia l'impiego di certe caratteristiche del design senza tempo in arte e in architettura. Ricapitolando le sue tesi in un altro contesto, Gombrich ha scritto:

sostengo che le caratteristiche formali di molti dei prodotti umani, dagli strumenti agli edifici e dall'abbigliamento all'ornamento, possano essere visti come delle manifestazioni di quel senso dell'ordine che è radicato profondamente nell'eredità biologica dell'uomo. Questi eventi ordinati nel nostro ambiente che esibiscono caratteristiche ritmiche e regolarità di altro tipo (le onde del mare o la tessitura uniforme di un campo di grano) si "fissano" facilmente alle nostre proiezioni incerte di ordine, e quindi affondano al di sotto della soglia della nostra attenzione, mentre ogni cambiamento in queste regolarità conduce a un risveglio dell'attenzione. Quindi l'ambiente artificiale che l'uomo ha creato per se stesso soddisfa la doppia esigenza di una regolazione facile e di un facile eccitamento<sup>31</sup>.

Naturalmente Gombrich non era un neuroscienziato, ma il suo concetto di "manifestazioni del senso dell'ordine che è profondamente radicato nell'eredità biologica dell'uomo" e il suo suggerimento secondo il quale "questi eventi ordinati nel nostro ambiente [...] si 'fissano' facilmente alle nostre incerte proiezioni di ordine" è profondamente consonante con l'idea che la nostra percezione del mondo dipenda fortemente dalle caratteristiche neurobiologiche estremamente ordinate del sistema visivo umano. Ancor prima

<sup>30</sup> Ernst H. Gombrich, *Arte e illusione. Studio sulla psicologia della rappresentazione pittorica*, Phaidon, Londra, 2009.

<sup>31</sup> Ernst H. Gombrich, "The Sense of Order: An Exchange", in «New York Review of Books», 27 settembre 1979.



di conoscere il punto di vista delle neuroscienze, Gombrich ha sviluppato il suo pensiero lungo percorsi simili:

esiste una preferenza osservabile, nel nostro percepire, per le configurazioni semplici, le linee rette, i cerchi ed altri ordini semplici, e noi tendiamo a scorgere tali regolarità, più che le forme casuali, quando ci scontriamo col caotico mondo esterno. Esattamente come la limatura di ferro sparsa a caso in un campo magnetico si ordina secondo un certo schema, così gli impulsi nervosi che raggiungono la corteccia visiva sono soggetti a forze di attrazione e repulsione<sup>32</sup>.

La metafora di Gombrich sulla limatura di ferro è straordinaria in questo contesto, perché cattura poeticamente l'idea secondo la quale le proprietà organizzative del sistema visivo servono per codificare efficacemente le regolarità statistiche nel mondo visivo.

<sup>32</sup> Ernst H. Gombrich, *Il senso dell'ordine. Studi sulla psicologia dell'arte decorativa*, Phaidon, Londra, 2010, pp. 8-9.

*pagina a fronte*  
**10.9** Mandala di  
 sabbia tibetana.  
 Istituto d'Arte di  
 Minneapolis.

Gombrich ha parlato diffusamente dei progetti che rivelano un siffatto senso dell'ordine. Alcuni esempi includono i mosaici dell'Alhambra e i *pattern* cartacei e tessili di William Morris. A questi aggiungerei i progetti decorativi di Frank Lloyd Wright appartenenti a un periodo simile a quello di Morris. Per ognuno degli esempi citati non è necessario sedersi a esaminare cosa li accomuni; si vede una parte a cui fa seguito una comprensione percettiva del tutto senza la necessità di un esame visivo minuzioso: sono progetti ripetitivi che sfruttano al meglio la natura ordinata della corteccia visiva.

