

Mario Ballocco

**La cromatologia**

per l'analisi oggettiva della problematica della percezione visiva  
e la soluzione dei problemi visivi di interesse collettivo

a cura di Paolo Bolpagni

## **Nota al testo**

Il trattato di carattere divulgativo qui riprodotto, pubblicato per la prima volta all'interno del presente volume, costituisce l'autentica *summa* degli studi di Mario Ballocco sulla cromatologia, iniziati negli anni cinquanta sulle pagine della rivista "Colore. Estetica e Logica" e proseguiti in coincidenza e in parallelo alle sue ricerche pittorico-visive e alle lezioni tenute – tra il 1970 e il 1991, con larghi intervalli – all'Accademia Carrara di Bergamo, poi a Brera e infine al Politecnico di Milano. La dispensa realizzata presso tale ateneo a supporto del seminario di cromatologia organizzato durante l'anno accademico 1988-89 nell'ambito del corso di "Storia dell'architettura II" del professor Carlo Perogalli costituisce l'immediata premessa e – nella sua basilare tripartizione della materia in fisica ottica, fisiologia e psicologia della percezione – il nucleo germinativo e, per così dire, la "scaletta" del ben più ampio testo che di séguito è proposto, la cui stesura risale agli anni compresi tra il 1989 e il 1990.

Il curatore si è limitato a trascrivere il dattiloscritto (comprese le correzioni autografe) di Mario Ballocco, rimasto sinora inedito, apportando minimi adattamenti di natura redazionale. Anche le illustrazioni e le tavole a corredo della trattazione sono state apprestate a suo tempo dall'autore.

P. B.

## Prefazione

La metodologia interdisciplinare che ho denominato cromatologia, e con differenti modalità già suggerito, è qui più compiutamente riproposta quale premessa alla soluzione operativa di problemi visivi interpersonali. Problemi, dunque, concreti, le cui soluzioni – piuttosto che dalle parabole stilistiche – paiono dover essere guidate dalla stretta attinenza agli eventi che compongono il processo della visione. Eventi dei quali ho cercato di riassumere – escludendo l’inganno delle soluzioni *a priori* – gli ampi sviluppi, confidando che le tracce storiche rendano più evidenti le connessioni e organica l’esposizione.

Il compendio che ne è derivato è rivolto in particolare a quei giovani che, attratti dal pensiero razionale, sono sensibili alla norma leonardesca: “Quelli che s’innamoran di pratica senza scienza, son come il nocchier ch’entra in naviglio senza timone o bussola, che mai ha certezza dove si vada”.

Desidero, infine, riconoscere il mio debito verso chi, con la propria qualificazione, a partire dagli anni cinquanta-sessanta, e ancora in questa occasione, ha sostenuto con preziosi suggerimenti le mie esperienze sulla logica visiva: i miei cari amici Renato Boeri, Gianfranco Carlevaro, Gaetano Kanizsa, Franco Potenza, Ettore Ronchi e Narciso Silvestrini.

M. B.

# Capitolo 1 - Gli arcaici enigmi sulla facoltà visiva

## 1.1 “È l’occhio a calamitare le sembianze delle cose o viceversa?”

Per quanto la percezione visiva sia essenziale alla sopravvivenza umana, una spiegazione sulla natura della facoltà visiva si comincia a ricercarla in un periodo piuttosto avanzato della storia dell’*homo sapiens*, iniziata trentacinquemila anni fa.

I primi tentativi per capire i non pochi enigmi percettivi, tra cui quello della smisurata dimensione dell’immagine di una montagna che riesce ad attraversare la piccola fessura degli occhi, risalgono, infatti, a poco più di duemilacinquecento anni fa. Quando, cioè, nell’antica Grecia si impone il rifiuto alle credenze semplicistiche o soprannaturali dei pre-ellenici: la Terra concepita come un’ampia distesa orizzontale galleggiante sull’acqua; gli oscuri fenomeni cosmici quali espressioni dell’imperscrutabile volontà di tanti dei ovunque presenti; le foche monache scambiate per sirene.

A rovesciare i molti pregiudizi esistenti furono lo spirito critico e la libertà intellettuale dei filosofi, contemporaneamente fisici e matematici, greco-jonici. Che dal VI secolo a.C. – eredi culturali delle civiltà babilonese ed egiziana, per primi ricercarono nei fenomeni della natura le spiegazioni alle complessità cosmiche, e nell’organizzazione del pensiero una filosofia realistica del tutto.

Affrontando problemi sino allora ignorati, i mezzi di indagine erano tutti da inventare. Le osservazioni cosmiche venivano compiute a occhio nudo; malgrado ciò, il precursore della filosofia Talete (624 o 623 - 548/545 a.C.) riuscì a calcolare e predire l’eclissi solare del 28 maggio 585 a.C. e Anassimandro (610/609 - 547/546 a.C.), dopo aver inventato l’orologio solare e postulato che la Terra oscilli nello spazio e abbia forma convessa, stupì i concittadini di Mileto affermando che il Sole e le stelle, che apparivano ruotanti solidamente con la superficie del cielo, non erano come si credeva divinità, ma semplici sfere di fuoco<sup>1</sup>.

All’epoca, le concezioni filosofiche dominanti dimostravano le loro convinzioni per mezzo di un sistema di ragionamento, scoperto dai Greci, detto *deduttivo*, che (contrapposto al ragionamento *induttivo*, consistente nell’arguire da osservazioni ed esperienze particolari i principi impliciti nel generale) parte da determinate premesse per ricavare conclusioni logicamente necessarie. Come l’assioma attribuito a Leucippo (seconda metà V secolo a.C.), secondo cui, “posto che ogni percezione presuppone un contatto, e considerato che l’anima è un’entità impossibilitata a viaggiare, il contatto con le cose non può avvenire che mediante gli organi di senso: per la vista l’occhio”. Del tutto estranei all’idea fondamentale della luce come tramite tra le cose e la vista, e non solo come contrario del buio, i proto-scienziati greci, concordi nel presupposto che la percezione non può aver luogo che tramite un incontro tra osservatore e osservato, furono discordi sull’interrogativo: *sono le cose a inviare le proprie immagini agli occhi, oppure sono gli occhi a catturare le sembianze delle cose?*

## 1.2 La mischia delle ipotesi con le immagini volanti

Pitagora (570 - circa 490 a.C.) e la sua scuola escludono il “perturbamento esterno”. Il collegamento visivo doveva realizzarsi con l’emissione di un’entità, un fuoco invisibile sprigionato dall’occhio per illuminare e calamitare l’aspetto delle cose. Di parere opposto a quello dei pitagorici è la scuola atomistica di Democrito (460 - 370 circa a.C.), derivata da Leucippo, creatore del termine “atomo”. Per gli atomisti, che consideravano l’universo formato da particelle invisibili, gli atomi, la

---

<sup>1</sup> Con il termine fuoco, ancor oggi metaforicamente in uso nella locuzione “messa a fuoco”, si intendeva un’entità o facoltà vitale.

percezione visiva non poteva avvenire se non da eventi esterni: dall'esplosione di atomi che, riflettendo il simulacro delle cose, colpivano l'organo visivo. Da tali immagini volanti, dette *éidola*, sarebbe derivata la visione.

A queste due opposte teorie, destinate a uno stereotipo plurisecolare che continuava a confondere la causa (la luce) con gli effetti, altre (non sempre chiare per le discordanti interpretazioni dei testi antichi) si susseguirono dettate dalle deduzioni personali. Così Empedocle (V secolo a.C.), che, applicando il suo principio sulle cause del processo sensitivo in genere, introduce l'idea di un'azione combinata tra l'incontro di due entità, due "fuochi", uno esterno, l'altro interno all'osservatore. Il primo "fuoco", riferibile alla "luce", proverrebbe, con veloce attraversamento dello spazio, da "particelle" emesse dalla struttura "porosa" di ogni corpo. Il secondo "fuoco" dai "pori" dell'occhio, i quali assorbendo le "particelle", darebbero luogo alla visione. Assorbite dai "pori" dell'orecchio, le particelle sprigionerebbero i suoni, e così via per l'olfatto ecc.

Il concetto dell'azione combinata di Empedocle è condivisa nel *Timeo* da Platone (427-347 a.C.): "Di tutto quel fuoco che non può bruciare, ma produce la mite luce del giorno [...] la luce che sopravviene dal didentro s'urta con quella che s'abbatte dal difuori [...] producendo quella sensazione per cui noi diciamo di vedere"; ma risulta avversata da Aristotele (384-322 a.C.). Di cui, mentre si rivela indubbio il disaccordo con tutte le teorie sino allora apparse, riguardo alle sue proposte risultano chiara soprattutto la negazione dell'emissione della luce dall'occhio e l'affermazione di un contatto percettivo dovuto a un non precisato "movimento" tra l'occhio e le cose.

Una posizione a sé è quella del pitagorico Euclide (320-270 circa a.C.), fondatore della geometria. Il quale, pur adeguandosi all'idea della luce emessa dall'occhio, porta basilari contributi con i suoi due trattati matematico-sperimentali. Con l'*Ottica*, mentre definisce la propagazione rettilinea del raggio di luce, espone anche, anticipandoli, i principi della prospettiva tridimensionale (seppur con il vertice del "cono" rivolto all'occhio). Con la *Catoptrica*, invece, riunisce lo studio dei fenomeni di riflessione da superfici speculari dei raggi luminosi (talvolta precisati come provenienti dal Sole)<sup>2</sup>. Euclide, formalizzando matematicamente il flusso della radiazione luminosa, "ha il merito di aver creato il modello geometrico della luce, il raggio rettilineo e privo di struttura fisica, il quale ha servito alla costruzione dell'"ottica geometrica" di cui ancor oggi è l'anima"<sup>3</sup>.

Le controverse disquisizioni sul collegamento tra il mondo esterno e la visione durano sino al primo secolo dell'era cristiana. Per oltre cinque secoli, il problema della percezione visiva posto dai proto-scienziati greci ristagna; sia il fenomeno fisico della luce, sia l'interagente funzionamento dell'organo visivo continuano a essere ignorati. È Galeno (129 - circa 200 d.C.), medico di Pergamo, a smuovere le idee, pur non discostandosi dalle stesse posizioni di Empedocle e di Platone riguardo al circuito bidirezionale del meccanismo visivo. Per Galeno, lo "spirito visivo" generato dal cervello, e giunto agli occhi dopo l'avvenuto contatto con il "fluido" emesso dal Sole, ritornerebbe con l'informazione visiva al cervello. L'apporto di Galeno è, quindi, anzitutto nell'aver posto il problema fisiologico della vista, poi nella descrizione anatomica del bulbo oculare; descrizione che, pur contemplando le parti essenziali dell'occhio, disposte peraltro soggettivamente, privilegia la lente, ritenuta sede della facoltà visiva. Purtroppo, anche se embrionalmente, il fondamentale quesito di Galeno, comparso in un periodo di profonda crisi culturale, trova un seguito soltanto sette secoli dopo: quando la ricerca scientifica passa dal mondo occidentale a quello islamico. Quando, cioè, nell'anticamera del millenario Medioevo (400-1400 circa), gli Arabi del Medio Oriente, giunti in possesso dei testi greci costituenti l'antico patrimonio abbandonato dalla crisi dell'Occidente, li trascrissero nella loro lingua. E, assimilate le esperienze della cultura greca, le arricchirono delle loro conoscenze.

---

<sup>2</sup> Cfr. G. OVIO, *L'Ottica di Euclide*, U. Hoepli, Milano 1918.

<sup>3</sup> V. RONCHI, *Storia della luce. Da Euclide a Einstein*, Laterza, Roma - Bari 1983.

## Capitolo 2 - Le millenarie indagini

### 2.1 Svelata la provenienza esterna della luce

Gli scienziati arabi, in parte di estrazione medica come Hunain ibn Is-haq (809-873) e, tra i più famosi, Razis (morto verso il 930), se non apportarono sostanziali mutamenti alla rappresentazione anatomica di Galeno, sfatarono, però, le antiche credenze sulla provenienza della luce. È in particolare con i proto-fisici ricercatori sul mondo esterno, come Alhindi (813-873 circa) prima, e un secolo dopo, più estesamente con Alhazen (965-1039), che, proseguendo con le sperimentazioni di catottrica già condotte da Euclide, precisa che la luce non è generata dagli occhi, ma emanata da una fonte luminosa esterna: dal Sole o dal fuoco mediante raggi che, rimbalzando sulla superficie dei corpi, hanno la proprietà di agire sugli occhi. Con questa precisazione – anche se sommaria, perché della luce è ancora assai lontana la specifica composizione fisica, con le implicazioni che ne seguono – si incomincia a uscire, seppur molto lentamente, dal mondo delle chimere. È, per esempio, la fine degli *éidola* vaganti come aquiloni nello spazio etereo, spazio che, secondo la teoria aristotelica avversa all'idea del vuoto, sarebbe composto da un imponderabile mezzo, probabilmente elastico per poter propagare ogni energia.

Nonostante il chiarimento della provenienza esterna della fonte luminosa, che in Occidente giungerà verso il 1200 scontrandosi con i dogmi confessionali del maturo Medioevo, l'interagente problema fisiologico della vista rimane confuso. La conformazione anatomica dell'occhio continua a essere idealizzata in una struttura geometrica nella quale la lente, a causa della sua posizione mediana nel complesso oculare, prosegue a essere ritenuta il centro della visione. Così come la Terra, centro del sistema astronomico perché a similitudine dell'universo aristotelico è intravista, con persistente pregiudizio estetico, come il corpo geometricamente più perfetto: la sfera.

In questo clima, inteso lo stimolo esterno della luce quale fluido trasparente, il nervo ottico, che alle osservazioni visive di allora non poteva rivelare le centinaia di migliaia di fibre nervose di cui è composto, era pertanto ritenuto cavo, come un semplice canale di passaggio della linfa visiva.

Queste lunghe pause conoscitive vengono evidenziate da due descrizioni dell'occhio provenienti dall'antica scuola medica mediorientale di Bagdad. La prima è tratta dal manoscritto (probabilmente intorno all'anno 850 d.C.) di Hunain (fig. 1). La seconda (all'incirca del Mille) è proveniente da un plagio. Perché comparsa in Occidente nel tardo Medioevo con un trattato di ottica manoscritto “del non ben definito Witelio o Vitellio o Vitellione”, trattato che, riapparso in edizione a stampa anche nel 1535, riportava – come ben presto fu dimostrato – “solo le idee, le dimostrazioni e le esperienze di Alhazen, pur senza citarne la fonte”<sup>4</sup> (fig. 2).

Sino al Seicento, quindi, la struttura oculare e la connessione tra l'occhio e il cervello, più immaginate che osservate, rimangono ferme agli archetipi greco-arabi: persino per l'anatomista belga Andrea Vesalio (1514-1564), che pure riuscì a sovvertire le dottrine medico-astrologiche del tempo, quando, cioè, la medicina, imbevuta di fantasticherie divinatorie, veniva praticata anche dagli astronomi.

---

<sup>4</sup> RONCHI, *Storia della luce*, 1983.

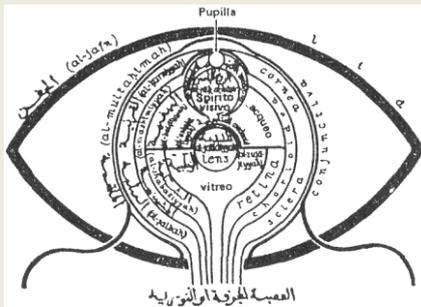


Fig. 1  
La più antica descrizione dell'occhio, tratta dal manoscritto arabo di Hunain (circa 850 d. C.)

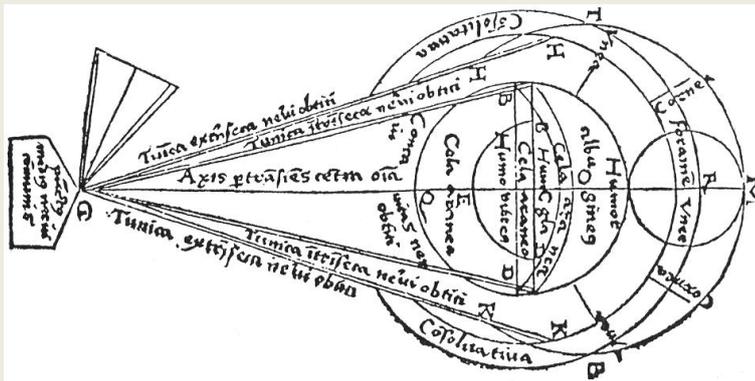


Fig. 2  
Descrizione dell'occhio umano riconducibile alle dimostrazioni ed esperienze di Alhazen.

## 2.2 Il risveglio rinascimentale

La problematica visiva, in stasi sulle conoscenze delle cause fisiche e fisiologiche, si vivacizza sugli effetti del vedere in occasione del rinnovamento culturale che, sull'eco del mondo classico, comparve in Italia sul finire del Quattrocento. E, diffusosi in Europa per tutto il Cinquecento, sostenne l'autonomia intellettuale, antepo- nendo l'esperienza umana della storia, delle cose e dei fatti alla "realtà non mutabile" del trascendentalismo medioevale. Destinato a riflettersi in ogni campo, questo progresso intellettuale, che, attratto dal pensiero scientifico, avviò il mutamento dell'assetto del mondo, mise fine al millenario Medioevo sotto la spinta di una progressiva serie di conquiste. Tra le quali, con l'invenzione della stampa, le scoperte geografiche, la rivoluzione copernicana<sup>5</sup> e, non ultimo, il rinnovato metodo di rappresentazione visiva delle idee e degli avvenimenti. Che, con la libertà di scelta degli argomenti non più imposti, trasformò a specchio della nuova civiltà l'allora mezzo per antonomasia di "comunicazione di massa": la pittura, tramite informativo più diretto dello scritto.

All'innovazione figurativa rinascimentale, già precedentemente intuita, concorsero differenti ricerche di un unico arrivo: la proporzione, ossia i rapporti di misura non più soggettivamente intesi, ma realistici, sia della figura umana sia del suo ambiente spaziale.

<sup>5</sup> Anche se la teoria tolemaica sopravvive ancor oggi quando si attribuisce al Sole il moto di "levarsi" e di "tramontare".

### 2.2.1 I modelli dell'anatomia umana

L'esperienza anatomica, clandestina per il perdurante ostracismo religioso, riappare per soddisfare l'esigenza della "verità visiva" dei pittori e scultori del primo Rinascimento. I quali, rievocando l'equilibrio plastico delle immagini ellenistiche, cercarono nell'analisi anatomica la riconquista delle regole proporzionali della figura umana in tutte le sue realistiche fasi motorie. A queste occulte indagini spiccano le partecipazioni che vanno dal Verrocchio (1435-1488) al Mantegna (1430/1431 - 1506), dal Signorelli (1445 circa - 1523) a Leonardo (1452-1519), da Michelangelo (1475-1564) a Raffaello (1483-1520). Tra tutti, per acutezza ed entità di analisi, emerge Leonardo, che, con la sua monumentale serie di oltre mille perfette tavole sulla struttura del corpo umano elaborate dopo una trentina di dissezioni, per la prima volta evidenzia il rapporto tra l'anatomia e la fisiologia (tavole scoperte oltre due secoli dopo presso la Biblioteca di Windsor "con grave danno per la scienza medica").

Nello studio dei canoni anatomici, la pittura, a differenza della scultura, trova nelle regole proporzionali della figura umana soltanto uno dei procedimenti da contrapporre all'arcaico convenzionalismo medioevale. Mentre, infatti, la scultura è di per sé tridimensionale, in quanto "corpo circondato d'aria", nel suo nuovo corso la pittura deve conformare il realismo della figura con quello dell'ambiente che la circonda. E poiché l'ambiente è sinonimo di spazio, le nuove ricerche vertono sulla più coerente rappresentazione delle distanze ambientali.

