

## **1 DALLA LUCE ALLE COSE**

### **La scoperta del ruolo attivo del cervello nella costruzione delle percezioni visive**

*Se la sensazione che chiamiamo colore possiede delle leggi, ci deve essere qualcosa nella nostra natura che determina la forma di queste leggi. La scienza del colore è dunque una scienza della mente*

James Clerk Maxwell

*Il colore contribuisce a esprimere la luce, non il fenomeno fisico ma la sola luce che esiste veramente, quella nel cervello dell'artista*

Henri Matisse

### **1.1 Le teorie della luce**

La prima moderna teoria della luce viene esposta da Isaac Newton (1642-1727) nella *Ottica* del 1704: la luce bianca risulterebbe dalla miscela di specie differenti di corpuscoli, ognuna delle quali corrisponderebbe ad uno dei colori scomposti dal prisma nel famoso esperimento condotto dallo stesso Newton nel 1666. Se lasciamo filtrare attraverso un unico foro un raggio di luce in una camera completamente buia e lo facciamo passare attraverso un prisma triangolare, la luce che ne esce è scomposta in un fascio di colori; facendo passare il fascio colorato in un altro prisma opportunamente predisposto, si ricompone un fascio di luce bianca.

All'inizio del XIX secolo, alla teoria corpuscolare di Newton si opponeva la teoria dei colori di Johann Wolfgang Goethe (1749-1832). Nei suoi esperimenti con i prismi, Goethe aveva ottenuto dei risultati diversi da quelli di Newton: egli aveva osservato come, passando attraverso il prisma, un raggio di luce non si scomponesse nello spettro newtoniano, ma producesse delle frange colorate ai bordi di un *pattern* bianco e nero. Nella sua interpretazione di questi esperimenti, il colore sarebbe il prodotto di un *pattern* bianco e nero di linee e punti e i diversi colori sarebbero il risultato di differenti proporzioni di bianco e di nero. Le osservazioni di Goethe erano dovute a una violazione inconsapevole delle corrette condizioni sperimentali, come dimostrò nel 1853 lo scienziato tedesco Hermann von Helmholtz (1821-1894).

Affinché la luce si scomponga nello spettro, un fascio di luce deve essere precisamente indirizzato attraverso il prisma in un ambiente completamente buio. Goethe lasciava entrare più fasci di luce che producevano molti spettri che si sovrapponevano e il risultato è, come correttamente prevedeva Newton, la luce bianca. Guardando poi a occhio nudo attraverso il prisma, si vedono delle forme bianche e nere, ma questo era dovuto a un tipo di aberrazione ottica che affliggeva anche i microscopi che potevano essere usati ai tempi di Goethe.

I primi microscopi vennero costruiti in Olanda alla fine del XVI secolo e anche Galileo ne costruì uno nel 1610. Questi primi apparecchi soffrivano però di gravi aberrazioni cromatiche: le immagini erano distorte da frange colorate sui contorni dell'oggetto osservato. Nel XVIII secolo si scoprì come, sovrapponendo diversi tipi di vetro con differenti gradi di rifrazione, si potesse ovviare all'inconveniente, ma solo attorno al 1830 si poterono costruire i primi microscopi acromatici. Questa distorsione cromatica era ben nota ai produttori di lenti, ma evidentemente non a Goethe. La sua teoria dei colori ebbe, a suo tempo, una larga popolarità, come mostra anche l'opera del pittore inglese William Turner (1775-1851) e ha continuato a esercitare una notevole suggestione anche dopo la perdita di ogni attendibilità scientifica.

Newton pensava che la luce fosse composta da corpuscoli che viaggiano nel vuoto. Un altro dei fondatori della fisica moderna, l'olandese Christian Huygens (1629-1695), non condivideva la teoria 'corpuscolare' della luce e sosteneva invece una teoria cosiddetta 'ondulatoria', secondo

la quale la luce si propagherebbe per onde, in analogia con quelle che vediamo formarsi nell'acqua. Come le onde nell'acqua, le onde luminose hanno una lunghezza d'onda, che è la distanza che separa il vertice della cresta di un'onda dal vertice della cresta dell'onda seguente. Secondo la teoria ondulatoria della luce a lunghezze d'onda differenti corrispondono colori differenti. Le due teorie spiegavano in modo diverso l'esperimento del prisma: per la teoria corpuscolare, i corpuscoli appartenenti a colori differenti avrebbero tutti la stessa velocità nel vuoto, ma velocità diverse nel vetro e per questo all'uscita dal prisma essi risultano separati; per la teoria ondulatoria, invece, sono i raggi di lunghezze d'onda differenti ad avere velocità diverse nel vetro.

Fino alla prima metà del XIX, la teoria dominante fu quella corpuscolare di Newton: la luce (e la materia in generale) è composta da particelle che si muovono nello spazio vuoto. Ma, all'inizio del XIX secolo, gli esperimenti compiuti dallo scienziato inglese Thomas Young (1773-1829) sembrarono dar ragione alla teoria ondulatoria della luce. Una sorgente di luce bianca molto forte è diretta contro una parete: se frapponiamo fra la sorgente e la parete uno schermo nel quale siano stati praticati due forellini molto piccoli e molto vicini l'uno all'altro, sulla parete non si vedranno due cerchi luminosi dai confini ben distinti contro la parte in ombra della parete che si trova dietro lo schermo, ma apparirà una figura composta da tante frange, alternativamente chiare e scure, che sfumano nel fondo buio. La spiegazione 'ondulatoria' è inevitabile: una frangia scura appare ove il solco di un'onda passata per uno dei forellini incontra la cresta di un'onda passata per l'altro forellino, di modo che le due onde si elidono. Una frangia chiara appare invece ove i solchi e le creste di due onde passate attraverso i due diversi forellini s'incontrano rafforzandosi. Il fenomeno delle ombre nette, vale a dire il fenomeno della propagazione rettilinea della luce che si osserva in natura, dipende unicamente dal fatto che tutti i fori e gli ostacoli con cui si ha a che fare sono molto grandi rispetto alla lunghezza d'onda della luce. È soltanto se si riesce a ottenere fori o ostacoli molto piccoli che la luce rivela la propria natura ondulatoria.