Ragionamenti simili si applicano ai *màndala*, che da secoli vengono impiegati come ausili per la meditazione nelle pratiche dell'induismo e del buddismo tibetano. Per quanto riguarda i *pattern* decorativi poc'anzi citati, i *màndala* possiedono dati statistici di immagine complementari all'organizzazione della corteccia visiva. La nostra congettura è che essi possiedano un effetto ordinatore dovuto alla facilità di elaborazione visiva: sono strutture riposanti e regolari.

Ovviamente, per la stessa ragione, dovremmo aspettarci che le immagini che possiedono dati statistici irregolari o proprietà che non attingono alle caratteristiche organizzative della corteccia visiva dovrebbero richiedere un grosso sforzo elaborativo e potrebbero condurre alla confusione, al disturbo e alla distrazione.

### **Familiarità vs novità**

Interpreto l'affermazione di Gombrich secondo cui l'ambiente costruito "soddisfa la doppia esigenza di una regolazione facile e di un facile eccitamento" come a significare che l'ambiente ottimale ha vari gradi di familiarità e di novità. Ossia, nel nostro ambiente creiamo caratteristiche con un senso di ordine di cose che ci sono familiari. Caratteristiche del genere vengono facilmente elaborate, senza un esame visivo minuzioso, perché si innervano nell'intrinseca organizzazione dei nostri sistemi mentali deputati alla percezione visiva. Tale ordine garantisce uno sfondo adatto – oltre a liberare delle risorse neuronali – per individuare le novità (un predatore, o un intruso, o forse un nuovo complemento d'arredo), che possiedono quasi sempre un significato comportamentale e richiedono attenzione. Semplificando, l'ambiente costruito tende a riflettere il modo in cui funziona la percezione visiva.

Gombrich non è stato il solo a notare un fenomeno del genere. Anche Oscar Wilde ha osservato che:

Parte che è francamente decorativa è l'arte con cui si può vivere. [...] L'armonia che risiede nelle delicate proporzioni di linee e volumi si rispecchia nella mente. Le ripetizioni del motivo ci riposano. Le meraviglie del disegno sollecitano la nostra immaginazione<sup>33</sup>.

<sup>33</sup> Oscar Wilde, *Il critico come artista*, in *Opere*, I Meridiani, Mondadori, Milano, 2005, p. 1144.



Di nuovo Wilde sta facendo ricorso al linguaggio letterario per descrivere come funziona il sistema visivo fra le polarità di novità e familiarità. La ripetizione ci riposa, perché non ci viene richiesto di scrutare ogni sua parte. La comodità dipende dalla facilità di elaborazione visiva. Wilde suggerisce che la regolarità dello sfondo pone le basi per un lavoro veramente immaginativo, perché possa emergere qualcosa di nuovo.

### **Cervello e bellezza**

Non dovrebbe passare inosservato il fatto che queste idee abbiano delle implicazioni per la neurobiologia e per l'evoluzione dell'estetica. Di sicuro ci sono molte ragioni diverse per i giudizi estetici che esprimiamo sulle caratteristiche dell'ambiente naturale e costruito, molte

ragioni per le quali troviamo bella una forma e brutta un'altra. Molto di tutto ciò è culturale e appreso. Senza dubbio tante persone vi diranno che *Monna Lisa* di Leonardo da Vinci è meravigliosa semplicemente perché è ciò che è stato loro insegnato. Spesso i giudizi sulla bellezza rifletteranno l'esposizione ripetuta a certi stimoli in presenza di una ricompensa (soldi, informazioni, potere sociale, o sesso) o di un "consenso" culturale definito da interessi commerciali e mostrato attraverso riviste, manifesti pubblicitari e la televisione. Tuttavia le argomentazioni precedenti suggeriscono una definizione della bellezza basata sulla facilità dell'elaborazione visiva: la bellezza viene definita in ragione di quelle caratteristiche dell'ambiente visivo che coinvolgono strutture organizzate di elaborazioni nel cervello visivo e che vengono quindi immediatamente assimilate, organizzate e "capite". L'evoluzione è chiamata in causa in questa definizione di bellezza dal momento che ipotizziamo che alcune strutture importanti del cervello esistano perché garantiscono un vantaggio selettivo per la sopravvivenza e per la riproduzione in un ambiente pieno di statistiche delle immagini qui descritte.