### 2.2.2 Lo spazio tridimensionale

Le nuove indagini rinascimentali riguardano l'ordinamento dei parametri rappresentativi della terza dimensione: la profondità spaziale. Ossia la visione del progressivo degradare delle distanze tra le cose, così da consentire, su di una superficie piana, la simulazione della prospettiva con lo spessore degli oggetti e la loro lontananza, non più secondo la disparità degli schemi individuali, ma in un'unica naturalistica disposizione gerarchica delle parti in relazione al tutto.

Per quanto lo schema della prospettiva fosse noto nell'antichità, per esempio con Euclide, e variamente in uso nell'architettura, a tale ordinamento, già avvertito nel Trecento da Giotto (circa 1267 - 1337), la pittura giunse con il concorso di differenti esperienze tra cui, oltre alle vaghe teorie di alcuni trattatisti quattrocenteschi, le prefigurazioni di Paolo Uccello (1397-1475), di Masaccio (1401-1428), dell'Angelico (circa 1395 - 1455), e in particolare del Brunelleschi (1377-1446) con le scientifiche intersezioni plastiche della sua cupola. Esperienze che verso il 1435 Leon Battista Alberti (1406-1472) riassunse teorizzando le nuove regole prospettive della geometria lineare euclidea. E denominata, perciò, prospettiva lineare, ne definì la caratteristica nella convergenza di due parallele che, dipartite dal piano terra suddiviso a intervalli spaziali decrescenti, si incontrano al "punto di fuga" indicato sulla linea dell'orizzonte, dando luogo alla cosiddetta piramide visiva.

Con tale scala metrica fissa, che codifica la rappresentazione delle distanze secondo la "visione normale" della cultura e delle convinzioni del tempo, se si stabilisce il modello di un'ideale misura *statica* dello spazio, non si contempla però la misura della luce. Senza la quale non soltanto lo spazio "realistico" non ha sembianze, ma dal variare della luminosità le distanze e le cose sono condizionate, variando d'aspetto sino ad apparire di maggiore o minore estensione e consistenza.

È Leonardo che, ritenendo la prospettiva lineare riduttiva, la distingue con la prospettiva che chiama "pittorica" o "aerea", in quanto fondata sulle regole visive del progressivo degradare delle tonalità dei colori, "che si variano in varie distanze" secondo "lo spessore dell'atmosfera", ossia l'intensità della luce riflessa, piuttosto che secondo l'immobile unità di modulo della prospettiva albertiana. La quale, imponendosi con il suo refrattario postulato unitario che risente l'eco dell'assoluto mondo medioevale, ha finito – malgrado alcuni sviluppi pittorici succedutisi – per livellare l'idea di spazio della civiltà occidentale per oltre tre secoli. Sin oltre, cioè, alla più oggettiva geometria di fine Settecento di Gaspard Monge, e quindi alle nuove geometrie non più

euclidee, e alla comparsa, con la relatività generale di Einstein, della quarta dimensione spazio-tempo, che ha mutato la fisionomia del nostro mondo.

### 2.2.3 I molteplici aspetti della realtà visiva

Oltre a definire le regole pittoriche della prospettiva, con il suo *Trattato della pittura* Leonardo anticipa la conoscenza sperimentale degli effetti e delle cause degli altri infiniti fenomeni naturali che agiscono sulla “virtù visiva”. Tra cui l’incidenza della luce diretta e riflessa, i contrasti dei colori semplici e composti, i rapporti dimensionali tra le forme e i colori, le qualità delle ombre, delle nubi e dei fumi che filtrano la luce del Sole, le superfici lucide, trasparenti e opache, e via via tra le centinaia di diversi inediti rilievi: “sul perché l’aria grossa vicino all’orizzonte si fa rossa, oppure da cosa nasce l’azzurro del cielo”. Con tali acquisizioni, nate dall’“esperienza madre di ogni certezza”, Leonardo non arricchisce unicamente la pittura: apre il discorso sulla problematica visiva scientifica, che soltanto quattro secoli dopo troverà coordinato sviluppo negli studi della psicologia sperimentale.

Un’ulteriore conferma che ogni rinnovamento coerente finisce per riflettersi in altre situazioni proviene dallo stesso innovante metodo di indagine leonardesca. Metodo che Leonardo pone come premessa alle sue osservazioni quando, contestata la medioevale classificazione di arte meccanica (non intellettuale) della pittura, non accontentandosi di sancirne la priorità tra le altre arti liberali, decreta “la connumerazione della pittura tra le scienze”. Con la precisazione che “nessuna umana investigazione può dirsi vera scienza se essa non passa per le matematiche dimostrazioni” e non venga sottoposta al controllo “dell’esperienza senza la quale nulla dà di sé certezza”. Con simili attestazioni, Leonardo non soltanto contrappone il criterio logico, organico della scienza, alla genericità dell’arte: anticipa il principio dell’analisi sperimentale. Che Galileo (1564-1642), fautore della scienza nuova, preciserà nei tre momenti del metodo induttivo fisico-matematico: dell’osservazione, dell’ipotesi e della verifica.

## 2.3 L’incidenza del raggio luminoso

A imprimere rigore scientifico al problema della luce correlato alla fisiologia della visione concorrono l’abate matematico Francesco Maurolico (1494-1575) e l’astronomo Johannes Kepler (1571-1630). Maurolico, come già Leonardo poco prima, si discosta dall’ottica antica razionalizzando lo studio geometrico della riflessione e della rifrazione. Ciò avviene con la definizione, prima vagamente considerata, dei punti di traiettoria del raggio di luce incidente secondo le caratteristiche formali delle superfici prese in esame. Studio che gli permette di trasferire l’eguale principio di convergenza dei raggi luminosi degli specchi concavi e convessi alla lente (o cristallino) dell’occhio umano, rilevando come alla curvatura della lente più o meno accentuata corrisponda una maggiore o minore confluenza di raggi. Quindi, un differente grado di acutezza visiva, che, con l’adozione di appropriate lenti (concave per la vista breve, convesse per quella lunga), può essere corretta.

Un più incisivo apporto proviene da Kepler, il quale, indagando sulle proprietà della luce, postula la natura del colore, sino allora confusamente inteso come elemento a sé; ossia come una specie di involucro dei corpi, che la luce – inimmaginabile la sua scomposizione, e perciò ritenuta sempre e soltanto bianca – aveva la proprietà di staccare dalle cose e inviare alla vista. Con Kepler il colore è intravisto come una trasformazione dei raggi luminosi, che, all’incontro con ogni superficie, riflessi o rifratti, riprendono in linea retta. Anche il processo visivo trova sostanziali chiarimenti. Kepler declassa il cristallino da antica sede della percezione a semplice diaframma che il raggio di luce attraversa per poter giungere a stimolare la “superficie cava e rossastra della retina”. Non solo: spiega anche il paradosso dell’immagine rovesciata (ancor oggi fonte di equivoci), commentata da Leonardo con l’esempio della “camera oscura”: una scatola che al centro

della parete anteriore abbia un foro, e la cui parete posteriore sia trasparente, mostra che l'immagine degli oggetti posti davanti al foro appare rovesciata nella parete trasparente. Kepler considera questo rovesciamento dell'immagine per quello che in effetti è: un fenomeno fisico dovuto alla curvatura della lente oculare, che nella fase percettiva è automaticamente corretto dalle stesse vie ottiche. Il principio di Kepler, che antepone l'azione fotorecettiva della retina oculare alle mirabolanti proprietà della lente, trova conferma nella prima esatta descrizione anatomica della struttura dell'occhio (fig. 3), realizzata nel 1619 da Christoph Scheiner (1575-1650), oltre quattordici secoli dopo la prima intuizione di Galeno.

I contributi allo sviluppo dell'ottica geometrica, oltre a quelli di Maurolico e di Kepler, si susseguono. Dopo gli studi di Willebrord Snell (1580-1626), che nel 1621 precisa la formula della rifrazione (cfr. 3.3.3), secondo cui la deviazione di un raggio di luce, passando da un mezzo all'altro, assume differenti caratteristiche pur proseguendo in linea retta, a breve distanza si aggiungono sia i modelli di Cartesio (René Descartes, 1596-1650), che della rifrazione deduce le leggi (il rapporto dei seni agli angoli), sia l'indagine del matematico Pierre Fermat (1601-1665) sul minimo percorso del raggio di luce. Malgrado questi progressi dell'ottica, la natura della luce, che continua a essere sconosciuta, dà luogo alle più astruse interpretazioni. Così quella di Cartesio che, considerata la luce un fluido composto da non precisati corpuscoli sferici, ne tenta una rappresentazione con un paragone balistico – probabilmente suggerito dalla sua precedente attività militare – tramite il quale, sia pure con descrizione fantasiosa, come già Kepler scorge la provenienza del colore dalla luce. Nella sua *Dioptrique* del 1637, con cui enuncia anche la legge della rifrazione, a proposito dei corpuscoli intesi come proiettili Cartesio scrive: “Bisogna notare che la palla, oltre al suo moto semplice e ordinato che la porta da un luogo all'altro, ne può avere un secondo che la fa girare intorno al proprio centro, e che la velocità di questo può avere vari e numerosi rapporti con quella dell'altro”. Ipotizzata la luce come un (enigmatico) composto di minutissime sfere, i colori sarebbero stati la conseguenza delle differenti rotazioni dei corpuscoli. Se per Kepler il colore è “luce in potenza”, per il filosofo è una “modificazione della luce”, ma niente di più. E poiché il classico presupposto cartesiano nelle implicazioni del dualismo corpo-anima è che la conoscenza di ciò che proviene dai sensi ha solo origine introspettiva, la rappresentazione che Cartesio dà del meccanismo visivo (fig. 4) è errata soltanto come descrizione di un percorso anatomico ancora frammentario e oscuro: la breve appendice del nervo ottico, rimasto inteso come canale cavo che si diparte dal globo oculare, si tronca senza alcun legame con il cervello.

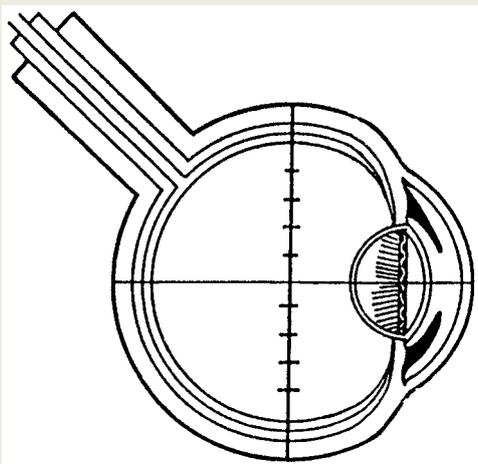


Fig. 3  
La prima esatta descrizione anatomica della struttura dell'occhio, realizzata nel 1619 da Christoph Scheiner.

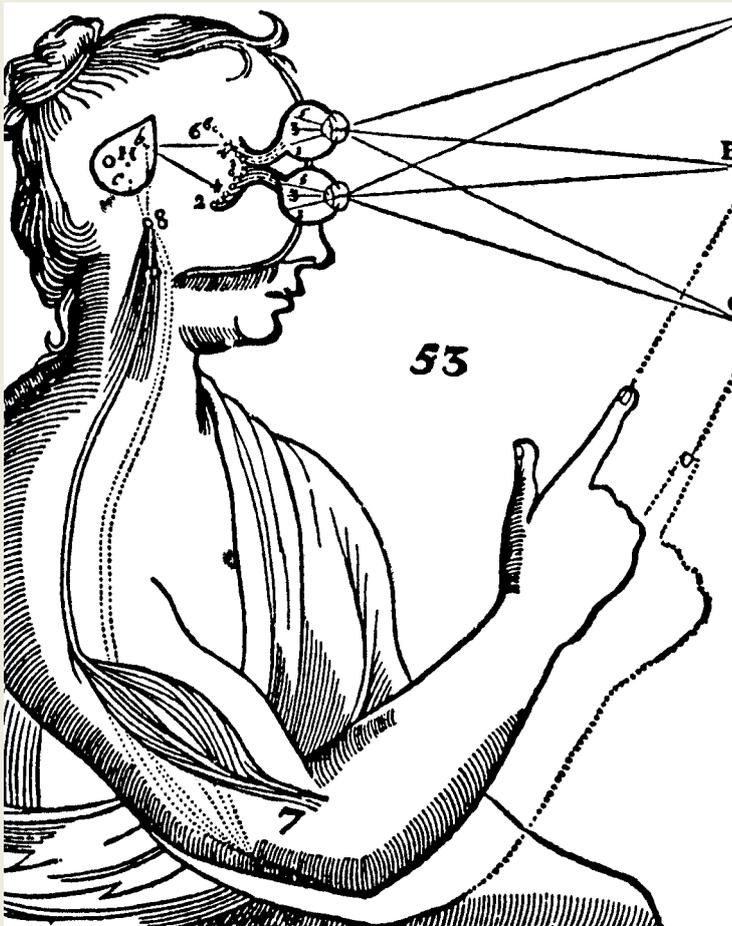


Fig. 4  
Il processo fisiologico della visione secondo il trattato *De l'homme* di René Descartes.

## 2.4 Il fenomeno ondulatorio

Più precise dimostrazioni sul colore come proprietà della luce provengono dal gesuita Francesco Maria Grimaldi (1618-1663) a seguito di ripetute sperimentazioni con prismi e lamine sui fenomeni di interferenza. Utilizzando strutture con sottili fessure, come pare già facesse Euclide, Grimaldi osserva che un piccolo fascio luminoso, diretto su di uno schermo bianco, dopo essere passato rasente l'orlo di un ostacolo presenta un'immagine con orli rossi e azzurri e frange alternativamente scure e brillanti. E chiama questo fenomeno, in cui la luce si colora indipendentemente dalla riflessione e dalla rifrazione, con il nome di diffrazione (cfr. 3.3.6). Dopo aver dimostrato l'interdipendenza tra il colore e la luce, e aver precisato che la vibrazione del *lumen* è stimolo per il colore, ma non ancora colore, Grimaldi, che sulla scia di Cartesio ritiene i raggi luminosi composti da minutissimi corpuscoli, lascia presagire la teoria ondulatoria. Condividendo l'idea della luce come moto, in contrapposizione alla teoria che la riteneva entità statica, Grimaldi paragona la luce a un fluido il quale si comporta come l'acqua che, colpita da un sasso, genera onde. E annota: "Sembra che il *lumen* sia un qualcosa di fluido capace di attraversare rapidissimamente, e almeno qualche volta in via ondulatoria, i corpi trasparenti". Il fenomeno ondulatorio, vagamente accennato da Grimaldi, è ripreso da Christiaan Huygens (1629-1695), che nel 1678 interpreta la propagazione della luce come il raggruppamento delle onde elementari emesse da una fonte luminosa attraverso l'etere. Con il meccanismo ondulatorio, Huygens amplia le acquisizioni anche sulla teoria della rifrazione, con il postulato secondo cui l'indice di rifrazione di un materiale è in rapporto alla velocità di attraversamento della luce.

## 2.5 La scomposizione della luce

Con la teoria ondulatoria di Huygens si delinea il movimento meccanico della luce, ma non ancora la fonte del colore. È Isaac Newton (1642-1727) a spiegare il paradosso per cui la luce bianca è il risultato della somma di tutti i colori. A questa basilare scoperta Newton giunge con nuove sperimentazioni sulla rifrazione della luce, in base alle quali deduce che la rifrazione è un fenomeno intrinseco della luce e non, come si credeva, una proprietà delle sostanze attraversate. La conferma è nella famosa dimostrazione secondo la quale, facendo incidere un raggio di luce bianca su di un prisma, appare una striscia di luci (i cosiddetti colori spettrali) che dal rosso, all'arancione, al giallo, al verde, al blu giungono al violetto, separati con deviazione corrispondente alla differente velocità di propagazione di ogni singolo colore<sup>6</sup> (fig. 5). Per evidenziare che tali colori non sono una bizzarra proprietà del vetro che muta l'aspetto del raggio luminoso, ma rappresentano la scomposizione del raggio di luce, Newton ricomponne poi la luce bianca dopo aver diretto il fascio degli stessi colori scomposti su di un altro prisma, orientato in modo inverso. Che già la prima scomposizione fosse di per sé definitiva lo ribadisce il fatto che, isolando prima e rinviando poi su un secondo prisma una sola delle luci frazionate, non si verificano ulteriori scomposizioni. L'eccezionale scoperta newtoniana (stranamente confutata nel 1810 da Goethe), dopo millenni di confuse, arbitrarie interpretazioni, stabilisce il fondamento per la spiegazione oggettiva di tutti i fenomeni fisici relativi al colore.

Precisata la fonte dei colori, è ancora controversa la spiegazione dell'andamento meccanico della propagazione della luce, allora denominata *lumen*. Andamento che Newton, richiamando l'atomismo democriteo e i paragoni balistici cartesiani, presuppone composto non da onde, ma da minutissimi e velocissimi corpuscoli, dalle cui dimensioni e velocità sarebbe derivato lo stimolo per l'impressione di un colore piuttosto che di un altro. Malgrado l'ancora oscura conoscenza sulla propagazione della luce, Newton, per ribadire che i colori provenienti dalla scomposizione del raggio di luce devono essere considerati stimoli esterni e non ancora colore, nel suo *Opticks* del 1704 precisa: "Ogni volta che sembra che io dica che il *lumen*, o i raggi sono colorati o imbevuti di colore, vorrei che ciò fosse detto in modo che non venga interpretato in senso filosofico e proprio, ma a uso del volgo. In realtà i raggi, se vogliamo parlare propriamente, non sono colorati". Ossia appaiono tali solo attraverso i processi visivi e mentali.

Questa fondamentale distinzione tra gli stimoli fisici dell'energia luminosa (di per sé non ancora luce e quindi colore), che anticamente avveniva con il termine *lumen*, e l'impressione visiva, differenziata con il termine *lux*, è scomparsa, rendendosi causa di non pochi equivoci quando, sostituendo il latino come lingua scientifica internazionale con le lingue moderne, la causa (*lumen*) è stata scambiata con l'effetto (*lux*). Nello stesso mondo scientifico – come Vasco Ronchi ha più volte sottolineato – ritenuto più sbrigativo un sottinteso anziché una distinzione che facesse corrispondere alla precisione dei termini chiarezza e inequivocabilità di idee, è entrato l'uso di indicare causa ed effetto con lo stesso termine "luce". Per ovviare a questa confusione, pare oggi che la distinzione venga ripresa, con l'uso delle locuzioni "radiazione luminosa o radiante" in luogo dell'antico *lumen*, e di "luce" in luogo di *lux*.

---

<sup>6</sup> Passando attraverso un prisma, la radiazione luminosa non esce in linea retta. Frazionandosi, subisce una deviazione scalare secondo le differenti lunghezze d'onda che la compongono: deviazione minore per le lunghezze d'onda più ampie (rosso, arancione), maggiore per quelle più brevi (blu, violetto).

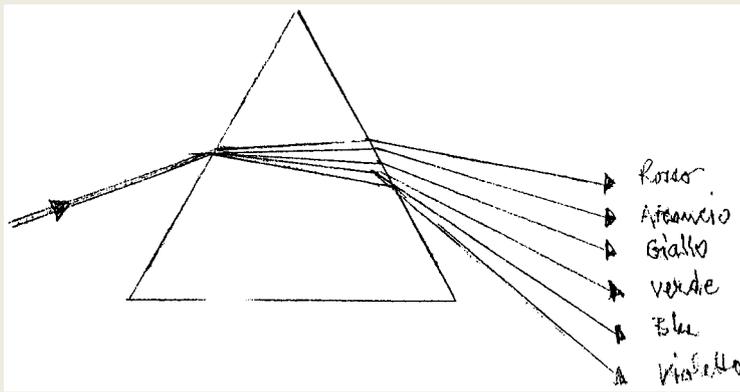


Fig. 5  
Scomposizione spettrale della luce bianca (schizzo autografo di Mario Ballocco).