Nello stesso periodo era stato scoperto come i fenomeni elettrici e quelli dovuti al magnetismo fossero fra loro strettamente collegati. Si era osservato come un ago magnetico si muovesse in presenza di una corrente elettrica e, pochi anni dopo, lo scienziato inglese Michael Faraday (1791-1867) scopriva il fenomeno inverso: un magnete in movimento produce il passaggio di una carica elettrica in un circuito chiuso che si trovi vicino al magnete. Per cercare di spiegare questi fenomeni, Faraday introduceva un nuovo concetto fisico, quello di *campo di forza*. Fra il 1855 e il 1865 il fisico scozzese James Clerk Maxwell (1831-1879) formulava una teoria unica per i fenomeni elettrici, magnetici e luminosi: le 'forze' che agivano nel campo di Faraday potevano essere interpretate come onde, le *onde elettromagnetiche*, e anche la luce visibile all'occhio umano è un'onda elettromagnetica compresa dentro un certo intervallo delle lunghezze d'onda.

Perché gli oggetti ci appaiono dei più svariati colori? Ciascun oggetto riflette in diversa percentuale le radiazioni monocromatiche di diversa lunghezza d'onda di cui è composta la luce solare. Al nostro occhio giungono solo le radiazioni riflesse dalla superficie di un corpo, oppure, se questo è trasparente, le radiazioni trasmesse, cioè quelle che hanno attraversato il corpo. Certi oggetti riflettono tutte le radiazioni dello spettro nella stessa percentuale. Questi oggetti non ci appaiono colorati. Se la loro superficie non è lucida (come in uno specchio) essi ci appaiono bianchi o grigi, più o meno scuri, o neri, a seconda che la percentuale di radiazione riflessa, chiamata *riflettanza*, sia alta (bianchi), media (grigi), o molto bassa (neri). Questi oggetti differiscono quindi per la loro luminosità, che è massima per i bianchi e minima per i neri, ma non hanno alcun colore. Diciamo che sono neutri.

Invece gli oggetti che assorbono in percentuale diversa le diverse radiazioni dello spettro ci appaiono, in genere, colorati; il loro colore è caratterizzato da una tinta che è determinata dalla combinazione delle radiazioni da loro prevalentemente riflesse, da una saturazione che dipende dalla maggiore o minore larghezza della banda spettrale riflessa e da una luminosità che è maggiore o minore a seconda della percentuale totale delle radiazioni riflesse.

Le sensazioni di bianco, grigio, nero, proprie di oggetti illuminati, sono evocate solo in un ambiente visivo complesso, in cui sono presenti simultaneamente oggetti con riflettanza diversa. Un oggetto illuminato isolatamente in un ambiente tutto buio non ci appare mai né grigio né nero, ma solo più o meno luminoso. In altre parole, il grigio e il nero (per i quali non esiste un equivalente per le luci) risultano per effetto di contrasto, dal confronto con altri oggetti neutri più riflettenti.

Analogamente, in un ambiente complesso, oggetti colorati possono evocare sensazioni cromatiche di una gamma di chiari e scuri che danno luogo, per contrasto, a colori 'nuovi' per i quali non esiste un equivalente colore delle luci, come il marrone, il verde oliva, il blu carta da zucchero. Si tratta in questo caso di oggetti che riflettono selettivamente una banda spettrale ma hanno *riflettanza* totale bassa, così che risultano scuriti per contrasto. Per esempio, il marrone è il colore di oggetti che riflettono principalmente nella banda rosso-arancione oppure nel giallo, ma con bassa riflettanza. Il colore verde-oliva risulta da una bassa riflettanza nella banda del verde, il colore carta da zucchero nella banda del blu

## 1.2 Teorie dei colori: il triangolo di Maxwell e il disco di Itten

Maxwell si occupò anche della teoria dei colori (*La teoria dei colori composti*, 1860) e ha dato il suo nome al triangolo con cui si può rappresentare l'intero spettro della luce visibile.

Sul perimetro del *triangolo di Maxwell* stanno i cosiddetti *colori saturi*, cioè i colori delle radiazioni semplici (monocromatiche) di una specifica lunghezza d'onda. Sul lato del triangolo compreso fra il violetto e il rosso si trova un nuovo colore, il porpora o magenta, che si ottiene combinando le due radiazioni estreme dello spettro, rosso e violetto, e che non appartiene a nessuna delle radiazioni dello spettro solare. Al centro del triangolo si trova la luce bianca, che si ottiene dalla sovrapposizione di tutte le radiazioni monocromatiche dello spettro visibile. Tra il centro e i lati si trovano i cosiddetti *colori non saturi*, che si ottengono miscelando in vario grado una radiazione spettrale, satura, con la radiazione solare, bianca.

I colori cosiddetti *complementari* sono quei colori saturi dai quali è possibile ottenere, combinandoli a due a due, la luce bianca: sono quei colori che è possibile unire tracciando una retta che passi per il centro del triangolo come, ad esempio, il giallo e il blu. I colori saturi costituiscono una scala continua: Newton scelse di identificare solo sette zone dello spettro visibile, identificandole con il rosso, l'arancione, il giallo, il verde, il blu, il violetto e l'indaco, compreso fra il blu e il violetto, che non corrisponde in realtà ad alcun colore spettrale, ma venne aggiunto perché, per Newton, il numero sette aveva un valore simbolico. In realtà, in base alle lunghezze d'onda si possono identificare fino a 250 'colori' diversi, ma non abbiamo nomi sufficienti in nessuna lingua per battezzarli tutti.

La teoria 'pratica' dei colori adottata dai pittori, come si può vedere nel disco dei colori di Johannes Itten (1888-1967), pittore e maestro del *Bauhaus* dal 1919 al 1923 si basa su tre *colori primari*: nel centro, il rosso, il giallo e il blu, circondati dai tre *colori secondari* che si possono ottenere mescolando i primari: l'arancione dal rosso e dal giallo, il verde dal giallo e dal blu, il viola dal blu e dal rosso.