### Generalità dei principi

L'ultima parte di questo saggio è incentrata su uno specifico insieme di caratteristiche organizzative della corteccia visiva – quelle coinvolte nell'individuazione e nella rappresentazione di contorni orientati – soprattutto perché questa è la submodalità visiva che conosciamo meglio. Tuttavia è probabile che i principi esemplificati da questa submodalità risultino piuttosto generali. In realtà ci sono buone ragioni per credere che la comprensione circostanziata dell'architettura e del funzionamento dei sistemi del cervello per altre submodalità visive (per esempio l'elaborazione del colore o del movimento visivo) o altre submodalità sensoriali (per esempio l'udito e il tatto) avrà analoghe implicazioni per la comprensione dell'ambiente costruito.

### Plasticità e sintonizzazione visiva

Infine è importante notare che le caratteristiche dell'elaborazione dell'informazione del nostro cervello non si sclerotizzano nel tempo; al contrario sono plastiche e sintonizzabili con l'esperienza. Prove recenti indicano che le sensibilità dei nostri sistemi percettivi si adattano ai dati statistici del nostro ambiente, ma queste sensibilità potrebbero cambiare – potrebbero venire ricalibrate – quando cambiano le proprietà del mondo<sup>34</sup>. Un adattamento del genere ha profonde ripercussioni nella progettazione. Immaginiamo,

<sup>34</sup> S. Gepshtein, L.A. Lesmes, T.D. Albright, "Sensory Adaptation as Optimal Resource Allocation", in «Proceedings of the National Academy of Sciences» n. 110 (2013), pp. 4368-4373.

per esempio, che io vi abitui all'opulenza della stanza da letto di Maria Antonietta a Versailles e che poi vi trasferisca in una casa minimalista di Mies van der Rohe. Lo spostamento richiederà una ricalibratura e dovrà necessariamente comportare, ipotizziamo, delle finestre temporali nelle quali la sensibilità per il nuovo ambiente non sarà ottimale. Le considerazioni di cui sopra hanno conseguenze particolarmente importanti per la progettazione degli spazi del lavoro e dell'apprendimento, giacché frequenti cambiamenti nei dati statistici dell'ambiente potrebbero interferire con l'abilità degli osservatori nell'acquisire, organizzare e utilizzare le informazioni provenienti dall'ambiente.

### **Conclusioni: verso le neuroscienze per l'architettura**

Le neuroscienze sono una disciplina di ricerca nuova nell'armamentario degli studi di lunga data per comprendere l'influenza degli ambienti costruiti sul funzionamento mentale e sul comportamento umano. Utilizzando una varietà di potenti approcci sperimentali e focalizzando gli sforzi sulle capacità del cervello di elaborare informazioni, abbiamo iniziato a sviluppare una comprensione empirica di come delle caratteristiche progettuali influenzino l'acquisizione, l'organizzazione e l'utilizzo delle informazioni presenti nell'ambiente costruito. Sulla base di detta comprensione affermiamo che le pressioni selettive nel corso dell'evoluzione umana hanno prodotto un cervello visivo che possiede proprietà organizzative estremamente specifiche e affinabili per rappresentare i dati statistici fondamentali dell'ambiente, come caratteristiche e combinazioni di caratteristiche solitamente ricorrenti. Tipi di *pattern* visivi semplici, che vengono di solito utilizzati nella progettazione architettonica e nella decorazione, rispecchiano i dati statistici ambientali. *Pattern* del genere vengono "visti" immediatamente senza la necessità di un'attenta osservazione e definiscono un "senso di ordine" perché si innervano nei substrati neuronali esistenti. Una comprensione più piena di queste relazioni fra le proprietà organizzative del cervello e i dati statistici ambientali visivi potrebbe condurre verso nuovi principi di progettazione.