## 2.6 La discriminazione fisiologica dei colori

Il Settecento si conclude con due opposte teorie sulla propagazione della radiazione luminosa: quella corpuscolare di Newton e quella ondulatoria di Huygens. Quest'ultima, per non breve tempo scavalcata dalla teoria corpuscolare, viene ravvivata dallo scienziato inglese Thomas Young (1773-1829), che non soltanto compie nuovi esperimenti sul comportamento e la struttura delle onde luminose (fig. 6), ma formula anche inedite considerazioni fisiologiche sulla discriminazione dei colori. Le indagini fisiche di Young hanno una premessa: se la radiazione luminosa viaggia come le onde dell'acqua, il suo andamento dovrebbe produrre un'interazione: due onde della stessa grandezza, non al passo, dovrebbero elidersi. Come l'elisione delle onde rende la superficie dell'acqua liscia, così quella della radiazione, se le onde posseggono uguale andamento ondulatorio, dovrebbe interrompere l'azione luminosa. Raccogliendo, come già Grimaldi, su di uno schermo bianco la luce di una sorgente puntiforme attraverso due piccole fenditure, Young osserva zone illuminate in alternativa a frange scure. Le prime, derivate dai coni divergenti per diffrazione, corrispondenti al rinforzo regolare cresta a cresta, o cavo a cavo, delle onde; le seconde derivate dall'elisione, cioè dall'opposto incontro cavo-cresta. È la conferma della teoria ondulatoria, che con le dimostrazioni matematiche del francese Augustin-Jean Fresnel (1788-1827) – con cui si chiariscono i rapporti della lunghezza d'onda connessa alla frequenza nella misurazione delle radiazioni corrispondenti ai vari colori (cfr. 3.2) –, si sostituirà alla teoria corpuscolare.

Riguardo alla discriminazione fisiologica dei colori, nel 1801 Young formula la teoria tricromatica, con la quale – respingendo l'ipotesi newtoniana che riteneva l'occhio composto da un infinito numero di particelle, ciascuna sensibile a un determinato colore – reputa la distinzione di tutti i colori spettrali dovuta soltanto a tre “particelle” oculari (cfr. 4.2). Posto per la prima volta il problema cromatico non nello stimolo fisico, ma nell'elaborazione fisiologica, alla teoria tricromatica di Young, ripresa e ampliata verso la metà dell'Ottocento da Hermann von Helmholtz (1821-1894), si oppose nel 1818 quella dei “colori antagonisti”, o “quadricromatica” (cfr. 4.2.1 e 4.2.2), elaborata da Ewald Hering (1834-1918).

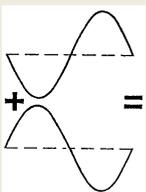


Fig. 6  
L'elisione delle onde luminose secondo Thomas Young.

## 2.7 La sintesi elettromagnetica

Sino a oltre la metà dell'Ottocento, della luce, o meglio della radiazione luminosa, si conoscono gli effetti, la composizione e la meccanica ondulatoria di propagazione. La sua vera essenza è però ancora ignota: il movimento vibratorio, ritenuto proveniente da un corpo materiale (come nel caso delle vibrazioni sonore), lo si indica infatti nell'etere, inteso come una specie di corpo sottile. La radice della radiazione luminosa si evidenzia finalmente nella sintesi tra carica elettrica ed energia magnetica, elaborata nel 1813 dal fisico scozzese James Clerk Maxwell (1831-1879). Confermando con una serie di equazioni la stessa teoria di Michael Faraday (1791-1867), Maxwell antepone al vago concetto di etere quello di "campo d'azione", inteso come zona dello spazio in cui una determinata forza è presente; forza composta da cariche elettriche, che, con il loro movimento oscillante, determinano anche un campo magnetico. Maxwell riconosce, così, che la natura della radiazione luminosa è il risultato dell'interazione tra forza elettrica e induzione magnetica, che, oscillando senza spostarsi nel vuoto a grandissima frequenza, si propaga nello spazio come onda. Ossia come onda elettromagnetica.

La teoria di Maxwell non rivela soltanto la natura delle radiazioni percepibili dall'occhio. Postasi a fondamento per nuove ricerche, dimostra l'esistenza di una vasta gamma di altre onde elettromagnetiche: da quelle prodotte da Hertz diciassette anni dopo, ossia le onde hertziane della radio, ai raggi gamma provenienti dai corpi radioattivi. Sono tutte onde elettromagnetiche, che si propagano con la stessa velocità della luce: 299.792,5 chilometri al secondo. E, pur possedendo proprietà differenti, oltre a quella di attraversare il vuoto senza supporto materiale, sono distinguibili – almeno per i fenomeni più comunemente studiati, ma in realtà senza limiti – unicamente per la differenza di frequenze, variabili dall'unità alla trentaduesima potenza di 10 (cfr. 3.2.3).

## 2.8 Il contrasto onde-corpuscoli

Anche se con le onde elettromagnetiche la natura della radiazione luminosa appare fondamentalmente spiegata, e l'andamento ondulatorio definitivamente accertato, nel 1915 la teoria della relatività di Albert Einstein (1879-1955) pone nuovi dilemmi, rivoluzionando i principi della fisica. In base alle indicazioni che dallo spazio provengono sul moto della materia, e dalle indicazioni della materia su come lo spazio deve curvarsi, Einstein stabilisce che anche la radiazione luminosa (la "luce") è soggetta alla gravità solare: (alle distanze superiori) si curva, cioè cambia la direzione primitiva. Non è tutto. Gli studi di Einstein dedicati alla teoria dei quanti di Max Planck (1858-1947) rivelano che il flusso di energia sotto qualsiasi forma (termica, luminosa ecc.), sino allora ritenuto continuo, si rivela invece discontinuo. Discontinuo non solo nel flusso luminoso, ma anche nella materia, e in particolare negli elettroni, come dimostrò nel 1924 Louis de Broglie (1892-1987) con l'elaborazione della cosiddetta "meccanica ondulatoria". Al di là di una certa frequenza, il trasporto delle onde elettromagnetiche procede infatti a salti, a "granuli", a causa di un'interferenza: il subentro di una carica di energia dal contenuto inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda, che dà luogo a particelle prive di massa, cioè a corpuscoli. Sono i granuli, i quali, nella "costante" di Planck che lega la frequenza di un'onda al suo quanto di energia, prendono appunto il nome di "quanto" (quantità elementare di energia luminosa) o di "fotone". La doppia, enigmatica caratteristica di onda e corpuscolo delle radiazioni luminose, definita "principio di complementarità" nel 1927 da Niels Bohr (1885-1962), perde la contraddizione delle due realtà antagoniste, distinguendo "nella produzione dell'energia radiante il corpuscolo, e, nella sua propagazione e utilizzazione, l'onda".

## **Conclusione delle indagini storiche**

Con la scoperta della sintesi elettromagnetica, attinente all'immenso mondo delle vibrazioni che ci circondano, si conclude la concisa cronologia dei circa due millenni e mezzo occorsi per risolvere il quesito posto dagli antichi Greci sul mistero della percezione visiva. Ossia per conoscere la natura dell'energia luminosa, che, stimolando l'organo visivo, i centri nervosi trasformano in impressione di colori e di forme.

## Capitolo 3 - Le premesse fisiche della visione

### 3.1 Le vibrazioni o onde universali

Tutte le cose sono eternamente in moto  
e cambiano: persino nella cosa più ferma  
esiste movimento e fluido invisibile.  
(Eraclito)

Se la visione dopo il processo fisiologico si conclude con esiti mentali, le cause che concorrono a generarla risiedono nell'“eterno moto delle cose” intuito dal Saggio di Efeso. Fuori di noi, nella realtà fisica, tutto vibra, dall'infinitamente lontano all'intimamente vicino. E poiché il moto è energia e l'energia vibrazione, la vibrazione, da quando si è rivelata “la lingua con cui la materia ci parla”, è diventata la chiave di lettura che finora ha permesso le conoscenze del mondo esterno nella classificazione delle quattro forze che agiscono nell'universo. Chiamate gravitazionale, debole, elettrica e forte, queste forze cambiano d'intensità secondo l'ambiente che incontrano.

Definita dai fisici “un'oscillazione rapida di un mezzo materiale attorno a una posizione di equilibrio”, la vibrazione, conformemente alla sua specifica peculiarità, è presente anche tra le nostre più importanti percezioni. Noi vediamo, udiamo, parliamo soltanto per gli stimoli che la vibrazione, “propagantesi a intervalli di tempo regolari, senza spostamento della materia”, produce sui nostri organi di senso. Mancando la vibrazione, saremmo immersi nel buio e nel silenzio.

L'immenso mondo di vibrazioni che in forma di onde ci circonda è composto da movimenti di differente specie e provenienza. Oltre alle vibrazioni facilmente percepibili, perché derivate dalle onde a bassissima frequenza dell'andamento meccanico, quali quelle sonore, quelle dei solidi (terremoti) e dei liquidi (onde del mare), nel XIX secolo è apparsa l'esistenza di altre vibrazioni “nascoste”, non solo di natura meccanica, ma anche elettrica. Di natura meccanica, presenti a livelli sempre meno superficiali, si sono rivelate le vibrazioni provenienti dall'essenza della materia, cioè dagli atomi che “come uno sciame di moscerini” la compongono, condizionandone il comportamento. Di natura elettrica si sono invece mostrate le vibrazioni della struttura profonda della radiazione irradiata dai corpi: le onde elettromagnetiche, che, pur con differenti proprietà, posseggono un carattere universale con tutti i fenomeni vibratorii. E propagandosi tutte con la stessa velocità della luce (299.792,5 chilometri al secondo), si distinguono unicamente per la loro diversa lunghezza d'onda.

Con la “meccanica quantistica”, che dagli anni venti ha posto il problema della natura della luce nel doppio aspetto di onda e corpuscolo (cfr. 2.8), si evidenzia come la maggior comprensione dell'universo sia dovuta al ricorrente principio della sintesi. Con la quale sono state risolte, infatti, non poche fondamentali discordanze: tra corpuscoli e onde (materia e non materia), tra energia elettrica ed energia magnetica, tra immobilità e movimento fusi nella nozione di moti oscillatori (il mare, simbolo di movimento, in realtà non si sposta: le onde sono soltanto animate da agitazione ciclica).

### 3.2 La colorimetria

Le impressioni di luce e di colore, in quanto fenomeni psicofisiologici, si sottraggono a ogni analisi metrica. L'unica possibilità di misura oggettiva si riferisce alla loro causa: le radiazioni emesse da una fonte luminosa e la capacità di rifletterla da parte degli oggetti, che in sede fisica la colorimetria misura in base alle lunghezze d'onda.

### 3.2.1 L'unità di misura

L'unità di misura delle lunghezze d'onda delle radiazioni elettromagnetiche, elencate nel cosiddetto spettro elettromagnetico che in ordine decrescente le raggruppa tutte, viene espressa con i seguenti tre sottomultipli infinitesimali del metro, di cui i primi due sono obsoleti, mentre l'ultimo (il nanometro) è quello maggiormente in uso:

- ångstrom ( $\text{\AA}$ ), equivalente a un decimilionesimo di millimetro ( $10^{-10}$  m);
- millimicron ( $\text{m}\mu$ : emme latina e mi greca), equivalente a un milionesimo di millimetro ( $10^{-9}$  m);
- nanometro (nm), anch'esso equivalente a un milionesimo di millimetro ( $10^{-9}$  m).

### 3.2.2 La lunghezza d'onda

Indice di misura di tutte le radiazioni elettromagnetiche, propagantesi nel vuoto alla velocità di 299.792,5 chilometri al secondo, è la *lunghezza d'onda*, calcolata in base alla distanza tra le creste di due onde (fig. 7). La lunghezza d'onda (" $\lambda$ ", lettera greca lambda in corsivo) è legata:

- alla *frequenza* della radiazione, ossia al numero di onde susseguentisi in un minuto secondo (per cui le onde sono tanto più corte quanto più numerose, e viceversa);
- all'*ampiezza* dell'onda, cioè all'intensità dell'energia radiante;
- alla *composizione spettrale* della radiazione, ossia la sua maggiore o minore purezza.

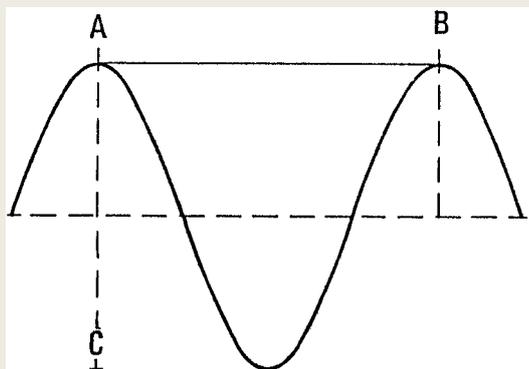


Fig. 7

La lunghezza d'onda della radiazione elettromagnetica, calcolata in base alla distanza tra le creste di due onde.

### 3.2.3 Lo spettro elettromagnetico

Tutte le onde dello spettro elettromagnetico, raggruppate in categorie corrispondenti al modo in cui vengono prodotte o ricevute (fig. 8), si distinguono secondo le diverse lunghezze d'onda, che all'incirca vanno dai 20 chilometri delle radioonde ai 0,0001 nanometri, o meno, dei raggi gamma. Di tutte queste radiazioni, l'occhio umano è sensibile a una porzione molto piccola, cioè alle lunghezze d'onda che vanno dai 380 ai 760 nanometri circa, raggruppate nel cosiddetto spettro visibile.

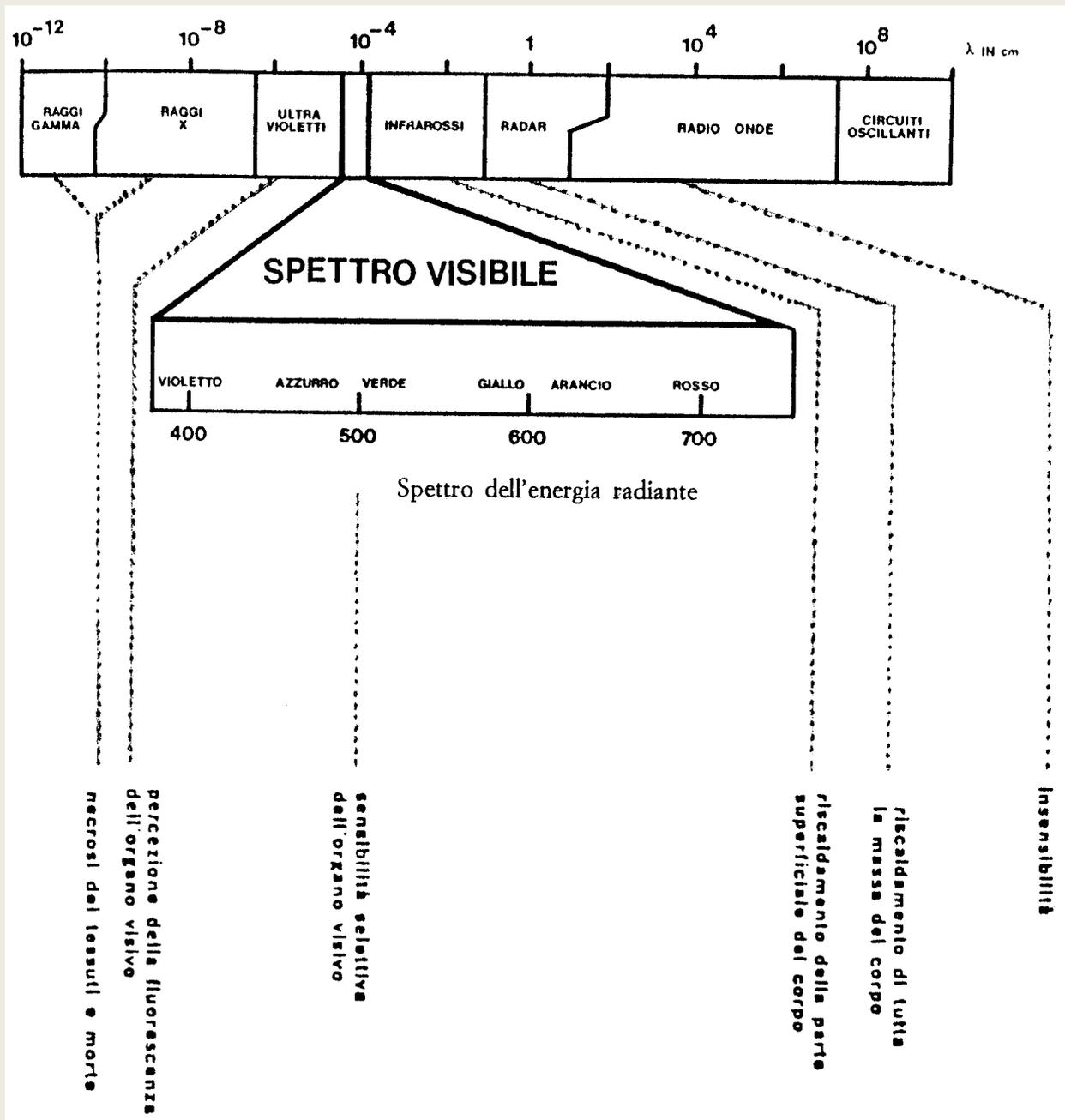


Fig. 8  
La classificazione delle onde dello spettro dell'energia radiante secondo le diverse lunghezze d'onda

### 3.2.4 Lo spettro visibile

La reazione dell'occhio umano alle lunghezze d'onda comprese tra i 380 e i 760 nanometri circa costituisce la premessa per la visione. Tali lunghezze d'onda rappresentano meri stimoli fisici, che soltanto mediante i processi fisiologici e mentali vengono trasformati in impressione di luce e quindi di colori.

All'analisi metrica dello spettro visibile, lo spettroscopio (apparecchio formato da prismi o reticoli con i quali la radiazione incidente viene suddivisa nelle diverse lunghezze d'onda corrispondenti ai colori che la compongono) evidenzia che due radiazioni differenti per una percentuale anche minima della lunghezza d'onda sono fisicamente diverse. Conseguentemente, la composizione delle onde elettromagnetiche dello spettro visibile è nell'ordine di grandezza di qualche migliaio di parti, a ognuna delle quali corrisponderebbero altrettanti stimoli cromatici.

Stimoli precisabili con infinitesimali sfumature tra un colore e l'altro, se l'apparato visivo umano fosse in grado di distinguerle tutte, e non soltanto qualche centinaio.

La suddivisione spettrale, rapportata alle normali possibilità di discriminazione visiva, viene quindi riassunta nelle seguenti lunghezze d'onda, alle quali corrisponderebbero le principali impressioni cromatiche: dai 760 ai 610 nanometri circa (limite prima del quale sono gli invisibili infrarossi) l'impressione (di diversi tipi) di rosso; dai 610 ai 590 di arancione; dai 590 ai 570 di giallo; dai 570 ai 500 di verde; dai 500 ai 450 di blu; dai 450 ai 380 di violetto (limite oltre il quale sono gli invisibili ultravioletti). Nella norma, queste impressioni cromatiche sono relative, poiché la purezza di una sola lunghezza d'onda non è abitualmente riscontrabile, in quanto "ogni colore esistente in natura deriva dalla miscela di una quantità definita di altri colori spettrali". La misura che quindi permette di descrivere in modo completo lo stimolo fisico di un colore è in un diagramma che mostri, in funzione della lunghezza d'onda, l'intensità della componente spettrale corrispondente al colore stesso. Lo strumento che fornisce questo diagramma, relativo a ciascuna lunghezza d'onda presente in una radiazione luminosa, è lo spettrofotometro.