Il disco esterno comprende poi altri sei *colori intermedi* e i colori opposti nel disco esterno sono i *colori complementari* secondo la pigmentazione, quelli cioè dalla cui combinazione si ottiene un grigio neutro. I colori della luce complementari (secondo le loro lunghezze d'onda) sono diversi dai colori complementari secondo la composizione chimica (secondo la loro pigmentazione). Si noti poi come i tre colori primari più i tre secondari secondo i pittori corrispondano a sei dei colori della luce secondo Newton: questo è naturale, dal momento che egli applicava i nomi tradizionali a dei fenomeni nuovi (il settimo colore, l'indaco, come sappiamo, egli lo aggiungeva per altri motivi). Ma ciò può anche essere fonte di confusione, nel momento in cui per 'colori primari' si intendano i colori di base a partire dai quali si possono ottenere gli altri, perché i colori 'di base' secondo i manuali di pittura non corrispondono ai colori 'di base' della luce.

Una vasta gamma dei colori dello spettro visibile può essere ottenuta attraverso due operazioni. La prima è detta *combinazione additiva* dei colori e si esegue sovrapponendo tre radiazioni scelte a piacere lungo il perimetro del triangolo di Maxwell: per le ragioni che vedremo fra poco spesso si prendono quelle del rosso, del verde e del blu. Ad esempio, la proiezione di tre fasci di luce colorata sullo stesso schermo dà luogo a combinazioni additive, laddove i fasci si sovrappongono. La seconda operazione è detta *combinazione sottrattiva* e si può eseguire filtrando la luce solare attraverso dei vetri colorati che lasciano passare solo una parte delle radiazioni dello spettro: sovrapponendo vetri di colore diverso la luce che filtra è ottenuta per combinazione sottrattiva. Anche questo secondo tipo di combinazione si ottiene a partire da tre colori fondamentali, che sono il porpora, il giallo e il turchese.

**Colori fondamentali:**

<b>Combinazione additiva</b>	<b>Combinazione sottrattiva</b>
rosso	porpora
verde	giallo
blu	turchese

**Colori composti:**

<b>Combinazione additiva</b>	<b>Combinazione sottrattiva</b>
luce rossa+luce verde=giallo	filtro porpora+filtro giallo=arancione
luce rossa+luce blu=porpora	filtro porpora+filtro turchese=blu
luce verde+luce blu=turchese	filtro giallo+filtro turchese=verde
rosso+blu+verde=bianco	porpora+giallo+turchese=nero

Se confrontiamo i colori primari e quelli secondari dei pittori con i colori fondamentali e i colori composti della combinazione sottrattiva, balza subito agli occhi qual è il rapporto fra i colori della tavolozza e i colori della luce.

**Colori primari del disco di Itten**

rosso  
giallo  
blu

**Colori secondari**

arancione=rosso+giallo  
verde=giallo+blu  
viola=rosso+blu

**Colori fondamentali della sottrazione**

porpora  
giallo  
turchese

**Colori ottenuti per sottrazione**

arancione=porpora+giallo  
verde=giallo+turchese  
blu=porpora+turchese

La mescola dei colori della tavolozza è una operazione di *combinazione per sottrazione*: i pigmenti agiscono come filtri, che assorbono le radiazioni di una parte dello spettro. La televisione a colori funziona per *combinazione additiva* di rosso, verde e blu. La stampa a colori può essere fatta sia per combinazione sottrattiva che per combinazione additiva. Fu proprio Maxwell a ottenere nel 1861 la prima immagine a colori (era l'immagine di un *tartan*, un gonnellino scozzese) sovrapponendo tre immagini monocrome ottenute con reagenti chimici sensibili al rosso, al verde e al blu.

### 1.3 Come il cervello 'costruisce' i colori

Quando Thomas Young nel 1801 scoprì che la luce era un'onda, si chiese anche come era possibile che l'occhio percepisse queste onde e avanzò l'ipotesi che ci fossero solo *tre sensazioni elementari del colore*. Nel periodo in cui Young faceva questa ipotesi, lo studio dei fenomeni elettrici e di quelli del sistema nervoso erano agli inizi: nel 1810 si scopriva che il

cervello risponde a stimolazioni elettriche; grazie al nuovo microscopio acromatico fra il 1838 e il 1850 si poté accertare che tutti i tessuti viventi sono composti di cellule e si ipotizzò che nelle cellule dei tessuti nervosi passino degli impulsi elettrici. La pubblicazione, fra il 1856 e il 1867, dei tre volumi del *Manuale di ottica fisiologica* da parte di Hermann von Helmholtz, già citato a proposito degli esperimenti di Goethe, poneva le basi della moderna fisiologia della percezione dei colori. Sulla base di una serie di studi sperimentali, Helmholtz riprese l'idea di Young ipotizzando l'esistenza nella retina di *tre tipi di cellule*, sensibili in modo differenziato alle lunghezze d'onda della luce: un tipo raggiungerebbe il suo picco di sensibilità nella regione delle lunghezze d'onda più lunghe, il secondo nella regione delle lunghezze d'onda intermedie e il terzo nella regione di quelle più corte. Come sappiamo, la lunghezza d'onda più corta è quella del violetto, quella più lunga è il rosso e a metà troviamo il verde: perciò Helmholtz decise che le tre sensazioni di colore elementari fossero il *rosso*, il *verde* e il *blu*. Quando queste cellule sono stimolate da un'onda luminosa, in esse viene provocata una reazione chimica che produce un impulso elettrico che percorre il nervo ottico fino a raggiungere il cervello provocando la sensazione del colore. Inoltre, questi tre tipi di cellule raggiungono il massimo di eccitazione solamente nelle tre regioni del rosso, del verde e del blu, rispettivamente, ma sono eccitabili in proporzioni diverse da un'ampia gamma di lunghezze d'onda: perciò è la loro eccitazione contemporanea e differenziata che causa tutte le sensazioni di colore, attraverso la combinazione di impulsi elettrici differenziati. Ad esempio, la sensazione del giallo sarebbe prodotta dalla somma delle stimolazioni delle cellule 'rosse' e 'verdi' in proporzione eguale, mentre la sensazione dell'arancione sarebbe prodotta dalla somma di una stimolazione delle cellule 'rosse' in proporzione maggiore delle cellule 'verdi', e la sensazione del bianco sarebbe prodotta dalla stimolazione equilibrata di tutti e tre tipi di cellule.

La teoria tricromatica della visione di Young-Helmholtz è, ancor oggi, una delle basi della neurofisiologia del cervello: sappiamo che esistono nel centro della retina tre tipi di cellule, i coni L (dall'inglese *long*), M (*medium*) e S (*short*), che contengono sostanze fotosensibili che assorbono in percentuali diverse le radiazioni dello spettro. A differenza di quel che pensava Helmholtz, il picco di sensibilità dei coni L si trova nella regione del giallo e non in quella del rosso, mentre quello dei coni M si trova effettivamente nella regione verde e quello dei coni S è più spostata sul violetto. I colori che vediamo sono il risultato delle diverse percentuali di stimolazione dei tre tipi di coni che, con abuso di linguaggio, vengono ancor oggi chiamati, per comodità, coni 'rossi' (L), coni 'verdi' (M) e coni 'blu' (S). Inoltre, nella periferia della retina vi è un altro tipo di cellule, i bastoncelli, che non sono sensibili ai colori e servono per la visione notturna.

Come si è detto, il colore in quanto proprietà fisica dipende dalle proprietà delle superfici di assorbire e riflettere in proporzione diversa le lunghezze d'onda della radiazione elettromagnetica e tali proprietà sono indipendenti dall'intensità dell'illuminazione incidente sulla superficie. Il colore in quanto proprietà fenomenica, il colore percepito, dipende invece sia dalla luce riflessa dalla superficie che dall'intensità dell'illuminazione. Nonostante ciò, i colori percepiti tendono a restare piuttosto stabili al variare dell'intensità dell'illuminazione che raggiunge la retina: è come se il sistema visivo fosse in grado di valutare questa intensità e compensarne gli effetti quando essa cambia.

«Noi vediamo gli oggetti in condizioni di luce diverse, una foglia verde viene vista a volte in un giorno nuvoloso, a volte in uno assolato, a volte all'alba, a volte al crepuscolo. Se procedessimo misurando la composizione spettrale della luce riflessa da questa foglia verde, troveremmo delle variazioni notevoli; ma il colore della foglia- verde- non cambia molto in queste diverse condizioni, sebbene cambi la sfumatura. In effetti, se il colore dovesse cambiare ad ogni cambiamento della composizione spettrale della luce, un oggetto non sarebbe più riconoscibile dal suo colore ma per qualche altra caratteristica, e il colore perderebbe il suo significato di meccanismo biologico di segnalazione, un mezzo per acquisire conoscenza del mondo [...] Il cervello [...] ha bisogno di conoscere proprietà permanenti, essenziali

Corso: *Teoria e filosofia dei linguaggi, anno accademico 2012-13*

Titolo del corso: *arte e scienza dal XIX al XXI secolo*

Docente: *Paolo Garbolino*

e costanti degli oggetti e delle superfici, in un mondo dove molte cose variano continuamente.» [S. Zeki, *La visione dall'interno. Arte e cervello* (1993), Bollati Boringhieri, 2003, p. 211].

Secondo una tesi formulata nel 1977 da Edwin Land (1909-1991), fisico e industriale, fondatore della *Polaroid*, e che si basa su esperimenti eseguiti con superfici policrome chiamate 'Mondrian' per la somiglianza con le opere del pittore olandese, la costanza cromatica sarebbe il risultato di un'operazione compiuta dal cervello che calcola il rapporto fra la composizione dello spettro della luce riflessa dall'area centrale osservata e quella della luce riflessa dalle aree circostanti.

«Secondo questa teoria il colore di un oggetto non risulterebbe semplicemente dalla radiazione riflessa da quell'oggetto e dall'eccitazione che questa produce nei tre tipi di coni. Invece l'eccitazione prodotta dall'oggetto verrebbe considerata in rapporto a tutto quello che gli sta attorno (e che si suppone illuminato dalla stessa sorgente) o, meglio, in rapporto con l'eccitazione media che l'ambiente produce rispettivamente nei tre tipi di coni. Questo confronto permetterebbe di scartare gli effetti che la sorgente illuminante ha tanto su quell'oggetto come su tutto l'ambiente, e farebbe dipendere il colore di ogni oggetto solo dalle sue proprietà di riflettanza. In questo modo verrebbe realizzata la costanza di colore, cioè l'indipendenza del colore di ogni oggetto dalla qualità della sorgente illuminante.» [L. Maffei, A. Fiorentini, *Arte e cervello*, 2a ed., Zanichelli, 2008, p. 156-7].

#### **1.4 Come il cervello 'costruisce' le cose del mondo 'là fuori'**

La nuova fisiologia mostrava come ciò che costituisce il contenuto delle sensazioni visive sia l'immagine che l'onda luminosa riflessa dagli oggetti proietta sulla retina (quello che oggi gli psicologi chiamano lo *stimolo prossimale*) e non l'oggetto riflettente (lo *stimolo distale*). All'oggetto riflettente (alla sua forma, grandezza, colore) risaliamo solo sulla base dello stimolo prossimale. Questo stimolo prossimale varia continuamente, in base alla legge della geometria proiettiva, al variare della posizione reciproca tra l'osservatore e l'oggetto osservato. Solo per fare un esempio, l'immagine di un oggetto si rimpicciolisce quando l'osservatore se ne allontana e si ingrandisce al suo avvicinarsi. E anche la forma cambia: un cerchio (o un quadrato) proietta un'immagine circolare solo se presentato all'osservatore su un piano frontoparallelo, altrimenti sarà un'ellisse (e, rispettivamente, un trapezio). Eppure noi non vediamo gli oggetti ingrandirsi e rimpicciolirsi, li vediamo sempre della stessa grandezza, *ma a distanze diverse*; non vediamo i cerchi farsi ellissi e i quadrati trapezi: seguiamo a vederli come cerchi e quadrati, *ma inclinati*. È questo il fenomeno che chiamiamo *costanza percettiva*.