### **3.3 La propagazione della radiazione luminosa**

La luce non è corpo né sostanza: è il risultato di un insieme di interazioni. Non solo per ciò che riguarda la trasformazione dello stimolo dell'onda elettromagnetica in fenomeno luminoso mediante il processo visivo, ma anche come evento fisico in sé. Per poter provocare il processo visivo, ciò che dà luogo allo stimolo deve prima interagire con la materia, senza di che l'onda elettromagnetica è inerte. Se non vi fosse aria, e nell'aria non galleggiasse il pulviscolo, il cielo apparirebbe nero. Come nell'alta stratosfera.

L'interazione tra onda elettromagnetica e materia è variamente articolata. Da un lato la materia, oltre a rendere possibile la diffusione a distanza della radiazione luminosa, ne provoca il frazionamento, ponendo in risalto ciò che denominiamo colori. Dall'altro, la radiazione rende visibile la materia permettendo la distinzione cromatica dei corpi secondo le caratteristiche intrinseche di ogni superficie, producendo nel contempo trasformazioni fisiche, chimiche, termiche.

A differenza del suono, che si diffonde con direzione longitudinale mediante vibrazioni ondulatorie di strati d'aria (sottraendo aria alla fonte di un suono, le vibrazioni sonore cessano, perché il suono non può propagarsi nel vuoto), la radiazione luminosa si trasmette in tutte le direzioni come flusso continuo di energia elettromagnetica. Mentre la velocità del suono in aria (puramente acustico, meccanico, non elettrico) è di circa 300 metri al secondo, e si attenua con la distanza sino a scomparire, la velocità della radiazione luminosa nel vuoto, oltre a essere enormemente più ampia, è costante. I circa 150 milioni di chilometri che separano il Sole dalla Terra sono percorsi – secondo la teoria della relatività – alla velocità di 299.792,5 chilometri al secondo. Dato che il tempo necessario per coprire questa distanza è di otto minuti, la radiazione luminosa che percepiamo è in realtà un simulacro: rappresenta cioè un evento che ci giunge dal passato (come la luce delle stelle), per cui, se in qualche modo venissero meno le circostanze che danno origine all'emissione delle radiazioni solari, ce ne accorgeremmo, con il buio, otto minuti dopo. Infine, se il suono si distingue con le vibrazioni meccaniche dell'aria, varianti dal disordine del rumore all'ordine musicale, l'onda luminosa, con il suo enigmatico trasporto di quanti o fotoni, si caratterizza secondo le diverse modalità della sua propagazione. Propagazione che avviene in differenti modi: per riflessione, rifrazione, diffrazione o diffusione (cfr. 3.3.2, 3.3.3 e 3.3.6).

#### **3.3.1 La diffusione atmosferica**

Il primo impatto del raggio luminoso durante il suo tragitto dalla fonte solare alla superficie terrestre è con le molecole dei gas e le particelle microscopiche sospese nell'aria: polvere, fumo, goccioline d'acqua e cristalli delle nebbie e delle nubi. Da questo incontro-scontro, secondo le

particolarità delle differenti particelle (loro natura, dimensioni, raggruppamenti e movimenti variabilissimi, dai quali derivano i continui mutamenti dell'aspetto atmosferico), avviene la selezione, ossia il frazionamento del raggio luminoso, che le discontinue caratteristiche delle particelle incontrate sottopongono a effetti di riflessione, rifrazione e diffrazione, combinati tra loro secondo leggi complesse. Dall'ambiente atmosferico, in definitiva, una parte del raggio luminoso subisce la dispersione, e una parte la diffusione.

Il classico azzurro del cielo proviene, così, dalla selezione delle particelle più piccole (molecole di ossigeno e di azoto), che si lasciano attraversare dalla prevalenza delle onde più ampie (quindi di più bassa frequenza), come il rosso, per diffondere in prevalenza quelle più brevi (di più alta frequenza), come il blu e il violetto. Soltanto a qualche migliaio di metri dalla superficie terrestre, dove l'atmosfera, seppure non assolutamente trasparente, è però priva di concentrazioni di polvere o di umidità, l'azzurro raggiunge la massima intensità, anche per il rapporto con lo sfondo nero dello spazio esterno.

Un fenomeno più complesso avviene con l'incontro di particelle atmosferiche liquide o solide maggiormente consistenti: polvere o goccioline d'acqua addensate per il massimo spessore dell'aria all'orizzonte. Qui, al mattino e alla sera, quando la radiazione solare vi giunge quasi orizzontalmente, le particelle disperdono la prevalenza delle onde brevi, lasciandosi attraversare dal predominio delle onde lunghe, corrispondenti al più o meno tenue rosso-arancione dell'alba e del tramonto.

### 3.3.2 La riflessione dei corpi

Oltre che dall'atmosfera, il fenomeno della riflessione proviene dal rimbalzo di un raggio luminoso dopo aver colpito la superficie speculare di un corpo (solido, liquido o gassoso). In senso lato, la riflessione implica due fenomeni: geometrico e fisico. Geometricamente, riguarda il proseguimento in linea retta del raggio luminoso, che ha come costante la legge di Erone-Snellius, secondo cui l'angolo di incidenza è eguale all'angolo di riflessione (fig. 9). Fisicamente, attiene all'azione esercitata sull'onda luminosa dal primo strato superficiale del corpo riflettente, che può alterare selettivamente la radiazione (cfr. 3.4.2). Una superficie che alla luce naturale appare rossa, se illuminata con luce schermata verde si rivela nera, essendo la radiazione verde priva del rosso che potrebbe essere riflesso; e viceversa per una superficie verde illuminata con schermo rosso.

Ogni sostanza che di giorno assume un colore, di sera un altro e di notte un altro ancora, mostra che, se da un lato la caratteristica cromatica delle sostanze altro non è che lo specchio delle proprie particolarità molecolari, dall'altro, tali particolarità sono in rapporto alle differenti fasi della radiazione luminosa. È il caso – pur se sostanzialmente relativo alla sensibilità percettiva – del cosiddetto fenomeno di Purkinje, descritto dallo stesso fisiologo di Breslavia nel 1825: “Il grado dell'illuminazione ha obiettivamente grande influenza sull'intensità della qualità cromatica. Per convincersene, si mettano dinnanzi a sé i colori prima del levar del Sole, quando appena comincia il crepuscolo. Dapprima si vede tutto nero e grigio, e proprio i colori più vivi, *rosso e verde, sono quelli che appaiono più scuri*. Il giallo, per lungo tempo, non si distingue dal rosso-rosa; *l'azzurro è il primo che io possa distinguere*. Le gradazioni di rosso, che di giorno appaiono le più chiare, appaiono più a lungo oscure”.

I mezzi liquidi, essendo come l'aria solo eccezionalmente di assoluta trasparenza, nella norma sono torbidi. Le particelle delle varie sostanze presenti, oltre che per la loro proprietà, influiscono sul raggio luminoso anche per il loro numero. Se sono scarse, il mezzo è abbastanza trasparente; se sono abbondanti, ostacolano l'attraversamento del raggio luminoso e, riflettendone la massima parte, danno come risultato un'impressione di massima luminosità. Il latte appare bianco perché composto principalmente da corpuscoli di grasso addensati, i quali, oltre a impedire l'attraversamento rettilineo del raggio luminoso, lo diffondono. Così, l'acqua del mare su un fondale sabbioso assume striature verdastre dove le particelle di fango in sospensione filtrano la

radiazione, diffondendo le onde luminose di media lunghezza corrispondenti al giallo in aggiunta a quelle più corte (blu) diffuse dalle molecole d'acqua.

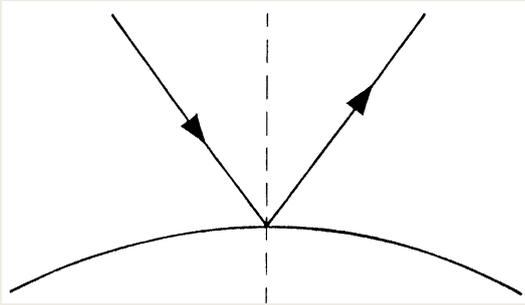


Fig. 9  
Il fenomeno della riflessione del raggio luminoso.

### 3.3.3 La rifrazione

La rifrazione è il risultato della deviazione subita da un raggio luminoso quando passa da un mezzo trasparente a un altro, oppure in uno stesso mezzo attraverso strati di differente densità. La densità, ripercuotendosi sia sulla velocità di propagazione, sia sul cambiamento di direzione della radiazione, come dal postulato di Huygens, fa sì che l'angolo di incidenza sia maggiore o minore dell'angolo di rifrazione secondo la maggiore o minore densità del mezzo di provenienza (fig. 10). Poiché la deviazione è maggiore se minore è la velocità ammessa dai mezzi, e viceversa, all'aumento di rifrangibilità corrisponde la diminuzione della lunghezza d'onda.

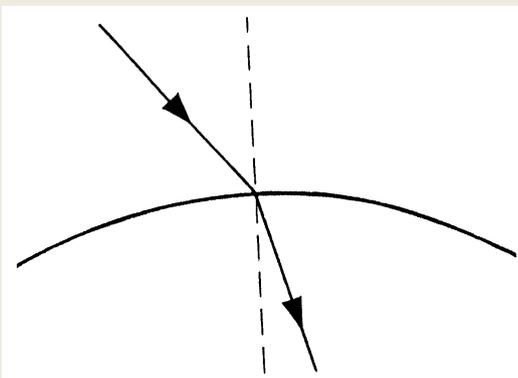


Fig. 10  
Il fenomeno della rifrazione del raggio luminoso.

### 3.3.4 L'arcobaleno

La differente velocità di propagazione delle diverse lunghezze d'onda si presenta nel tipico esempio di rifrazione dell'arcobaleno. Il quale appare quando la radiazione luminosa incontra, tutte disposte nelle stesse condizioni riguardo al Sole e all'osservatore, miriadi di goccioline d'acqua sospese nell'aria, e precisamente sulla circonferenza di un circolo (di cui solo la metà è visibile da terra, mentre completo può vedersi da vette o dall'aeroplano). Le goccioline d'acqua, comportandosi come prismi, scompongono il raggio luminoso e ne diffondono il frazionamento, creando il famoso arco atmosferico formato da cerchi concentrici. Ai quali corrispondono altrettanti colori secondo la distanza tra il raggio della radiazione luminosa e l'asse della goccia, ossia in base agli angoli di

incidenza. In ordine di rifrangenza decrescente, gli angoli di incidenza corrispondono ai 42 gradi circa per il rosso che appare all'esterno dell'arco, e ai 40 gradi per il violetto all'interno. La rifrangibilità intermedia, corrispondente all'arancione, al giallo, al verde e al blu è compresa tra quella massima (rosso) e la minima (violetto).

### 3.3.5 Le lenti rifrangenti

Un'applicazione del fenomeno della rifrazione è la realizzazione di lenti, ossia di corpi di vetro o altre sostanze trasparenti limitati da una superficie piana e da una curva, o da due superfici curve generalmente sferiche. Le lenti possono essere convergenti o divergenti (fig. 11).

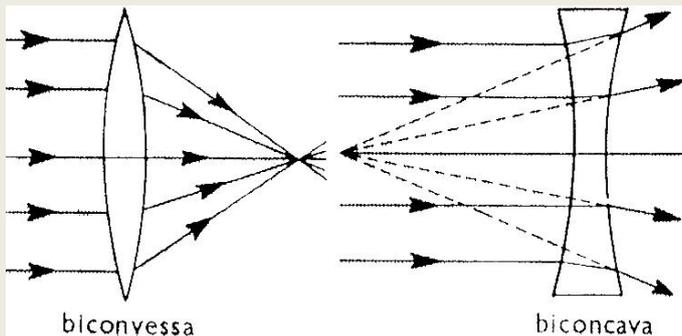


Fig. 11  
La lente convergente (biconvessa) e divergente (biconcava).

### 3.3.6 La diffrazione

La diffrazione è il fenomeno scoperto e così denominato da Grimaldi, che in seguito Young riprodusse per dimostrare la natura ondulatoria della radiazione luminosa. La diffrazione si manifesta, infatti, per le stesse ragioni per le quali si osserva, alla superficie dell'acqua, che le piccole onde brevi, quando incontrano un ostacolo, non riescono ad accerchiarlo, mentre le onde lunghe lo superano aggirandolo. Con le onde della radiazione luminosa questo non frequente fenomeno si rivela quando, incidendo sul contorno degli oggetti o attraversando una fenditura di dimensioni poco superiori alla lunghezza d'onda, la propagazione di un piccolo fascio luminoso non è più rettilinea. Aprendosi a ventaglio con un'ampiezza angolare tanto maggiore quanto maggiore è la lunghezza d'onda rispetto alla larghezza della fenditura, il fascio luminoso, con una separazione delle lunghezze d'onda, si distribuisce agli orli degli ostacoli in frange parallele: le cosiddette frange di diffrazione (fig. 12).

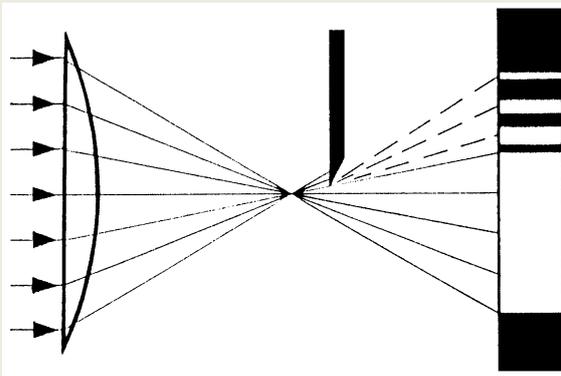


Fig. 12  
Il fenomeno della diffrazione del raggio luminoso.

### 3.3.7 L'interferenza tra onde luminose

Il fenomeno di interferenza si manifesta quando due onde luminose percorrono lo stesso cammino, ma, pur avendo la stessa frequenza, sono sfasate, in modo tale che le creste dell'onda di un raggio luminoso si sovrappongono ai cavi dell'altro. In questo caso si verifica l'interferenza distruttiva, che "spegne" il raggio luminoso. Per esempio, se si illumina di luce bianca una bolla di sapone di opportuno spessore, la radiazione viene riflessa dalla prima e dalla seconda superficie (l'esterna e l'interna della bolla); ambedue i raggi riflessi tornano indietro per la stessa via e, se lo spessore della bolla possiede un determinato valore, si ha interferenza distruttiva per la radiazione corrispondente al verde. Ossia la bolla, anziché riflettere luce bianca, riflette bianco meno verde, cioè rosso.

### 3.3.8 La polarizzazione

La polarizzazione (fig. 13) è il fenomeno per cui, da un fascio luminoso comune, emergono solo i raggi nei quali la vibrazione delle onde avviene in un piano dotato di un determinato orientamento. Tra i diversi processi con i quali può realizzarsi la polarizzazione, vi è quello che fa uso delle sostanze birifrangenti, così definite perché esibiscono anche due indici di rifrazione diversi. Alcune di queste sostanze, come il cristallo di calcite (Spato d'Islanda), quando vengono attraversate da un fascio luminoso lo suddividono in due parti, ciascuna delle quali polarizzata in modo complementare all'altra.

Nella norma, un riverbero fortemente polarizzato in senso orizzontale proviene dal riflesso di superfici come l'acqua, la neve, il vetro, gli smalti lucidi e in genere le superfici riflettenti non metalliche. Poiché questa concentrazione di luminosità dovuta all'unidirezionalità del flusso luminoso è abbagliante, gli effetti del riverbero possono eliminarsi con l'uso di appositi filtri polarizzati. Filtri composti da strisce di microscopici cristalli birifrangenti, che, avendo gli assi orientati parallelamente, ostacolano la fastidiosa riflessione orizzontale, permettendo il passaggio soltanto di quella verticale.

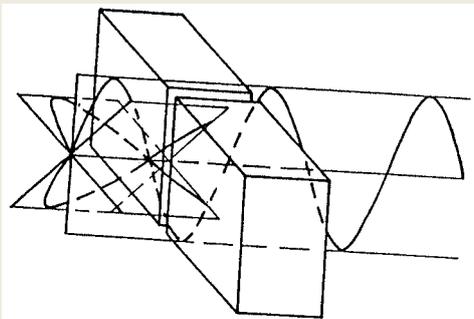


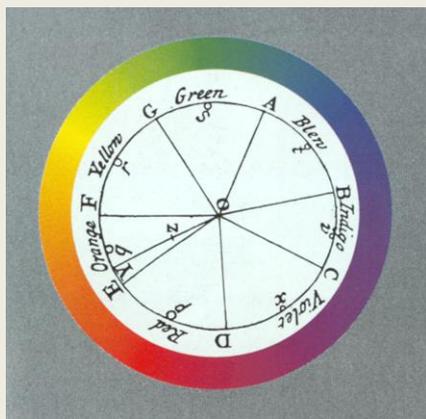
Fig. 13  
Il fenomeno della polarizzazione del raggio luminoso.

## 3.4 Le stimolazioni fisiche dirette e indirette

Le stimolazioni provenienti dalle radiazioni luminose, essendo in rapporto alle loro modalità di propagazione, possono giungere alla vista per via diretta o indiretta. Queste due differenti provenienze, rispettivamente classificate di sintesi additiva e sintesi sottrattiva (sintesi intesa come miscuglio), vengono nettamente distinte per gli opposti risultati cui danno luogo.

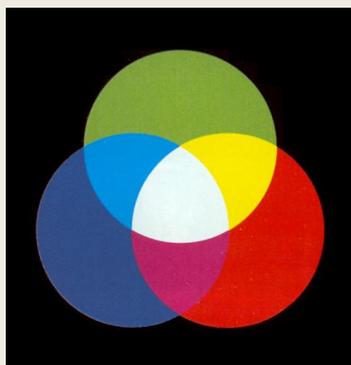
### 3.4.1 I colori di sintesi additiva

Sono di sintesi additiva le impressioni di colore provenienti *direttamente* da più fonti luminose. È detta sintesi additiva perché a essa concorre l'addizione delle radiazioni, e quindi la mescolanza dei colori. Un esempio di processo additivo, in pittura usato anche dai nostri "divisionisti", proviene dal cosiddetto disco di Newton (tav. 1), dalla cui rapida rotazione tutti i colori spettrali che lo compongono, mischiandosi, ricostituiscono il bianco (tav. 2). Un'esemplificazione organica è invece nella proiezione su di uno schermo neutro di tre luci di campione bianco schermate da filtri di colore *rosso*, *verde* e *blu-violetto*, detti colori primari perché dagli stessi può derivare la più ampia gamma cromatica spettrale. Premessa la possibilità di variare secondo l'intensità della radiazione i parametri fisici delle tre luci primarie senza alterarne il risultato, per cui tali parametri sono relativi, una di queste terne può avere le seguenti caratteristiche: rosso della lunghezza d'onda di circa 650 nanometri; verde di 530 e blu-violetto di 460 nanometri. Dirigendo al medesimo centro di uno schermo questi tre fasci luminosi, alla loro sovrapposizione corrisponderà il *bianco*. Con sovrapposizioni parziali, il magenta o porpora (assente dalle componenti spettrali) quale addizione delle luci rosso e violetto corrispondenti alle due estremità dello spettro. Apparirà inoltre il giallo, come addizione delle luci rosso e verde, e infine il cian (azzurro verdastro) come addizione delle luci verde e violetto. Il bianco non proviene soltanto dalla miscela dei tre colori primari, ma anche dall'addizione dei colori-luce complementari (che nel bianco si annullano), quali le coppie rosso-cyan, verde-magenta, giallo-violetto. I colori che, pur essendo composti, assumono l'aspetto monocromatico, vengono detti da Ostwald metamericici: per esempio, il giallo ottenuto con l'addizione di luci rosso e verde.