La teoria della percezione di Helmholtz, per spiegare il fenomeno della *costanza percettiva*, introduceva un'importante elemento di novità: la percezione è un processo 'costruttivo' nel quale il cervello del soggetto che percepisce interviene attivamente, anche se il soggetto non ne è consapevole, elaborando gli stimoli elementari. Secondo Helmholtz la costanza percettiva era un tipico esempio di *inferenza inconscia*: il sistema percettivo, in base all'esperienza passata, compie una sorta di ragionamento inconsapevole, per cui, quando vede un oggetto e sa che questo è lontano, corregge inconsapevolmente la grandezza percepita ingrandendola; e quando sa che è vicino, rimpicciolendola. La teoria dell'inferenza inconscia è stata ripresa nel secolo scorso dal neuropsicologo Richard Gregory (1923-2010) [R. Gregory, *Occhio e cervello* (1998), Raffaello Cortina, 1998] ed è anche chiamata teoria *cognitivista* della visione.

Riassumendo, la luce è un'onda elettromagnetica che si riflette sull'oggetto andando a stimolare certe cellule dell'occhio e provocando delle sensazioni elementari (come i colori rosso, verde e blu) che sono modificazioni di stati interni dell'osservatore. Queste modificazioni interne stimolano, sempre a livello del sistema percettivo, la formulazione di ipotesi circa la

forma, il colore e la posizione dell'oggetto. Anche lo spazio tridimensionale nel quale si collocano gli oggetti è una ipotesi, ovvero la ricostruzione della terza dimensione (la solidità e la distanza dell'oggetto) a partire dall'immagine bidimensionale sulla retina. La sensazione di un accesso diretto al mondo fisico è un'illusione creata dal cervello: le cose del mondo esterno sono *patterns* di attività dei nostri circuiti neuronali.

« Tutto quello che sappiamo del mondo proviene dal nostro cervello, che non è un trasduttore passivo della realtà ma piuttosto un creatore di essa. Dall'imperfetta e limitata informazione che riceve dai sensi il cervello fa inferenze e ipotesi e crea la sua realtà. Talvolta queste ipotesi sono errate e l'errore è la dimostrazione del processo creativo e niente affatto passivo della conoscenza del reale. [...] Abbiamo del mondo fisico una versione approssimativa che deduciamo dalle informazioni parziali e imprecise che riceviamo dai nostri sensi, e spesso il cervello può cadere in inganno e darci un quadro errato del mondo reale. La nostra conoscenza si produce per congetture in un continuo susseguirsi di ipotesi sulla realtà e la loro verifica. In molti casi di patologia cerebrale gli errori possibili nelle nostre inferenze sulla realtà sono addirittura clamorosi, ma errori si possono verificare anche in cervelli perfettamente funzionanti.» [L. Maffei, *La libertà di essere diversi. Natura e cultura alla prova delle neuroscienze*, Il Mulino, 2011, p. 31-39].

Un semplice esempio delle ipotesi che automaticamente e inconsciamente formula il cervello sulla base degli input percettivi è offerto dal celebre triangolo di Kanizsa.

Anche il corpo esiste, a livello della nostra coscienza, in termini di sensazioni, reazioni motorie, viscerali o umorali in quanto ne abbiamo una rappresentazione cerebrale. Questa rappresentazione ha i suoi punti di partenza nei recettori periferici, che sono di diversi tipi a seconda delle sensazioni e che trasducono le diverse informazioni provenienti dal mondo reale in attività elettrica, che viene quindi trasmessa ai centri nervosi. Più precisamente questi recettori trasformano i diversi stimoli fisici come la luce, i suoni, tra cui le parole, gli odori, i sapori, la temperatura, la pressione ecc. in treni di impulsi nervosi di natura bioelettrica che raggiungono specifiche aree corticali sensoriali, anatomicamente connesse con i recettori appropriati. È a livello delle diverse corteccie e non nei recettori che nasce la sensazione specifica: la sensazione di luce, per esempio, non nasce nella retina ma a livello della corteccia visiva e così accade per il suono ecc. [...] l'informazione che arriva dal corpo non è ricevuta passivamente dal cervello, ma viene valutata attivamente a seconda del contesto cerebrale, cioè dello stato funzionale di tutte le strutture, da quelle che presiedono alla memoria a quelle che presiedono alle funzioni emotive e vegetative. Un'immagine visiva che arriva dalla retina non è solo messaggio di un oggetto, ma può essere portatrice di affetto, desiderio, repulsione. [...] Il corpo è un grande sensore con il quale esploriamo la nostra realtà e il mondo. Il mondo esterno per quel che ci riguarda è attività cerebrale e se per qualche ragione non si trasformasse in attività cerebrale, per noi non esisterebbe.» [L. Maffei, *La libertà di essere diversi. Natura e cultura alla prova delle neuroscienze*, Il Mulino, 2011, p. 33-35].

Un esempio eclatante di come il nostro stesso corpo e sia una congettura fatta dal nostro cervello, incorporata in circuiti neurali, è data dai casi clinici cosiddetti 'dell'arto fantasma', in cui un paziente che ha subito l'amputazione di un braccio o di una gamba dopo un incidente sente ancora la presenza e addirittura avverte dolore in un arto che non esiste più, ma di cui permane ancora la rappresentazione cerebrale, incorporata in circuiti neuronali ancora attivi nonostante la sua perdita.

Corso: *Teoria e filosofia dei linguaggi, anno accademico 2012-13*

Titolo del corso: *arte e scienza dal XIX al XXI secolo*

Docente: *Paolo Garbolino*

La comprensione della percezione visiva come un processo attivo di costruzione delle immagini ha contribuito a togliere alla prospettiva lineare della pittura Rinascimentale il ruolo privilegiato di rappresentazione 'naturale' dello spazio.

«La prospettiva ha avuto un ruolo principe nella rappresentazione pittorica dello spazio, ma questo ruolo non è completamente sostenuto dalle leggi della visione. Il fatto che le immagini prospettiche si modifichino al crescere della distanza in accordo con le variazioni di dimensioni dell'immagine retinica non è sufficiente ad attribuire alla prospettiva la valenza di visione naturale dello spazio. Quello che vediamo è largamente il risultato di una rielaborazione cerebrale delle informazioni provenienti dalla retina a cui contribuiscono molte informazioni aggiuntive, da quelle provenienti da altre modalità sensoriali a quelle depositate nella memoria. Questo confluire delle informazioni tende, a livello cerebrale, a concettualizzare le immagini e a renderle quindi indipendenti dalle variazioni del punto di vista e della distanza, del colore e del livello di illuminazione. Lo spazio cerebrale non è, o non è soltanto, la codificazione di uno spazio a tre dimensioni, ma anche uno spazio affettivo, che acquista determinati valori in determinati contesti e che fino ad un certo limite almeno, è anche spazio, o interpretazione dello spazio, con caratteristiche individuali. [...] anche lo spazio è pensiero.» [L. Maffei, A. Fiorentini, *Arte e cervello*, 2a ed., Zanichelli, 2008, p. 138-9].

## 1.5 La neuroestetica

Secondo la teoria della *Gestalt*, formulata nel secolo scorso dagli psicologici **Christian** von Ehrenfels (1859-1932), Max Wertheimer (1880-1943), Kurt Koffka (1886-1941) e Wolfgang Köhler (1887-1967), la percezione visiva non avverrebbe per mezzo di inferenze inconscie, sia pure rapidissime, come sostiene la teoria cognitivista, ma attraverso schemi innati di organizzazione, come ad esempio il *principio di prossimità*, il *principio di somiglianza*, quello di *continuazione* e quello di *chiusura*. Il percettologo Gaetano Kanizsa (1913-1993) sostiene nel suo libro *Vedere e pensare* (Il Mulino, 1991) come

«non siamo oggi in grado di decidere quale modello sia migliore. Kanizsa riporta esempi di un particolare fenomeno percettivo, il cosiddetto completamente amodale, che suggeriscono che sia gli schemi gestaltici sia quelli cognitivisti per le relazioni tra visione e pensiero possono essere validi, e che possono contribuire entrambi, sia pure con pesi variabili, a spiegare i fenomeni percettivi, a seconda delle particolari situazioni sensoriali.» [L. Maffei, A. Fiorentini, *Arte e cervello*, 2a ed., Zanichelli, 2008, p. 15].

Entrambe le teorie hanno influenzato in maniera importante gli studi sull'arte. La teoria cognitivista è alla base delle idee espresse dallo storico dell'arte Ernst Gombrich (1909-2001) nel suo celebre libro del 1960 *Arte e illusione. Studio sulla psicologia della rappresentazione pittorica* (2a ed. it. Phaidon, 2002) in particolare del suo celebre lemma secondo il quale "non esiste un occhio vergine". Lo psicologo e storico dell'arte Rudolf Arnheim (1904-2007) ha sostenuto in *Arte e percezione visiva*, pubblicato nel 1974 (Feltrinelli, 2007) come i principi dell'organizzazione percettiva gestaltici si applichino tanto alla percezione che alla rappresentazione pittorica.

Oggi una nuova disciplina chiamata *neuroestetica* intende applicare allo studio della rappresentazione e della pratica artistica le più recenti scoperte delle neuroscienze (Chiara Cappelletto, *Neuroestetica. L'arte del cervello*, Laterza 2009). Secondo i neurobiologi Semir Zeki e Eric Kandel, l'artista sarebbe una sorta di neurologo in azione, che intuitivamente conosce e sfrutta certe leggi universali di funzionamento del cervello e le opere d'arte 'funzionano' perché sono prodotte in conformità a queste leggi, seppure in maniera inconscia.

Corso: *Teoria e filosofia dei linguaggi, anno accademico 2012-13*

Titolo del corso: *arte e scienza dal XIX al XXI secolo*

Docente: *Paolo Garbolino*

«Un'idea centrale nella biologia dell'estetica è che l'artista crea una realtà virtuale del mondo più o meno nel modo in cui lo fa il cervello dello spettatore. Per farlo [...] l'artista manipola l'innata capacità del cervello di produrre modelli della realtà percettiva ed emotiva, e ri-creare così il mondo esterno. Per capire quali spunti utilizzi il nostro cervello per creare rappresentazioni del mondo fisico e umano che ci circonda, l'artista deve padroneggiare intuitivamente la psicologia cognitiva della percezione, del colore e dell'emozione. [...] le immagini create dall'artista vengono ricreate nel nostro cervello, che ha una capacità innata – in precedenza già delineata dagli psicologi della Gestalt – di elaborare modelli della realtà percettiva ed emotiva. Il punto centrale è che nella creazione di immagini di persone e ambienti gli artisti utilizzano e manipolano le stesse vie neurali che il nostro cervello utilizza nella vita quotidiana per creare questi modelli della realtà. Per estensione, [...] il cervello dell'artista in quanto creatore di modelli della realtà fisica e psichica va in parallelo con il cervello dello spettatore in quanto ri-creatore dei modelli della realtà fisica e psichica raffigurati dall'artista.» [E. Kandel. *L'età dell'inconscio. Arte, mente e cervello dalla Grande Vienna ai nostri giorni* (2012), Raffaello Cortina 2012, p. 389].

L'osservazione di un'azione eseguita da altre persone innesca nel nostro cervello gli stessi neuroni che si attiverrebbero se fossimo noi stessi a eseguire quell'azione, chiamati neuroni specchio e scoperti negli anni 90 del secolo scorso da un'equipe di scienziati dell'università di Parma guidati da Giacomo Rizzolatti (Giacomo Rizzolatti, Corrado Sinigaglia, *So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni specchio*, Raffaello Cortina, 2006). Ciò avviene anche quando ciò che è percepito non è un'azione reale, ma un'immagine di un'azione: un'immagine percepita innesca nel nostro cervello gli stessi circuiti neurali che si attiverrebbero se fossimo noi stessi a compiere i movimenti e a provare le emozioni descritte in quell'immagine. Non solo, ma un'immagine percepita è in grado anche di innescare nel nostro cervello gli stessi circuiti neurali che si attiverrebbero se fossimo noi stessi a eseguire i gesti necessari per produrre quell'immagine, come il *dripping* di Pollock e i tagli di Fontana.