Tav. 1

Il disco di Isaac Newton (da *Opticks*, ediz. 1730), con la ricostruzione della corrispondente scala cromatica.



Tav. 2

Luci fondamentali di sintesi additiva (rosso, verde e blu-violetto) e loro complementari.

### 3.4.2 I colori di sintesi sottrattiva

Sono di sintesi sottrattiva le impressioni di colore provenienti *indirettamente*, ossia dal coefficiente di trasmissione delle radiazioni luminose incidenti le superfici dei corpi, le cui proprietà molecolari, agendo da filtro sulla radiazione, rimandano una o più lunghezze d'onda sottraendo alla vista le altre. È il caso, per esempio, del fogliame di un albero, al naturale o riprodotto a colori, che, illuminato da una fonte campione di luce bianca, assorbe tutte le radiazioni spettrali (rosso, arancione, giallo, blu, violetto) a eccezione, di massima, delle lunghezze d'onda dai 570 ai 500 nanometri, le quali, corrispondenti al verde, vengono diffuse. Oppure di un metallo, oro o rame, i cui colori riflessi sono il risultato della sottrazione delle lunghezze d'onda corrispondenti al verde e al blu. Oppure, ancora, del carbone, che deve il suo colore nerastro alla sottrazione di *quasi* tutte le lunghezze d'onda spettrali.

I colori base del processo sottrattivo (da cui la denominazione di sintesi) sono il *magenta*, il *giallo* e il *cyan* (anch'essi non ottenibili per mescolanza, e preferibilmente denominati base e non primari per distinguerli dai colori-luce), dai quali può derivare la più ampia gamma cromatica. La sostanziale differenza tra le due sintesi è che, al contrario di quanto avviene con il processo additivo, dall'insieme dei tre colori base sottrattivi si ha come risultato il *nero* (tav. 3). Da miscele parziali provengono invece i colori composti: il rosso dal giallo e magenta; il verde dal giallo e cyan; il violetto dal magenta e cyan; il marrone dal giallo (prevalente), cyan e magenta. Colori complementari, derivanti dai pigmenti, sono le coppie magenta-verde; giallo-violetto e cyan-rosso, perché, dalla miscela di ogni coppia, il reciproco annullamento si evidenzia con il nero (o il neutro grigio scuro).

Mentre per i colori-luce esistono filtri dai quali possono provenire luci primarie se non identiche abbastanza simili alle corrispondenti lunghezze d'onda spettrali, per i pigmenti questa corrispondenza è generalmente diversa. La normativa fisica per i tre colori base (sintesi sottrattiva) è in particolare osservata negli inchiostri per stampa usati per le riproduzioni tricromatiche, con le denominazioni, oltre a "giallo" (né caldo, né freddo), di "cyan" e "magenta", tendenti a internazionalizzarsi in luogo dei vaghi "blu" e "rosso". Di conseguenza, il risultato delle miscele di sintesi sottrattiva è in rapporto:

- a) alla purezza dei pigmenti, cioè alla massima saturazione delle tonalità, per cui, per esempio, se il magenta non fosse un rosso del tutto privo di giallo, dalla sua mescolanza con il cyan risulterebbe un violetto sporco tendente al grigio, essendo il giallo complementare del violetto;
- b) alle proporzioni della miscela differenti secondo la qualità dei pigmenti;
- c) alle caratteristiche del supporto, di cui, mentre la bianchezza influisce nella selezione di assorbimento della riflessione luminosa, la levigatezza o la granulosità influiscono nella diffusione della riflessione. Da una superficie liscia e speculare la riflessione proviene in linea retta; da una superficie granulosa (granulosa è anche una superficie liscia, ma opaca) la radiazione viene deviata, sparsa, con il risultato di una minor saturazione tonale.



Tav. 3  
Colori pigmento base di sintesi sottrattiva: magenta, giallo, cyan.

### **3.5 L'attività biologica della radiazione luminosa**

Dalla luce, come normalmente viene definita la radiazione luminosa del Sole, non proviene soltanto lo stimolo oculare che avvia il processo della visione. La banda delle lunghezze d'onda del visibile, che, pur essendo la più ristretta dell'ampio spettro elettromagnetico, è la più diffusa, contempla anche la primitiva sorgente di energia indispensabile a tutti gli organismi viventi sulla Terra. In gran parte dispersa nell'evaporazione dell'acqua, assorbita dalla superficie terrestre e restituita sotto forma di calore, la minima quantità residua di energia solare – spesso in modo selettivo, cioè secondo le frequenze della radiazione – entra nella catena alimentare dei viventi con una continua serie di trasformazioni. Trasformazioni chimiche indispensabili allo sviluppo e al mantenimento efficiente della complessa organizzazione della struttura cellulare che distingue la materia vivente da quella inanimata, anche se i costituenti fisici e chimici di entrambe, essendo gli stessi, obbediscono alle medesime leggi fisiche e chimiche.

L'attività filogenetica e ontogenetica della radiazione luminosa, detta fotobiologia (“foto-”, dal greco, sta per “luce”), può riassumersi in tre processi tra di loro interagenti: di fotosintesi, di fototropismo e di fotoperiodismo.

#### **3.5.1 La fotosintesi**

La fotosintesi concerne la conversione dell'energia solare in energia chimica mediante la cattura della radiazione luminosa da parte delle cellule delle piante verdi, delle alghe e del fitoplancton composto dai microscopici organismi fotosensibili fluttuanti negli oceani. Tale processo di conversione, che accompagnò ai primordi la nascita della vita con la produzione dell'ossigeno molecolare in lotta con l'anidride carbonica da sempre in dotazione al nostro pianeta, rappresenta il passaggio nella biosfera dell'energia chimica indispensabile alla presenza e allo sviluppo evolutivo degli esseri viventi. Rappresenta, cioè, una sorgente di composti organici, come i carboidrati, i grassi e le proteine, che le piante, per mezzo della clorofilla (il pigmento sensibile alla radiazione luminosa corrispondente al verde), sintetizzano e immagazzinano come scorta alimentare.

Tali composti organici – che con l'acqua, l'ossigeno e altre sostanze inorganiche sono necessari sia ai vegetali, sia agli animali – danno luogo a una variamente utilizzata catena alimentare. La quale, con il passaggio di energia da un organismo all'altro secondo le specie di ogni ecosistema, è costituita da vari livelli di consumatori: dagli erbivori, che si nutrono di piante e di frutti, e dai carnivori, che, cibandosi di animali, si nutrono anche delle sostanze organiche incorporate nelle carni.

#### **3.5.2 Il fototropismo**

Il fototropismo riguarda il movimento di un organismo vivente, provocato da uno stimolo luminoso. Movimento che, mentre nel mondo vegetale è connaturato in ogni essere per poter regolare con lo spostamento la propria attività in funzione dell'ambiente circostante, nel mondo animale è acquisito, poiché una pianta, già con la sua prima radice, è immobilizzata. La sua capacità di adattamento, cioè di ricerca della luminosità da cui trae la possibilità di accrescimento, si è quindi sviluppata con la curvatura, detta tropismo. Questo fenomeno, che esperimenti hanno mostrato essere maggiormente indotto dalle frequenze della radiazione luminosa intorno ai 450 nanometri (blu), è dovuto alla migrazione dell'auxina, la sostanza chimica regolatrice dello sviluppo delle piante. Irregolarmente distribuita nel fusto del vegetale, l'auxina subisce l'effetto fototropico passando dalle zone illuminate dell'apice a quelle in ombra, le quali, arricchite di alimento, costringono le piante a curvarsi. Per gli alberi, invece, la ricerca della luminosità avviene mediante il fogliame, con la struttura in genere laminare di ogni foglia, che richiama la funzione della retina dell'occhio con i suoi fotorecettori.

### 3.5.3 Il fotoperiodismo

Il fotoperiodismo è la risposta di un organismo vivente al variare, nel corso dei mutamenti stagionali, dei periodi di luce e di buio dei cicli giornalieri intorno alle ventiquattro ore. Nel mondo vegetale questa risposta, differente tra le varie specie e persino all'interno di una stessa specie, proviene dalla misura endogena del tempo. Proviene, cioè, da un segnatempo interno in base al quale le piante dette brevidiurne, come la soia, le fragole e il tabacco, fioriscono nel periodo in cui le giornate sono più brevi, mentre altre, dette longidiurne, come le patate, il trifoglio e gli spinaci, fioriscono quando le giornate sono più lunghe. E ciò indipendentemente da condizioni ambientali quali la temperatura, l'umidità, la nutrizione ecc.

Oltre alla ciclica alternanza di chiaro-scuro, nei processi di fotoperiodismo è stato osservato anche l'intervento del sistema dei pigmenti, ai quali si deve la selezione delle diverse frequenze della radiazione luminosa. Tale sistema, attivo con varie risposte in altre fotoreazioni (nel fototropismo con la selezione della luce blu), media anche il fotoperiodismo con il fitocromo. Ossia con il pigmento che rappresenta la base chimica regolatrice del tipo di radiazione solare secondo le necessità della pianta: per esempio, assorbendo la frequenza di circa 660 nanometri (rosso), permette la germinazione di determinati semi erbacei.

I cicli di attività giornaliera luce-buio – detti ritmi circadiani (dal latino *circa* e *dies*), perché, pur essendo costanti, non sono necessariamente sincroni con il tempo astronomico – influiscono anche sul mondo animale, dove molte specie di insetti, pesci e mammiferi lo manifestano in vari modi: con la migrazione, l'accoppiamento, il letargo, la muta ecc. Anche per gli esseri umani, questi ritmi, equivalenti di una misura interna spesso indicata come orologio biologico, scandiscono i cicli ai quali seguono il comportamento alimentare, il sonno, gli stress, la pressione arteriosa, la temperatura corporea e molti altri parametri fisiologici.

### 3.5.4 La fotobiologia e i problemi visivi

Apparentemente estranei alle soluzioni operative della problematica visiva, gli accenni fatti sull'attività biologica della radiazione luminosa vogliono essere indicativi di un fenomeno che, in non pochi casi, a tale problematica può invece rivelarsi attinente. Una semplice dimostrazione proviene dalle monumentali ristrutturazioni degli stadi sportivi di alcune delle nostre principali città, progettate in occasione dei cosiddetti Mondiali di calcio del 1990. Ristrutturazioni le quali, avendo ben presto dato luogo alla paradossale impraticabilità dei campi di gioco per l'impedito sviluppo del manto erboso, hanno mostrato l'evidente disattenzione agli elementari processi della biologia vegetale.

Nella norma, inosservata è anche l'azione biologica proveniente dall'illuminazione artificiale (cfr. 3.7). Mentre infatti la radiazione del Sole possiede un'incidenza ottimale per l'omogeneità delle frequenze che la compongono, l'azione dell'illuminazione artificiale è in rapporto a diversi squilibri. Non solo di distribuzione spettrale in genere, ma anche per l'assenza, di diverso spettro, dei raggi infrarossi e soprattutto ultravioletti, che nell'opportuna dose della radiazione solare esplicano benefici effetti biochimici. Di conseguenza, com'è stato dimostrato da numerosi ricercatori, l'uso dell'illuminazione artificiale non dovrebbe considerarsi soltanto in rapporto all'acuità visiva. Dovrebbe contemplare anche l'uso di fonti luminose il più possibile simili a quella solare, per evitare un'anomala azione biologica. Azione che attraverso la percezione oculare si riflette sui centri nervosi, ripercuotendosi su diverse funzioni fisiologiche (endocrine, ematiche, surrenali) e rendendole responsabili di disturbi che, apparentemente insignificanti al momento, possono sommarsi in danni concreti all'organismo.

### 3.6 La luminosità artificiale

Per quanto il tipico modello di riferimento della massima luminosità sia il bianco proveniente dalla radiazione solare, tale modello, in pratica, è notoriamente relativo. Non solo per i vari filtri atmosferici (cfr. 3.3.1): più evidentemente verso le ore serali, con la nuvolosità del cielo, o durante i ciclici accorciamenti delle giornate. A questa relatività, la funzione correttiva o sostitutiva (nelle ore notturne) dell'illuminazione artificiale supplisce secondo una normativa presupposta nel rapporto tra le caratteristiche della radiazione luminosa e la curva di sensibilità visiva. Norme, dunque, convenzionali, che, raccomandate dalla "Commission Internationale d'Eclairage", e internazionalmente osservate, riguardano:

- il *flusso luminoso*, riferito alla quantità di luminosità emessa da una sorgente. L'unità di misura è il *lumen* (lm);
- l'*illuminamento* (o *lux*), flusso luminoso rapportato a una superficie detta unitaria quando il flusso di lumen investe la superficie di 1 m<sup>2</sup>. Unità di misura è il *lux* (lm/m<sup>2</sup>);
- l'*intensità*, equivalente del rapporto tra il flusso emesso da una sorgente e il cono (angolo solido) nel quale avviene l'emissione. Unità di misura è la *candela*;
- la *luminanza*, riguardante l'effetto della luminosità di una sorgente visivamente percepita, e definita come rapporto tra l'intensità di una sorgente e la superficie di emissione. Unità di misura è il *nit* (candela/m<sup>2</sup>).

### 3.7 Le differenti sorgenti illuminanti

Fra tutte le fonti luminose che maggiormente si avvicinano alla radiazione solare di circa 6000 gradi Kelvin, primeggia la lampada a scarica elettrica nel gas di xeno, utilizzata per la proiezione cinematografica oppure, con accensione a impulsi, per la fotografia a colori (*flash*), con la quale si ottiene una resa paragonabile a quella della radiazione solare.

Altre fonti illuminanti, con caratteristiche sempre più distinte e sofisticate, provengono dall'incessante ricerca dei laboratori illuminotecnici, le cui realizzazioni possono suddividersi in due linee di produzione: di lampade a incandescenza (la prima delle quali apparsa più di un secolo fa), e di lampade a scarica in gas a vapori di mercurio e a vapori di sodio, in decine e decine di variazioni (di resa, di forma, di consumo energetico) secondo i differenti campi d'impiego. I parametri di valutazione di tale vasta gamma di lampade sono compendati nei tre seguenti riferimenti di *efficienza luminosa*, di *temperatura di colore* e di *resa cromatica*. Per efficienza luminosa si intende il rapporto tra la qualità del flusso luminoso – espresso in lumen (lm) – e la potenza elettrica necessaria, espressa in watt (W). La temperatura di colore si riferisce invece alla misura termica di ogni flusso luminoso, posto che ogni sorgente (il Sole, un fuoco, una candela o le lampade a incandescenza) "arde" a una determinata temperatura. La temperatura di colore viene espressa in gradi Kelvin (K) anche per le lampade (fredde) a scarica in gas, la cui rilevazione termica, avvenendo per mezzo di confronto, viene detta "comparata" o "correlata". La resa cromatica, infine, riguarda l'incidenza di una sorgente luminosa sull'apparenza di colore degli oggetti, e pertanto è in relazione alla composizione spettrale emessa dalla sorgente stessa.

Ecco ora la sintetica esemplificazione di alcuni tipi di fonti luminose:

- le comuni lampade a incandescenza di un filamento di tungsteno, che raggiungono un'efficienza luminosa dai 12 ai 15 lumen per ogni watt, una temperatura di colore di 2700 gradi Kelvin e una resa cromatica di accentuata componente rossastra;
- le lampade a filamento in gas alogeno, che raggiungono un'efficienza luminosa dai 18 ai 20 lumen per ogni watt, una temperatura di colore di 3000 gradi Kelvin e una resa cromatica di inferiore componente rossa;

- le lampade fluorescenti, a scarica elettrica in vapori di mercurio o vapori di sodio, la cui emissione possiede un'efficienza luminosa dai 10 ai 100 lumen per ogni watt, una temperatura di colore che va dai 2700 agli oltre 5000 gradi Kelvin e una resa cromatica che, oltre al "bianco", è variamente programmata con componenti spettrali parziali, perciò con rese di colori differenti per soddisfare le particolari esigenze di esaltare l'aspetto cromatico di determinati oggetti o prodotti, soprattutto alimentari.

Se quindi, da un lato, l'ampia gamma di possibilità offerte dall'illuminotecnica facilita le più differenti soluzioni d'uso, dall'altro rende indispensabili scelte particolarmente oculate. Specie per i luoghi (di lavoro, di studio, di degenza) dove la permanenza è prolungata, e dove il problema dell'illuminazione non si esaurisce con la pur impegnativa ricerca del più opportuno equilibrio (che deve tener conto anche delle ombre e dei riflessi) del flusso luminoso rapportato alle caratteristiche spaziali di ogni ambiente. Il problema riguarda anche l'aspetto biologico (cfr. 3.5.4), psicologico, ergonomico e, non ultimo, il risparmio energetico, peculiarità, questa, delle lampade fluorescenti.

Un'ulteriore fonte illuminante, peraltro del tutto particolare, è il laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Apparso agli inizi degli anni sessanta, il laser, per la prerogativa di non diffondersi in tutte le direzioni, ma solo in un fascio quasi parallelo, non possiede le tradizionali possibilità illuminanti.

Questo flusso luminoso, prodotto in diversi modi secondo l'impiego di atomi di elementi solidi, liquidi o gassosi eccitati da scarica elettrica, è anche caratterizzato da singolare purezza monocromatica (blu, verde, giallo, rosso, quando non infrarosso), e trova utilizzazioni singolari: per esempio nei sistemi di telecomunicazioni, nella meccanica di precisione, in medicina, negli effetti scenografici.

### **3.8 Il corpo nero fonte di luminosità**

Pur sembrando paradossale, la luminosità artificiale trova riferimento nel fenomeno del cosiddetto corpo nero. Fenomeno scoperto verso la metà del XIX secolo dal fisico tedesco Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887), secondo cui ogni sostanza che assorbe efficacemente le frequenze luminose, se sottoposta ad adeguato riscaldamento, altrettanto efficacemente le rimette. In questo processo sottrattivo e additivo, il corpo nero diviene punto di riferimento per l'equilibrio tra le componenti spettrali della radiazione luminosa emessa e le differenti temperature.

L'emissione luminosa di un corpo nero (la cui totale assenza di riflessione è unicamente ideale), rapportato al grado di energia termica, mostra che soltanto verso i 1000 gradi centigradi l'energia luminosa di cui il nero si è appropriato si rende visibile con l'emissione di frequenze corrispondenti al rosso. Con il progressivo aumento di temperatura, le frequenze via via diminuiscono: a 2000 gradi circa corrispondono al rosso-giallo, e a 2400 la luminosità è pari a quella di una normale lampada a filamento di tungsteno (destinato a fondersi poco dopo i 3000 gradi). Soltanto vicino ai 6000 gradi la componente spettrale del corpo incandescente, oltre alle onde lunghe (rosso-giallo), si arricchisce anche di quelle brevi (violetto-verde), rivelandosi pari all'omogeneità spettrale della radiazione del Sole.

Ciò che sorprende, perché contrario alla nozione di nero, è che proprio lo standard bianco della luminosità solare proviene, in definitiva, da un corpo nero. Proviene, cioè, dall'altissima temperatura della materia gassosa incandescente – calcolata con le sonde spaziali intorno ai 25 milioni di gradi – che compone il Sole, e che, ionizzata, si comporta come un corpo nero quasi ideale.