Il neuroscienziato Antonio Damasio (*L'errore di Cartesio: emozione, ragione e cervello umano* (1994), Adelphi 1995) ipotizza un «cervello che se», evoluto per adattarsi all'ambiente e che si sviluppa nell'infanzia, che serve a farci sentire come se stessi provando un certo stato emotivo, come se fossimo in un certo stato corporeo.

«Proprio come il nostro cervello visivo costruisce modelli di realtà dai figurati primitivi, il nostro cervello sociale è naturalmente cablato per funzionare come uno psicologo, formando modelli di motivazioni, desideri e pensieri altrui». [E. Kandel. *L'età dell'inconscio.*, p. 400].

Gli scienziati oggi ipotizzano che tali capacità del cervello umano abbiano un valore adattivo per il quale sono state selezionate nel corso dell'evoluzione naturale. Per il neuroscienziato Vilayanur Ramachandran

«l'arte si è evoluta come simulazione virtuale di una realtà. [...] L'arte è uno scenario 'concreto' in cui simulare 'vere' cacce al bisonte o istruire i figli. Se così fosse stato davvero, potremmo considerare l'arte la 'realtà virtuale' della Natura». [*Il cervello artista*, in *Cosa sappiamo della mente* (2003), Mondadori 2004, p. 58].

## 1.6 L'impressionismo: una "prospettiva fisiologica"

Il *Manuale di ottica fisiologica* di Helmholtz viene tradotto in Francia nel 1867 e due anni dopo il giornalista e divulgatore scientifico Auguste Laugel, nel suo *L'Optique et les arts*, ne raccomanda la lettura agli artisti. Lo stesso Helmholtz pubblica nel 1871 *Sulla relazione dell'ottica con la pittura*, che viene tradotto in francese nel 1878. Lo storico e filosofo, nonché docente di estetica e storia dell'arte all'*École des Beaux-Arts*, Hippolyte Taine, figura eminente della cultura francese nella seconda metà del secolo, esponeva nel 1870 la sua teoria della conoscenza, che si basava anche sui lavori di Helmholtz, nel libro *L'intelligence*. In esso sosteneva come il bambino costruisca la sua immagine del mondo attraverso l'esperienza e 'l'educazione dei sensi', a partire da sensazioni che, alla nascita, non sono altro che macchie di colore, segni, suoni senza significato. Taine avvicinava i pittori ai neonati: "I pittori coloristi conoscono questo stato assai bene, perché essi vi ritornano; il loro talento consiste nel vedere il loro modello come una macchia il cui unico elemento è il colore, più o meno differenziato, smorto, vivo, mescolato" [citato da L. Gamwell, *Exploring the Invisible. Art, Science, and the Spiritual*, Princeton University Press, 2002, p.72].

Il critico Edmond Duranty scriveva (*La Nouvelle Peinture: À propos du groupe d'artistes qui expose dans les Galeries Durand-Ruel*, 1876): "Passando di intuizione in intuizione, essi [i pittori Impressionisti] sono a poco a poco riusciti a separare i raggi della luce del sole, i suoi elementi, e nel ricostituire la sua unità a mezzo della generale armonia dei colori dello spettro che hanno diffuso sulle loro tele. Dal punto di vista della sensibilità dell'occhio, della sottile penetrazione dell'arte del colore, si tratta di un risultato assolutamente straordinario". Il critico d'arte Diego Martelli, il patrocinatore dei Macchiaioli scriveva nel suo libro *Gli Impressionisti* (1880): "L'Impressionismo non è solo una rivoluzione nel campo del pensiero, ma è anche una rivoluzione fisiologica del modo di concepire l'occhio umano. È una nuova teoria che dipende da un modo differente di percepire la sensazione della luce e di esprimere le impressioni". Il poeta Jules Laforgue (*Impressionism*, 1883): "L'occhio riconosce fondamentalmente solo vibrazioni luminose [...] le tre fibre nervose descritte da Young [...] L'impressionista vede la luce bagnare ogni cosa [...] con mille tonalità di colore che guizzano e si scontrano nella luce prismatica".

«Una volta che gli artisti cominciarono a concettualizzare la pittura nei termini della teoria della visione di Young-Maxwell-Helmholtz, essi crearono una nuova 'arte dell'osservazione' spostando l'attenzione dalla riproduzione di oggetti colorati nel mondo per concentrarla sulla loro esperienza soggettiva del colore. Nella teoria di Helmholtz la forma, così come il colore, non è nel mondo ma nella mente. [...] I pittori del quattrocento avevano trasformato il piano del quadro in una finestra attraverso la quale l'osservatore guardava in un altro spazio. La prospettiva lineare rese gli artisti consapevoli di quale fosse il loro punto di vista (di fronte al piano del quadro), ma la teoria era focalizzata su un mondo naturale 'là fuori' (dietro il piano del quadro), e dava le regole per misurarlo con precisione usando la geometria Euclidea. Dopo che Helmholtz ebbe descritto la visione come un prodotto dell'occhio e del cervello, gli Impressionisti – perseguendo tuttavia con passione il fine dell'osservazione il più accurata possibile – crearono una nuova forma simbolica; il piano del quadro divenne una superficie opaca sulla quale riportare le proprie soggettive reazioni alla luce – una prospettiva fisiologica. E quando la generazione successiva cercò di aggiungere una struttura alla miriade di colpi di pennello e di punti di colore che componevano le tele di Monet, Cézanne impose un ordine derivato non dai volumi geometrici di un mondo 'là fuori' delineati dalla prospettiva Rinascimentale, bensì dalla sua esperienza soggettiva dello spazio, dalla sua prospettiva personale.» [L. Gamwell, *Exploring the Invisible*, p. 73].