## Capitolo 4 - La mediazione fisiologica

### 4.1 L'occhio

La visione, essenziale al contatto con il mondo esterno, è connessa a un organo specifico: l'occhio, finalizzato a ricevere le stimolazioni provenienti dalle lunghezze d'onda dell'energia luminosa, comprese tra i circa 380 e 760 nanometri (fig. 14). Captati questi stimoli, di per sé non ancora luce, l'occhio li trasmette sotto forma di impulsi elettrochimici ai centri nervosi cerebrali, dove viene attuata la visione.

Anatomicamente, l'apparato visivo è costituito da elementi differenziati secondo una precisa rispondenza funzionale del sistema ottico e del sistema delle vie ottiche che dalla retina si portano al cervello. Di forma sferoidale, l'occhio – che dal polo posteriore a quello anteriore misura circa 25 millimetri – è situato nella cavità orbitale. È protetto dalle palpebre, la cui superficie interna è rivestita dalla congiuntiva, membrana mucosa che si distende sino alla porzione anteriore del guscio sclerale, e dalle lacrime (senza le quali la cornea si desquamerebbe).

Le membrane oculari sono tre: la *sclerotica*, l'*uvea* e la *retina*. La sclerotica è una capsula fibrosa opaca, dove si inseriscono per ogni occhio sei muscoli per i movimenti oculari. Anteriormente continua con una membrana trasparente priva di vasi, denominata *cornea*. L'*uvea*, intermedia tra la retina e la sclera, è una membrana vascolare (con funzione essenzialmente nutritiva) composta da due parti: la parte posteriore denominata *coroide*, e la parte anteriore comprendente il *corpo ciliare* (contenente anche il muscolo ciliare) e l'*iride*, membrana pigmentata che dà il colore agli occhi. La *pupilla*, piccolo foro al centro dell'iride, esercita una funzione di diaframma, regolando l'entrata dei raggi luminosi.

Lo spazio compreso tra la cornea e l'iride è riempito dall'*umor acqueo* secreto dal corpo ciliare. L'umor acqueo viene drenato all'esterno mediante strutture presenti nella regione dell'angolo *iridocorneale*. Dietro l'iride è situato il *crystallino*, organo elastico e trasparente privo di vasi, di circa 8 millimetri di diametro, a forma di lente biconvessa. Il cristallino, unitamente alla cornea, costituisce il *diottra oculare*, atto a concentrare i raggi luminosi sulla retina. Un insieme di fibre esilissime, tese tra l'equatore del cristallino e il corpo ciliare, compone l'apparato sospenditore del cristallino. Tale apparato, mediante il meccanismo dell'accomodazione, rende possibile la visione da vicino e da lontano. Il *vitreo*, massa gelatinosa trasparente, riempie lo spazio tra la parte posteriore del cristallino e la retina. Il diottra oculare (il quale esplica una funzione spiegabile secondo le leggi della fisica) concentra l'energia luminosa su una superficie denominata *caustica per rifrazione*, luogo dei punti focali.

La retina è una struttura laminare essenzialmente nervosa che, raggiungendo lo spessore di circa un terzo di millimetro, è situata a contatto del vitreo (fig. 15). Tra i differenti strati di cellule che la compongono, sono fondamentali i fotorecettori, i cui pigmenti, contenuti nei segmenti terminali, sono alla base di un processo che trasforma lo stimolo luminoso in segnali elettrochimici: un processo di fotosintesi (cfr. 3.5.1), in cui i fotorecettori rispondono a tutta la gamma spettrale in maniera differenziata con un complesso svolgimento fotochimico. Che avviene in due tempi: con il cosiddetto *sbiancamento* (perdita della colorazione propria dei pigmenti), seguito (per il continuo assorbimento della radiazione) dall'immediata rigenerazione. Presenti in ogni occhio in circa 125 milioni, e situati nella parte posteriore della retina in stretto collegamento con le altre cellule retiniche (le gangliari, le amacrine, le bipolari e le orizzontali), i fotorecettori sono variamente differenziati: per i pigmenti posseduti, per la loro funzione e per il loro aspetto, dal quale proviene la denominazione di *coni* e di *bastoncelli*.

I coni, assai meno numerosi dei bastoncelli, sono variamente sparsi in tutta la retina, e in particolare sono isolatamente addensati nella ristretta zona della *fovea*, dove l'acuità visiva è massima. Al contrario dei bastoncelli, i coni si attivano rapidamente all'alta luminosità (quando la visione è detta fotopica), e provvedono alla discriminazione dei colori per mezzo dei tre tipi di

pigmenti posseduti. Ognuno dei quali, sensibile agli stimoli delle onde lunghe, medie o corte della radiazione luminosa, viene stimolato dalle frequenze monocromatiche corrispondenti al rosso, al verde e al blu (cfr. 3.4.1). Il funzionamento dei tre tipi di coni non è isolato, ma interagente: un cono che ha il picco di sensibilità per una determinata lunghezza d'onda non vi risponde singolarmente. Intervengono, in varia misura, sia gli altri due tipi di coni, sia le altre cellule retiniche, come le gangliari, e – a un livello successivo – quelle del corpo genicolato superiore. Intervento, quest'ultimo, extraretinico, dal quale dipendono anche le variazioni di luminosità di ogni tonalità cromatica (cfr. 6.2). Variazioni, cioè, del livello di diffusione della riflessione secondo la “variabile dello spazio”, poiché “il colore di un oggetto è determinato non solo dalla luce che esso riflette, ma anche – e in misura importante, come nel caso del bianco e nero [i due estremi di chiarezza] – dalla luce che proviene dal resto della scena”<sup>7</sup>.

A differenza dei coni, i bastoncelli, presenti in larghissima maggioranza nelle zone periferiche della retina e assenti al centro, si attivano con lento adattamento chiaroscurale. Dotati di un solo pigmento (la rodopsina), questi recettori sono sensibili ai bassi livelli di energia luminosa (visione scotopica), e raggiungono la massima efficienza alle lunghezze d'onda brevi corrispondenti al blu-verde.

Dalla retina, gli impulsi, elaborati dai fotorecettori con la partecipazione delle altre cellule retiniche, attraverso le fibre nervose che compongono il *nervo ottico* giungono alla corteccia cerebrale, dove si risolve il fenomeno della visione. L'atto del vedere è quindi una manifestazione percettiva derivante da una connessione di eventi fisici e fisiologici. Sulla retina, malgrado la fuorviante metafora dell'immagine rovesciata, non esistono “immagini”, ma soltanto una certa costellazione di stimolazioni di varia intensità, qualità e distribuzione topografica, di per sé non ancora sufficienti alla visione, anche se della visione sono la condizione preliminare.

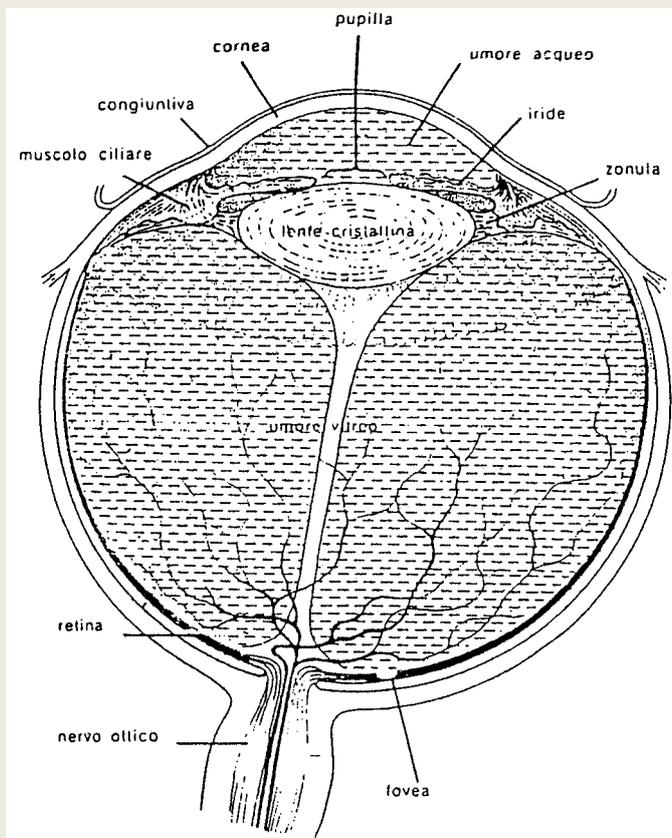


Fig. 14  
L'occhio umano, il più importante strumento ottico.

<sup>7</sup> D.H. HUBEL, *Occhio, cervello e visione*, Zanichelli, Bologna 1989.

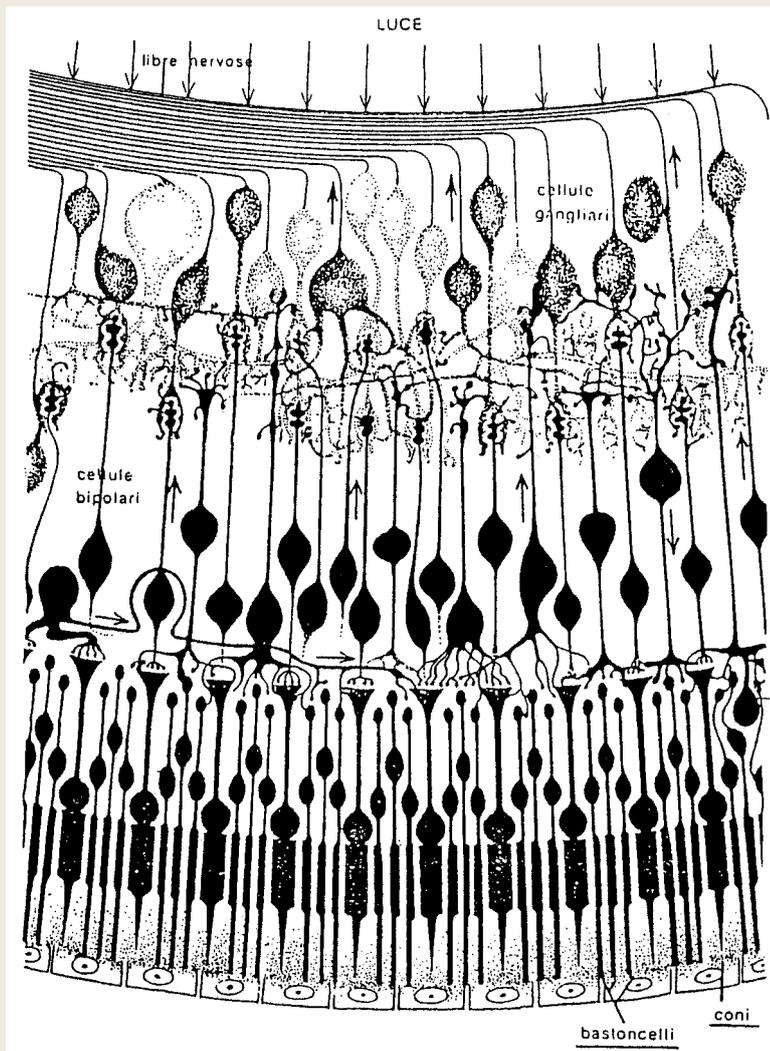


Fig. 15

La retina. La luce viaggia attraverso lo strato dei vasi sanguigni e attraverso quelli formati dalle cellule e dalle fibre nervose di sostegno, per giungere infine agli elementi sensibili, “coni” e “bastoncelli”, disposti nella parte posteriore della retina.

## 4.2 La discriminazione dei colori

Che ai fini della visione la mediazione fisiologica tra eventi fisici e mentali sia decisiva, trova particolare evidenza nella discriminazione cromatica. E precisamente nel fatto che, se i processi fisiocimici attivati dallo stimolo della radiazione luminosa rappresentano il normale avvio alla distinzione dei colori, in determinati casi tali processi non sono necessari. L'impressione di colore, infatti, può prodursi anche senza lo stimolo dell'energia radiante: con i sogni, mediante la pressione meccanica del globo oculare, con la stimolazione elettrica delle aree visive del cervello, oppure dall'azione di sostanze allucinogene. Questi colori endogeni, se provenienti dalla prolungata stimolazione retinica, danno luogo al fenomeno detto delle *immagini consecutive* o *postume*.

Le sperimentazioni dalle quali è emersa la dimostrazione che ciò che denominiamo colori non è una proprietà dell'energia radiante, ma il prodotto dell'attività cerebrale, hanno avuto inizio soltanto nell'Ottocento, con le due opposte teorie fisiologiche più accreditate: la teoria tricromatica e quella quadricromatica.

### 4.2.1 La teoria tricromatica

Elaborata nel 1801 dallo scienziato inglese Thomas Young, l'ipotesi tricromatica prende avvio contestando le credenze secondo cui la discriminazione dei colori sarebbe dipesa da un numero infinito di *particelle* oculari, ognuna sensibile a un colore. E sulla scia newtoniana del frazionamento e della ricomposizione del raggio di luce bianca, Young intravide che le innumerevoli possibilità distintive dei colori possedute dall'uomo potevano dipendere da un processo di sintesi fisiologica. Un processo ipotizzato sul funzionamento di tre sole particelle sparse in ogni punto della retina, dalle quali, attivate da una terna di differenti lunghezze d'onda dell'energia radiante, sarebbe derivata la possibilità di decodificare tutti i colori. Dopo aver notato che la scelta delle tre opportune lunghezze d'onda era piuttosto ampia, Young le selezionò tra le onde lunghe, medie e brevi dello spettro, in rispettiva corrispondenza al rosso-giallo, al giallo-verde, al blu prima e al violetto in seguito. Poiché dalla miscela di queste tre luci spettrali ottenne tutti i colori monocromatici compreso il bianco, Young li denominò colori primari.

Ripreso nel 1852 dal fisiologo tedesco Hermann von Helmholtz, il modello di Young subì una rielaborazione: le tre fibre retiniche non reagirebbero esclusivamente, ma prevalentemente ai colori primari. Esisterebbero, cioè, diversi gradi di sensibilità anche per l'intensità delle radiazioni, che spiegherebbero le varie gradazioni cromatiche intermedie. A sostegno della teoria tricromatica, la quale inizialmente non dimostrava sia la disposizione e le caratteristiche delle fibre ottiche, sia la causa delle differenti sensibilità agli stimoli luminosi, verso la fine dell'Ottocento concorsero due scoperte. Dapprima la localizzazione da parte dell'anatomista tedesco Max Schultze (1825-1874) delle cellule retiniche nel differente funzionamento dei coni e dei bastoncelli; in seguito la rilevazione dei pigmenti che, contenuti nei terminali di dette cellule, formano la base fotochimica attivata dalle radiazioni luminose nell'alternante processo fisiologico di "sbiancamento" e di ricostruzione. Alla fine degli anni cinquanta del Novecento, con tecniche di microspettrofotometria, fu definitivamente confermata la risposta dei tre tipi di fotorecettori (coni) della retina secondo la scelta di lunghezze d'onda, con picchi di assorbimento a circa 560 (rosso), 530 (verde) e 430 nanometri (blu).

La teoria tricromatica, pur non sottraendosi ad alcune riserve, tra cui le impressioni di colore come le immagini consecutive non provenienti dalle radiazioni luminose, ha da tempo trovato ampia evidenza sperimentale nella riproduzione dei colori per la stampa, la fotografia, il cinema, la televisione e i computer.

### 4.2.2 La teoria quadricromatica o dei colori antagonisti

Alla teoria di Young-Helmholtz, nel 1818 si contrappose quella del fisiologo tedesco Ewald Hering, riesaminata prima da George Elias Müller (1850-1934) e, soprattutto dalla metà del XX secolo in poi, da molti altri studiosi. Questa teoria, pur non ricusando i processi fisiologici delle sostanze fotosensibili dell'apparato visivo, ne postula una modalità di funzionamento del tutto differente. E nel presupposto che ogni sensazione sia legata al suo contrario, come il caldo al freddo e il chiaro allo scuro, ritiene le sensazioni cromatiche originate da processi antagonisti. Ossia da processi fisiologici delle sostanze visive (probabilmente ma non necessariamente situate a livello retinico), la cui sensibilità all'azione delle diverse lunghezze d'onda dell'energia radiante sarebbe suddivisa in tre coppie di sostanze visive, alle quali corrisponderebbero il rosso-verde, il giallo-blu e il bianco-nero. Le prime due coppie attinenti alla *tonalità* delle radiazioni; l'ultima coppia, bianco-nero, all'*intensità* della lunghezza d'onda – maggiore nella zona intermedia dello spettro – corrispondente alle gradazioni di bianco nella scala dei grigi.

Le sostanze visive (successivamente definite pigmenti) agirebbero in due fasi alternanti: di consumo o *dissimilazione* e di rigenerazione o *assimilazione*. Alla dissimilazione inerebbero le impressioni di bianco, giallo e rosso; all'assimilazione, le impressioni di verde, blu e nero. Considerate tonalità primarie il rosso-verde e il giallo-blu, ciascuna coppia viene ritenuta

antagonista, perché non esistono impressioni di rosso-verdastro e di giallo-bluastro, mentre esistono quelle di giallo-verdastro, di rosso-giallastro e di verde-bluastro. Conseguentemente, le tonalità di ogni coppia non solo non si fonderebbero tra di loro, ma, a uguale intensità di radiazione, si annullerebbero nel bianco. Si fonderebbero invece, integrandosi secondo i casi con la coppia bianco-nero, con le tonalità cromatiche dell'altra coppia. Per esempio, a una stimolazione di 590 nanometri non risponderebbe solo il rosso della coppia rosso-verde, ma simultaneamente anche il giallo della coppia giallo-blu, con il risultato di arancione.

Con la teoria dei colori antagonisti trovano spiegazioni più convincenti alcuni fenomeni non ritenuti del tutto chiariti dalla teoria tricromatica. Non solo per ciò che concerne le immagini consecutive e i contrasti simultanei (cfr. 6.4.4) che si verificano nel costante rapporto dei colori complementari; ma anche per ciò che riguarda il giallo, uno degli argomenti più controversi tra i sostenitori dell'una e dell'altra teoria. Mentre infatti la teoria tricromatica considera la percezione del giallo proveniente dalla fusione delle luci rosso-verde, la teoria quadricromatica, ritenendo il giallo un colore primario e non composto, troverebbe conferma nel fatto che i daltonici, pur non distinguendo il rosso dal verde, percepiscono nettamente il giallo.

Per quanto la dinamica del circuito visivo non sia ancora del tutto chiara, le due teorie inizialmente contrapposte vengono oggi ritenute entrambe valide: la teoria di Young-Helmholtz per la prima parte del processo percettivo, ossia per il funzionamento dei fotorecettori retinici; la teoria di Hering per la fase successiva che coinvolge i centri nervosi superiori, verso i quali gli impulsi retinici si indirizzano per il compimento del fenomeno visivo.

#### **4.2.3 La teoria “retinex” di Land**

Elaborata dall'americano Edwin Herbert Land (1909-1991), questa teoria ha come presupposto della discriminazione biologica dei colori non tanto il flusso della radiazione luminosa (la tonalità corrispondente a una determinata lunghezza d'onda), quanto la sua intensità, ossia il potere riflettente delle superfici.

La premessa di Land è che “se i colori fossero generati da una specifica radiazione subirebbero continue variazioni, mentre gli oggetti conservano visivamente il loro colore in una gran varietà di condizioni di illuminazione, e ciò indipendentemente dalla loro precedente conoscenza”. Ponendo in discussione il funzionamento dei due tipi di fotorecettori retinici (i coni sensibili al colore e i bastoncelli al chiaroscuro), Land ne ipotizza un'azione simultanea, con la determinante sensibilità dei bastoncelli all'intensità della radiazione. Precisa, infatti, che “i bastoncelli ipersensibili, con un'illuminazione mille volte più debole del sistema basato sui coni, non possono venire eccitati senza stimolare anche i coni, i cui tre pigmenti posseduti coprono l'intero aspetto visibile con tre bande di assorbimento ampie e ampiamente sovrapposte”.