La prima generazione degli Impressionisti aveva cercato di rendere le sensazioni di colore combinando i colori sulla tela. I Neo-Impressionisti tentarono di far combinare i colori dall'occhio stesso. Sia che si osservi una scena naturale sia che si osservi un quadro, il processo fisico che produce l'immagine nel cervello è lo stesso: onde luminose che si riflettono dalla superficie

Corso: *Teoria e filosofia dei linguaggi, anno accademico 2012-13*

Titolo del corso: *arte e scienza dal XIX al XXI secolo*

Docente: *Paolo Garbolino*

osservata alla retina. Il fisico americano Ogden Rood, in un suo libro del 1879 tradotto in francese nel 1881 (*Théorie scientifique des couleurs et leurs applications à l'art et à l'industrie*) ne tirava le conseguenze: "La Natura e il pittore, alla fin fine, impiegano gli stessi mezzi per catturare l'occhio di chi osserva. Questo fatto, apparentemente così ovvio, va sottolineato perché molta gente crede ancora che la Natura dipinga con la luce, mentre l'artista deve limitarsi ai pigmenti: in realtà, *entrambi* dipingono con la luce".

La 'pittura con la luce' consisterebbe nel comporre il quadro con piccolissime macchie puntiformi di colore, vicinissime fra di loro: in questo modo i colori del quadro risulterebbero dall'integrazione dei colori dei punti effettuata dall'occhio. Un esempio di integrazione dei colori effettuata dall'occhio è offerto dalla stampa a colori, dove abbiamo quattro stampe con puntini colorati (i tre fondamentali per la combinazione sottrattiva, turchese, porpora, giallo, più il nero): i punti sono così piccoli da non essere percepiti come tali dall'occhio e grandi abbastanza e di un colore abbastanza saturo per avere una buona riflettanza.

Georges Seurat (1859-1891) tentò di produrre un effetto del genere con i colori della tavolozza. Il critico Félix Fénéon scrisse a proposito del quadro *Una domenica d'estate a La Grande Jatte* (*Les Impressionistes*, 1886): "Essi [i primi Impressionisti] procedevano per scomposizione dei colori; ma questa scomposizione veniva fatta in maniera arbitraria: questa e questa striscia di colore producevano una sensazione di rosso nel paesaggio; questi e questi rossi brillanti venivano scuriti con dei verdi. I signori Georges Seurat, Camille e Lucien Pissarro, Dubois-Pillet e Paul Signac dividono la tonalità coscientemente e scientificamente [...] Se fissate la vostra attenzione su pochi centimetri quadrati di tonalità uniforme nella *Grande Jatte* del signor Seurat, troverete in ciascun centimetro della sua superficie, in un turbinio di tanti piccoli punti, tutti gli elementi che compongono quella tonalità [...] Questi colori, isolati sulla tela, si ricombinano sulla retina e di conseguenza ciò che abbiamo non è una mistura di colori materiali (i pigmenti) ma una mistura di differenti raggi di luce colorata".

Consideriamo il color verde. Per miscela dai pigmenti colorati il verde si ottiene dal blu e dal giallo: allora l'occhio vedrebbe un verde (brillante) laddove sulla tela ci fosse un insieme di punti con pigmenti blu e gialli? Se guardiamo il Triangolo di Maxwell vediamo come a mezza strada fra il blu e il giallo non ci sia un verde, ma un rosso pallido o un blu pallido tendente piuttosto al grigio. Di fatto, se si fa ruotare velocemente un disco bicolore blu e giallo, il disco si vede grigio. Questo esperimento era stato fatto da Maxwell e riportato da Rood. Il triangolo di Maxwell mostra che, se si mischiano raggi di luce di colori saturi quello che si ottiene sono tinte non sature, e quindi tinte smorzate, tendenti al grigio. I colori più saturi sono mischiati più efficacemente sulla tavolozza: di fatto, in nessun punto i verdi della *Grande Jatte* sono prodotti accostando puntini blu e gialli. Ci sono puntini arancione nei verdi, ma questo produce un effetto di contrasto di colore già ben noto e studiato nel più famoso, e usato, manuale di teoria dei colori dell'800, *La legge dei contrasti simultanei dei colori*, pubblicato nel 1839 dal chimico francese, nonché direttore della Reale Manifattura degli arazzi Gobelins, Michel-Eugène Chevreul (1786-1889). Le misture ottiche migliori si ottengono mescolando colori con bassa saturazione, o colori più saturi con i loro complementari meno saturi ma in questo erano già maestri pittori della generazione precedente come Eugène Delacroix (1798-1863): certi incarnati di Delacroix sono prodotti aggiungendo colpi di verde sul rosa.

Gli esperimenti dei neoimpressionisti arrivarono rapidamente alla conclusione che la tecnica del 'puntinismo' non avrebbe causato significativi cambiamenti rispetto alla tecnica tradizionale e alcuni di loro, come Paul Signac (1863-1935), passarono a dipingere con macchie di colore più grandi, che non possono essere fuse dall'occhio. Il *divisionismo* ebbe in Italia i suoi rappresentanti come Giovanni Segantini (1858-1899). Mentre la combinazione additiva del puntinismo tendeva a smorzare i colori, il divisionismo li esaltava sfruttando fenomeni di contrasto cromatico. Il tentativo, fallito, di dipingere con la luce naturale lascerà il campo alla pittura con "la luce del cervello", ad un uso dichiaratamente e puramente soggettivo del colore e della forma, che verrà fatto dai *Fauves* come Maurice Vlaminck (1876-1958), André Derain

Corso: *Teoria e filosofia dei linguaggi, anno accademico 2012-13*

Titolo del corso: *arte e scienza dal XIX al XXI secolo*

Docente: *Paolo Garbolino*

(1880-1954), il primo Matisse (1869-1954), seguendo la lezione di Vincent van Gogh (1853-1890). Quest'ultimo scriveva in una lettera: "Non sono affatto sorpreso delle critiche degli Impressionisti al mio modo di dipingere, in quanto è più influenzato dalle idee di Delacroix che dalle loro. Al posto di cercare di rendere esattamente ciò che ho davanti agli occhi, io mi servo dei colori arbitrariamente per esprimermi in maniera più forte". Il colore assumeva una valenza diversa e nuova, diventava un elemento strutturale, per così dire, dell'immagine: la profondità e lo spazio erano adesso costruite dalla contrapposizione dei colori, invece che dalla prospettiva.