Una prima dimostrazione di questa tesi – da Land denominata genericamente “retinex” per “l'incertezza di localizzare i meccanismi biologici relativi al potere riflettente degli oggetti” – è stata fornita nel 1959 al MIT, il prestigioso Massachusetts Institute of Technology (e illustrata da “Scientific American” del maggio 1959, nonché sul numero 115 de “Le Scienze” del marzo 1978), con il seguente esperimento. Mediante due distinti fasci di luce furono proiettate, sovrapposte, due diapositive riproducenti in bianco e nero la stessa scena: diversi frutti e ortaggi. Una delle due diapositive ripresa con filtro rosso, e proiettata con lo stesso filtro; l'altra ripresa con filtro verde (quindi con effetti chiaroscurali opposti), e proiettata con luce bianca. Il risultato sullo schermo non fu, come ci si sarebbe atteso, un'immagine in bianco, rosso e rosa, ma composta di tutti i colori (giallo, arancione, rosso, verde, blu) della scena originale. Ora, posto che da un solo colore non possono evidentemente derivare tutti gli altri colori spettrali, in questo esperimento si mostrano implicite altre due stimolazioni corrispondenti al verde e al blu. Stimolazioni che proverrebbero dalla luminosità totale della scena proiettata con la diapositiva in bianco e nero. E che in definitiva sarebbero indotte dall'azione dei bastoncelli sui coni.

Per quanto le dimostrazioni offerte da Land – non solo sul comportamento visivo umano, ma anche su quello di animali privi di corteccia cerebrale (esperimento del 1985 con i pesci rossi d’acquario) – abbiano suscitato non poco clamore, la teoria “retinex”, come lo stesso Land ammette, è tuttora priva di dimostrazioni neurofisiologiche. A questa teoria non mancano tuttavia autorevoli sostenitori. Tra questi, il neurobiologo premio Nobel David Hunter Hubel, il quale, richiamando le variabili spaziali bianco-nero “del profeta Hering”, ritiene il risultato degli esperimenti di Land “un evidente esempio di costanza del colore”<sup>8</sup> (cfr. 6.4.1).

Fenomeno così recentemente ribadito da Hubel: “Il colore di un oggetto è determinato non solo dalla luce che esso riflette, ma anche – e in misura importante, come nel caso del bianco e nero – dalla luce che proviene dal resto della scena. Come conseguenza, ciò che vediamo diventa indipendente non solo dall’intensità della sorgente luminosa, ma anche dalla sua precisa composizione in lunghezza d’onda. E ancora, ciò si verifica nell’interesse del mantenimento dell’aspetto della scena nonostante sensibili variazioni dell’intensità e della composizione spettrale della sorgente luminosa”<sup>9</sup>.

### **4.3 Le anomalie visive**

Ai fini operativi della cromatologia, anche l’esistenza di alcune anomalie visive, soprattutto per i problemi di interesse generale, non può essere ignorata. Queste anomalie, tutt’altro che infrequenti, sono principalmente di due tipi: riguardano i difetti di rifrazione oculare, che influenzando sulla capacità di distinguere nettamente un oggetto a una determinata distanza riducono l’acutezza visiva, nonché la limitata capacità di riconoscere i colori.

#### **4.3.1 I difetti di rifrazione oculare**

I difetti di rifrazione oculare sono la miopia, l’ipermetropia e l’astigmatismo. La miopia e l’ipermetropia sono entrambe in rapporto alla lunghezza del globo oculare, maggiore nel primo caso, minore nel secondo. Quando, in base a tale rapporto, la concentrazione dei punti focali (caustica per rifrazione) cade davanti alla retina, si ha la miopia; se posteriormente, l’ipermetropia. L’astigmatismo è in relazione alla superficie corneale, che, non essendo sferica, dà luogo a una concentrazione di punti focali più complessa, per cui, osservando una struttura a raggi, alcuni di questi vengono percepiti in modo nettamente più sfumato rispetto ad altri.

L’incidenza dei difetti di rifrazione oculare, che non essendo di natura patologica possono trovare una correzione nell’adozione di apposite lenti, viene ritenuta – in mancanza della richiesta precisazione da parte del Ministero della Sanità – non inferiore al 25% della popolazione.

#### **4.3.2 Le discromatopsie**

Le anomalie cromatiche, dette discromatopsie, essendo di natura genetica, non trovano correzioni. Per quanto fossero già note prima, queste deficienze prendono il nome di daltonismo soltanto dopo il 1794, quando il fisico-chimico inglese John Dalton (1766-1844), accortosi di esserne portatore, le descrisse richiamando un preciso interesse medico. Di questa descrizione, “così esatta che merita di essere trascritta”, come ebbe a precisare il famoso oftalmologo Giuseppe Ovio, ecco uno stralcio.

Nello spettro io non riconosco che due colori, o tutt’al più, ma non con sicurezza, tre: il giallo, l’azzurro, il porpora. Il mio giallo contiene il rosso, l’aranciato, il giallo e il verde che tutti vedono nello spettro; il mio azzurro si confonde talmente con il porpora che mi sembra di vedere un solo colore. La parte dello spettro che si chiama rosso mi sembra appena qualche cosa di più di un’ombra o di assenza di luce.

---

<sup>8</sup> *Ibidem.*

<sup>9</sup> *Ibidem.*

Giallo, aranciato e verde sono per me lo stesso colore con differenti gradi di intensità. [...] Il violetto si compone di rosso e azzurro, ma su me non produce che l'effetto di un azzurro pallido, sbiadito. [...] Il sangue, secondo me, assomiglia al verde oscuro delle bottiglie. [...] Il verde, di giorno [...] mi sembra poco diverso dal rosso. [...] Aranciato e verde per me si somigliano molto<sup>10</sup>.

Per spiegare il daltonismo, che, pur manifestandosi in diverse forme, si evidenzia soprattutto per un'anormale discriminazione tra il verde e il rosso, quest'ultimo non percepito, i fisiologi ritengono ch'esso dipenda da una parziale mancanza di recettori retinici. L'analisi della percezione cromatica si fonda sulla distinzione tra luci di pressoché uguale intensità luminosa, ma di differente lunghezza d'onda (cioè differente colore): il daltonico distingue la differenza di luminosità, ma non il colore corrispondente. Avendo in funzione due recettori retinici anziché tre, il daltonico distingue in diversa misura il blu e il verde, oppure il blu e il rosso (e dall'associazione di queste due luci anche il giallo), ma non il verde e il rosso. Altra particolarità di questa discromatopsia è che colpisce quasi esclusivamente i maschi, con un'incidenza dell'8% circa<sup>11</sup>.

### 4.3.3 Il problema delle anomalie visive

Le anomalie visive, che non sempre sono palesi, rappresentano evidentemente un problema, se non altro di sicurezza. Un problema che per i dissimili difetti di rifrazione oculare richiederebbe frequenti controlli individuali con prove globali, perché, con le opportune correzioni, i portatori di tali difetti possano "adeguarsi" alle soluzioni visive di carattere generale basate sul presupposto di un'acutezza visiva normale. Oppure, con previsione più realistica, dovrebbero essere le soluzioni visive di interesse sociale ad adeguarsi il più possibile anche alle esigenze di tali anomalie visive.

Riguardo al daltonismo, sono le stesse caratteristiche di questa anomalia a suggerire più adeguate soluzioni senza provocare disagi ai vedenti normali: per esempio, nelle segnalazioni semaforiche l'adozione della luce blu, percepita da tutti, in luogo di quella verde ostica ai daltonici nel rapporto con il rosso. Maggiore distinzione segnaletica parrebbe inoltre agevolata anche dall'aspetto delle attuali forme che racchiudono le luci colorate: in luogo dei tre uguali dischi (rosso, giallo, verde), tre diverse forme opportunamente scelte tra un triangolo, un cerchio e un quadrato.

## 4.4 Il processo cerebrale della visione

Che sia l'occhio a vedere tramite il cervello o l'opposto, non muta il fatto che le stimolazioni che ci giungono alla vista sono come il trillo del telefono: di per sé soltanto un segnale. Un segnale che apre il divario tra realtà fisica e realtà fenomenica, e che ha indotto Leonardo a osservare: "I maestri non si fidano del giudizio dell'occhio, perché sempre inganna, come prova chi vuol dividere una linea in due parti a giudizio dell'occhio, che spesso l'esperienza lo inganna. Onde per tale sospetto i buoni giudici sempre temono, il che non fanno gli ignoranti".

Questo divario tra le due realtà può provenire non soltanto dall'occhio per errate valutazioni: è in larga misura l'espressione biologica del processo di adattamento al nostro sistema di vita, così connaturato da non poterlo avvertire. È il caso particolare dell'effetto di profondità, cioè della prospettiva del campo visivo elaborato dal nostro sistema percettivo, con la visione binoculare più decisa e accentuata di quella monoculare, che trasforma la stimolazione retinica bidimensionale (*posizione* degli elementi e *intensità* luminosa) in percezione tridimensionale. Dalla quale dipendono: il nostro senso di orientamento; il continuo mutamento del giudizio di distanza dovuto

---

<sup>10</sup> G. OVIO, *La scienza dei colori. Visione dei colori*, U. Hoepli, Milano 1927.

<sup>11</sup> Rilievi scientifici sull'incidenza del daltonismo: 4-8% (G. Ovio, *Clinica Oculistica di Padova*, 1927); 8% (W.A.H. Rushton, *Florida State University*, 1975); 8% circa (B. Chiarelli, *Università di Firenze*, 1985); 9% circa (A. Oliverio, *Università La Sapienza, Roma*, 1986).

al movimento nostro e delle cose; la percezione nitida di situazioni – come la corsa di veicoli, che per l'azione fisica di spostamento dovrebbero apparirci come da fotografie sfuocate – e persino la percezione di profondità da una prospettiva riprodotta in piano.

Dopo la trasformazione degli stimoli oculari in impulsi elettrochimici da parte della retina, i segnali ottici richiedono un processo interpretativo, che si svolge attraverso la labirintica diramazione del circuito cerebrale. Tramite le vie ottiche (retina, nervo ottico e corpi genicolati laterali), l'impulso giunge alla corteccia visiva primaria dei due emisferi, e precisamente nella zona occipitale nota come area striata o area 17, un gruppo di cellule della quale, disposte spazialmente a colonna, risponde alla stereopsia, cioè alla tridimensionalità della visione. Attraverso numerose sinapsi, l'impulso perverrebbe a una successione di aree cellulari di livello superiore, e ad aree situate anche nella profondità del cervello, che per la loro funzione compongono la cosiddetta corteccia visiva associativa. Quest'area, addensata nei lobi frontali, assocerebbe il repertorio degli elementi ottici provenienti da tutti i raggruppamenti cellulari sensibili alle differenti caratteristiche di ogni situazione visiva (angolo di incidenza della luce, distinzione dei contorni, direzione di movimento, orientamento spaziale, elementi cromatici, profondità stereoscopica ecc.) e, con il concorso di altri filtri neurali dell'archivio mnemonico (codice genetico, affettività, cultura ecc.), le stimolazioni ottiche verrebbero finalmente interpretate e organizzate in "immagini".

## 4.5 Il cervello umano

Che cos'ha dunque nella testa  
questo *homo* che si attribuisce  
senza vergogna l'epiteto di *sapiens*?  
(Jean Pierre Changeux)

La funzione del cervello, che per la sua complessità viene oggi definito un'entità "che non ha confronto in tutte le cose dell'universo", per millenni è biologicamente apparsa priva di interesse. Per non breve tempo, infatti, l'attività intellettuale ed emotiva è stata attribuita ad altri organi: al fegato (fino al Medioevo), alla cistifellea, allo stomaco o al cuore dagli Egiziani e dai Babilonesi, e in seguito dai Greci. Da queste pur grandi civiltà il sistema nervoso era ignorato: il condotto dello spirito vitale veniva idealizzato nel sangue, e poiché il cervello, dopo la morte, ne è pressoché privo, la grigia materia cerebrale diveniva, e a lungo restò, insignificante. È con Aristotele, oltre duemila anni fa, che, ritenuta la massa cerebrale zona frigorifera del sangue, il cuore soltanto diviene sorgente di idee e di sentimenti, suffragato dal suo battito, eloquente segno di vita, proveniente dalla convergenza dei vasi sanguigni situati nel punto mediano (la mitica centralità aristotelica) del corpo.

Sostenuto dall'autorità del grande filosofo, il potere metafisico del cuore offusca nei secoli le non poche teorie vanamente richiamanti l'attenzione sul cervello. Da quelle di Democrito e di Platone, consolidate dalle osservazioni cliniche di Ippocrate e anatomiche di Erofilo, a quelle, cinque secoli dopo, di Galeno. Rafforzato dalla Scolastica medioevale, il primato del cuore è ancora presente nel Cinquecento, al risveglio della pratica anatomica con gli studi di Leonardo sul cervello e le descrizioni più progredite di Vesalio sulla morfologia cerebrale. Soltanto nel XVII secolo, pur restando ancora incerta la conoscenza della struttura cerebrale, nonostante gli ulteriori perfezionamenti della sua rappresentazione da parte dell'anatomista inglese Thomas Willis (1621-1675), l'aristotelico centro dell'anima inizia a perdere stabilità. È Cartesio a immaginare una più adeguata sede per il suo *cogito ergo sum*: non proprio nel cervello, ma nelle vicinanze: secondo il postulato dell'unicità, nella ghiandola pineale, perché "le altre parti del cervello sono doppie, e noi abbiamo un solo pensiero di una stessa cosa nello stesso tempo". Da Cartesio proviene anche il paragone, più razionale che anatomico, del corpo umano inteso quale macchina. Analogia che, proprio per la sua razionalità, sarà destinata a trovare nel clima dell'Illuminismo settecentesco l'eccesso immaginativo di un ingranaggio dove ruote dentate e leve trasmettono i movimenti dal cervello al corpo.

Il definitivo tramonto della bimillenaria tesi “cardiocentrica” – la cui eco non pare permanga soltanto nelle metafore popolari (il pensare con il cuore), ma anche nelle esaltazioni soggettive che tengono in soggezione il pensiero logico – avviene con le prime scoperte sull’organizzazione cerebrale. In particolare sulle aree corticali funzionalmente differenziate, rivelate sviluppando gli studi iniziati al principio dell’Ottocento da Franz Joseph Gall (1758-1828) sulla topografia del cervello (fig. 16). Aree che si precisano nella seconda metà dell’Ottocento, quando Paul Broca (1824-1880) nel 1860 e Carl Wernicke (1848-1905) nel 1874, mediante autopsia, giungono alla localizzazione delle zone le cui lesioni comportano la perdita della facoltà del linguaggio. Le osservazioni cliniche, fisiologiche e anatomiche, susseguitesi su altri deficit sensoriali, hanno via via ampliato la mappa corticale, con localizzazioni delle aree motorie da parte di Gustav Fritsch (1838-1927) ed Eduard Hitzig (1839-1907) nel 1910, nonché dell’area visiva primaria, che risulta la più nota, scoperta nel 1881 da Hermann Munk (1839-1912)<sup>12</sup>.

La strada che ha permesso lo sviluppo di queste ricerche, dopo l’invenzione del microscopio ottico, è stata la scoperta dell’anatomista Camillo Golgi (1843-1926). Nel 1871 Golgi trova che il nitrato d’argento, colorando di nero le cellule nervose, le rende visibili al microscopio, permettendo la loro distinzione sin nelle più fini ramificazioni assionali e dendritiche. La cosiddetta “reazione nera” di Golgi, che con l’isolamento delle cellule permette l’esplorazione visiva del tessuto cerebrale, nel 1901 ha dato modo al neurobiologo Santiago Ramón y Cajal (1852-1934) di definire la fondamentale nozione di sistema nervoso costituito da cellule separate. È tuttavia alle nuove tecniche che si deve il progredire delle indagini: al microscopio elettronico, che permette ingrandimenti mille volte superiori alla microscopia ottica; al microelettrodo per attivare sperimentalmente determinate cellule e osservarne il comportamento, e non ultimi ai raggi X. Negli anni settanta si è giunti alla Tomografia Assiale Computerizzata (TAC), che permette la visualizzazione delle strutture attive del cervello, e alla TAC si sono poi aggiunte altre tecniche di indagini cerebrali ancor più sofisticate ed estese.

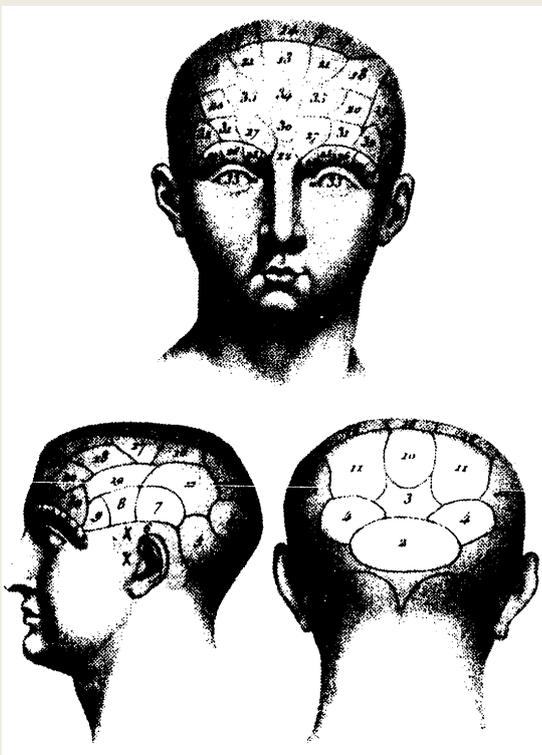


Fig. 16  
La prima “mappa” del cranio, a opera di Franz Joseph Gall.

<sup>12</sup> Cfr. L. MAFFEI - L. MECACCI, *La visione. Dalla neurofisiologia alla psicologia*, A. Mondadori, Milano 1979.

#### 4.5.1 L'articolazione del cervello

Malgrado lo sviluppo delle indagini per approfondire la conoscenza del complicatissimo laboratorio cerebrale, rimangono in gran parte ancora ignote non soltanto la labirintica composizione, ma anche le straordinarie sincronizzazioni che ne guidano il funzionamento. La massa cerebrale, oltre che da un tessuto connettivo e da una fitta rete di vasi sanguigni, è composta da uno sterminato numero di cellule nervose o neuroni, nel cui nucleo centrale è la dotazione biochimica per il funzionamento, e dalle cellule gliali, da cui i neuroni traggono sostegno metabolico. Nell'attuale livello evolutivo umano, il numero dei neuroni è rappresentativo della complessità dell'encefalo (il cervello nell'insieme). Tale numero è di circa 146mila per millimetro quadrato di superficie corticale, quindi nell'ordine di un centinaio di miliardi, pari a quello delle altre cellule che li circondano.

Questi dati di per sé aridi, come pure l'articolata sintesi che qui prosegue, hanno il solo scopo di offrire un'idea, sia pur pallida, della complessità del funzionamento cerebrale. Motore del quale, e unità base del sistema nervoso, è il neurone, distinguibile morfologicamente per la sua forma pressappoco sferica o piramidale, del diametro da cinque a mille millesimi di millimetro. Dal neurone si diparte una fitta ramificazione di sottilissimi canali: l'assone, fibra principale singola che ha il compito di emettere i segnali in uscita, e i dendriti, tra di loro ampiamente suddivisi, per mezzo dei quali la cellula nervosa riceve i segnali in arrivo. Tramite le sinapsi, formate tra l'assone e i dendriti, i neuroni si scambiano i loro messaggi nervosi sotto forma di impulsi. Gli stimoli eccitatori o inibitori delle sinapsi (possedute da ogni neurone nel numero da mille a diecimila) posseggono una duplice natura: chimica ed elettrica.

Gli stimoli di natura chimica hanno una composizione rilevata a tutt'oggi di almeno quattrocento differenti sostanze, tra cui le proteine, ognuna con un caratteristico effetto (eccitatorio o inibitorio), elaborate, trasmesse e distrutte dal nucleo centrale del neurone. Gli stimoli elettrici, invece, generati per reazione chimica, entrano in circuito con un potenziale dai 50 ai 70 millivolt, secondo la differente concentrazione ionica provocata tra l'interno e l'esterno della membrana cellulare.

L'articolazione finora nota dell'immane laboratorio cerebrale, miniaturizzato nella massa di corpi cellulari e di fibre connettive, del peso, variante da individuo a individuo, di circa 1300-1400 grammi, è stata evidenziata dalla mappa delle diverse zone dell'encefalo (fig. 17). Dette zone sono distribuite in due emisferi tridimensionali, con interconnessioni a stratificazione verticale, dalla base adiacente al midollo spinale alla corteccia. I due emisferi, collegati dal fascio di fibre componenti il corpo calloso, pur funzionando in connessione, hanno mostrato di svolgere compiti asimmetrici. Le sperimentazioni di Roger Sperry (1913-1994), compiute isolando i due emisferi, hanno permesso di osservare che ogni emisfero possiede attitudini particolari, indipendentemente dalla simmetrica connessione controlaterale. Si è così scoperto che la zona sinistra del cervello si riferisce all'attività della zona destra del corpo, e viceversa. L'emisfero sinistro avrebbe attitudine al linguaggio, al pensiero logico, alla razionalità, al calcolo. L'emisfero destro all'intuizione, all'emozione, alla fantasia. Questa dualità di compiti non è tuttavia assoluta: non esistono due cervelli in uno, perché si è verificato che, in caso di lesioni, il deficit di una zona può essere compensato dall'altra.

Per quanto attiene alle interconnessioni verticali, le differenti funzioni tendono a una classificazione secondo stratificazioni o livelli inferiori e superiori. Le classificazioni che ne risultano non possono dirsi incondizionate, dato che quasi tutti i processi implicano l'interazione complessa di molte zone, ciascuna delle quali possiede un proprio modo di elaborare l'informazione<sup>13</sup>. Al livello inferiore, quello sottocorticale, inibito alla percezione diretta degli stimoli esterni, si ritengono situati processi come quelli connessi all'evoluzione filogenetica, alle varie trasformazioni ontogenetiche, alle cariche affettive e all'intuito, nonché ai processi della memoria. Per quanto il meccanismo di questi ultimi processi – basilari di ogni apprendimento, e quindi indispensabili all'esistenza umana – sia ancora sconosciuto, tracce della funzione

---

<sup>13</sup> Cfr. F.H.C. CRICK - L.E. ORGEL - G. CHEDD - M.O. DAYHOFF, *Origine ed evoluzione del codice genetico*, Boringhieri, Torino 1971.

mnemonica sono state individuate sia nell'ippocampo, luogo in cui si genererebbe, sia nella superficie interna dei lobi frontali, dove questa importantissima funzione, innata ("memoria della specie") o acquisita che sia, sceglie, conserva o cancella le memorie a breve termine, trasmettendo ad altri centri le memorie a lungo termine da archiviare.

L'area con le specializzazioni più evidenti, individuate in seguito alla localizzazione di lesioni cerebrali, è al livello superiore nella corteccia di ciascun emisfero. In quest'area, ritenuta guida dell'apparato motorio e stazione d'arrivo dell'apparato sensoriale, la percezione degli stimoli provenienti dal mondo esterno avviene mediante gruppi di neuroni differenzialmente sensibilizzati: dagli stimoli provenienti dall'energia luminosa (vista); dalle sostanze chimiche (gusto e odorato); dalle pressioni meccaniche (tatto); dalle vibrazioni sonore (udito). Attivati dagli impulsi specifici di ogni tipo di recettore, i neuroni sensoriali proiettano, con impulsi elettrochimici, il significato dell'informazione ricevuta ad altri gruppi di neuroni, e questi ad altri ancora, sino alle cellule muscolari e ghiandolari, con le quali l'intero sistema nervoso, rispondendo al segnale ricevuto, dà il segnale di uscita. È quindi l'intero sistema nervoso che ci rende edotti sul mondo che ci circonda.

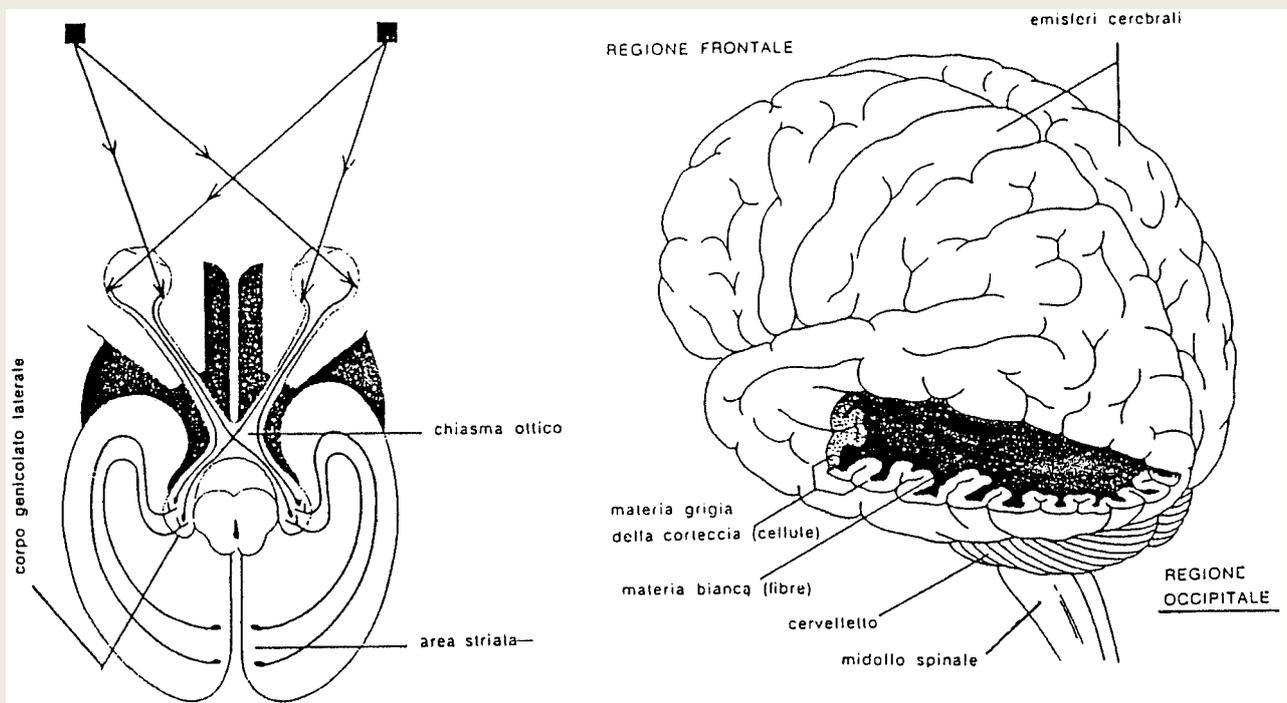


Fig. 17

Le vie ottiche del cervello. Il centro cerebrale della visione, l'area striata, è posizionata nella regione occipitale di ciascun emisfero. La stimolazione delle aree circostanti (aree di associazione) genera esperienze visive più complesse.

## Capitolo 5 - Il livello psichico o mentale

### 5.1 L'inizio della psicologia scientifica

Il fenomeno psichico, che in stretta connessione con i fatti fisici e fisiologici conclude il processo percettivo, è il più emblematico. Questa singolarità è il riflesso del differente intreccio dei fattori extrasensoriali annidati in quell'entità ipercerebrale denominata mente o psiche, coscienza o intelletto. Fattori, cioè, interagenti sull'atto percettivo secondo le variabili della natura umana: del patrimonio genetico, dell'equilibrio biologico, del sesso, della cultura, dell'ambiente, delle abitudini e dei vari condizionamenti ideologici, sociali ed economici.

In quale modo l'eterogeneità dei "moti mentali" coinvolga la personalità è l'antica domanda dalla quale sono scaturite miriadi di risposte, con implicazioni teologiche, letterarie e filosofiche. A influire sull'interpretazione della vita mentale sono state soprattutto le grandi deduzioni filosofiche giunte in epoca moderna con la prevalenza dottrinale del materialismo, dell'empirismo e del positivismo. Il materialismo, che, come l'empirismo, ha radici assai lontane, si fonda sul principio che la materia è l'unica realtà. Invece, l'empirismo – che, reputando l'esperienza sensoriale il solo mezzo di conoscenza, può essere ritenuto anticipato da Aristotele nella famosa metafora paragonante la mente del bambino a una *tabula rasa* – venne così precisato dall'inglese John Locke (1632-1704): "Tutta la nostra conoscenza è fondata sull'esperienza". Il positivismo, infine, elaborato dal francese Auguste Comte (1798-1857), in opposizione come l'empirismo alla conoscenza *a priori*, considera positiva unicamente la conoscenza reale delle cose, e assume come modello le scienze naturali. È sotto questo influsso di pensiero che, verso la meta dell'Ottocento, sulle orme della fisiologia contemporanea, secondo cui ogni attività umana può essere spiegata in base ai principi fisico-chimici, la psicologia (termine che inizia ad apparire nel XVI secolo) diviene scienza sperimentale. L'approccio scientifico alla conoscenza dei fenomeni psichici risale, quindi, a circa centocinquanta anni fa.

#### 5.1.1 La psicologia della percezione e la psicofisica

La psicologia inizia la propria fase sperimentale avendo come tema l'analisi della percezione e, mentre si dibatte tra filosofia e fisiologia, viene attratta dai prototipi della fisica. Proprio i metodi fisici di misura (senza i quali, secondo il fisico Kelvin, "non si può sapere che in modo scarso e insufficiente"), aprono nel 1860 la strada a una nuova scienza sperimentale: quella elaborata dal fisiologo tedesco Gustav Fechner (1801-1887), e da lui stesso denominata *psicofisica* con il proposito di "misurare" l'intensità delle sensazioni, così come la fisica misura le forze degli stimoli generatrici. Confutando il materialismo, Fechner indaga sulla correlazione tra stimoli fisici ed eventi mentali e, sull'indicazione del fisiologo Ernst Heinrich Weber (1795-1878), al quale si deve l'idea della "differenza appena avvertibile", Fechner elabora una scala di misura sensoriale rapportata ai minimi e ai massimi della *soglia* (o *limen*). Come a dire una scala che, segnando il limite fino a cui le energie fisiche stimolano gli organi di senso, stabilisca il confine tra ciò che è o non è possibile avvertire.

Queste sperimentazioni, ridotte all'accertamento della correlazione tra stimolo e risultato, senza un'indagine sulle cause dei corrispondenti processi del sistema nervoso (cause che, studiate in seguito, hanno trasformato la psicofisica nella psicologia odierna), ben presto costrinsero la teoria di Fechner a una rielaborazione. Che provenne da più parti: dall'inglese Francis Galton (1822-1911) con studi antropometrici; dal francese Alfred Binet (1857-1911) da cui derivò la omonima scala metrica per lo studio dell'intelligenza dei fanciulli sino ai quattordici anni; dall'americano James McKeen Cattell (1860-1944). E non ultimo dallo svizzero Jean Piaget (1896-1980), al quale, nei primi decenni del Novecento, si deve la fondazione a Ginevra della più importante scuola per lo

studio – mediante test accompagnati da dirette osservazioni comportamentali – dell'intero processo di sviluppo della percezione e dell'intelligenza infantile.

Malgrado le perplessità suscitate già al loro apparire dalle teorie dei test attitudinali, esse vengono tuttora impiegate in numerose ricerche psicologiche. Sono in uso per classificare gli interessi e la personalità, per valutare le attitudini, gli atteggiamenti, l'apprendimento, l'emotività, l'immaginazione. Da tali classificazioni e valutazioni, tuttavia, è emersa la considerazione che l'introspezione non può offrire una vera misura: a volte, infatti, alcune situazioni psichiche, come quelle determinate dall'ansietà, sono così confuse o intollerabili che la mente riesce a mascherarle. Queste simulazioni contingenti, però, segnando il predominio abnorme dell'inconscio, assumono forme patologiche, e perciò non sono più di pertinenza della psicologia comportamentale. Interessano, invece, la psicologia clinica, ossia la psicoanalisi, che, fondata all'inizio del Novecento da Sigmund Freud (1856-1939), analizza a scopo terapeutico le alterazioni funzionali del sistema nervoso provocate da conflitti tra le varie sfere della psiche.

### **5.1.2 La psicologia sperimentale della scuola germanica**

Contemporaneamente alla psicofisica di Fechner, la psicologia sperimentale apre il campo delle ricerche sulla percezione con la pluralità d'interessi del fisiologo Hermann von Helmholtz. Il contributo di Helmholtz è fondamentale, sia per aver introdotto le tecniche derivate dalla fisica e dalla fisiologia, sia per i risultati delle sue numerose indagini. Entro le quali sono: la misurazione, nel 1850, della velocità dell'impulso nervoso, a dimostrazione dell'esistenza di una serie temporale di processi tra la stimolazione e la risposta; nonché la diretta osservazione dell'occhio (mediante l'oftalmoscopio, da lui inventato nel 1851), che, fra le numerose sperimentazioni di ottica fisiologica, gli permise di sviluppare la teoria tricromatica di Young sulla discriminazione dei colori (cfr. 4.2.1). Convinto assertore della teoria dell'empirismo, piuttosto che di quella kantiana sul ruolo dell'"intuizione" nei processi mentali, Helmholtz, postulando che la percezione vada oltre la stimolazione sensoriale, pone in rilievo il principio dell'"inferenza inconscia". Secondo tale concetto, la percezione, pur se inconsapevolmente, si svolgerebbe sul terreno dell'esperienza passata, rendendo la percezione stessa una conclusione, appunto, "inconscia".

Altro importante apporto alla scuola sperimentale germanica è quello di Wilhelm Wundt (1832-1920), il quale, come Fechner e Helmholtz, si dedicò alla psicologia dopo gli studi di medicina. Condividendo con Helmholtz l'entusiasmo per l'empirismo inglese, Wundt seguì in particolare le tracce di John Stuart Mill (1806-1873), assertore del processo "ideativo" secondo il principio delle reazioni chimiche, ossia dell'idea di un'aggregazione di idee, dalla cui unione si produrrebbero composti chimici dalle caratteristiche proprie. Tra le molteplici sperimentazioni di Wundt sul rapporto tra percezione e sensazione – rapporto che venne ipotizzato in tre fasi: la percezione (intesa come nuda stimolazione sensoriale); l'appercezione (intermedia fra la semplice sensazione e il giudizio); e quindi la volontà di reazione – si evidenziano differenti problematiche, riguardanti, oltre alla percezione uditiva e visiva (discriminazione cromatica, fenomeni di contrasto, immagini consecutive ecc.), altri processi mentali: come i tempi di reazione e di associazione verbale (misura del tempo con cui una parola produce due idee), rianalizzati in base alla teoria "psicometrica" di Francis Galton. E ancora: i processi di natura antropologica non risolvibili in laboratorio (abitudini linguistiche, convinzioni ideologiche ecc.), con i quali Wundt aprì la strada alla psicologia sociale. Coordinando le ricerche di Fechner e di Helmholtz, e adoperandosi per rimuovere la metafisica dalla psicologia, Wundt promosse anche un'intensa attività didattica, fondando nel 1878 a Lipsia il primo laboratorio di psicologia sperimentale, da cui uscì un nutrito numero di studiosi.

Se l'inizio della psicologia sperimentale si caratterizza con la psicofisica di Fechner e con le teorie fisiologiche di Helmholtz e di Wundt, entrambe basate sull'introspezione o auto-osservazione, nuovi contributi giungono ben presto. Tra questi, quello di un altro fisiologo, Ewald Hering, formatosi alla scuola di Fechner. Hering, aderendo alle tesi innatiste secondo cui la

percezione avverrebbe mediante schemi nervosi precostituiti, piuttosto che dal semplice apprendimento, compì significativi esperimenti sui fenomeni visivi, elaborando in particolare una nuova teoria fisiologica sulla discriminazione dei colori, teoria contrastante quella di Young-Helmholtz (cfr. 4.2.2).

### 5.1.3 Il superamento del principio introspettivo

Il XIX secolo non si chiude soltanto con il laboratorio sperimentale di Lipsia. Sulle sue orme, non pochi studiosi provenienti da Lipsia diedero vita a nuove scuole. Non solo in Germania, ma anche in altri paesi europei e nel Nord America, dove, tra gli altri, con diversi programmi di ricerca si distinsero Titchener, Angell, Baldwin, Hale e Dewey. In Germania, scuole di psicologia sorsero a Gottinga, a Berlino e a Würzburg. A Gottinga George Elias Müller, già assistente di Wundt a Lipsia, diede nuovo impulso sia alle indagini iniziate da Hermann Ebbinghaus (1850-1909) sul contrasto dei colori e sulla memoria, sia alla teoria di Hering riguardo alla discriminazione dei colori. La scuola di Berlino, con la direzione di Carl Stumpf (1848-1936), si distinse dalla scuola di Lipsia antepoendo all'empirismo ortodosso di Helmholtz e di Wundt le concezioni teoretiche di Franz Brentano (1838-1917), ossia lo studio della percezione basato non solo sullo stimolo sensoriale in sé, ma anche sull'attività cerebrale complessiva nell'esperienza della realtà quotidiana. Allievi di Stumpf furono Koffka, Köhler e Wertheimer, i quali, intorno al 1920, diedero vita alla scuola della *Gestalt*. La scuola di Würzburg, infine, che con la guida di Oswald Külpe (1862-1915) seguì le premesse della scuola di Berlino, dimostrò sperimentalmente che il fondamento introspettivo, da più parti ormai posto in discussione, risultava effettivamente parziale. Gli stessi dati introspettivi, osservati in situazioni diverse da differenti soggetti, fornivano risposte discordanti a causa delle differenze individuali.

I paradigmi sino allora seguiti sulla scia della fisiologia apparvero incompleti per più di una ragione. Non solo perché la centralità della sensazione conduce a un'analisi statica e riduttiva, ma anche per la mancanza di un presupposto dei rapporti intercorrenti tra l'individuo e il suo ambiente sociale. L'auto-osservazione mostra, in definitiva, i suoi limiti, poiché "nessuno ha mai costruito qualcosa di scientifico da un'esperienza privata". Sui principi dello sperimentalismo sino allora in auge, quindi, si annuncia l'esigenza di una svolta teorica e metodologica, nel cui spirito, intorno al 1890, si mosse proficuamente in Austria anche la scuola di Graz, che con Alexius Meinong (1853-1920), Christian von Ehrenfels (1859-1932) e Vittorio Benussi (1878-1927), maestro di Cesare Musatti a Padova, pose alcune basi teoretiche che, elaborate, furono presenti nella psicologia della *Gestalt*.

### 5.1.4 La scuola russa e i "riflessi condizionati"

Sull'eco della fisiologia tedesca, in Russia le nuove ricerche sui fondamenti fisiologici dell'attività psicologica iniziano con Ivan Michajlovič Secenov (1829-1905). Già nel 1863, con il suo trattato *I riflessi del cervello*, Secenov formula infatti, per la prima volta, la tesi che "tutti i processi psichici sono per loro natura riflessi, e che studiare la coscienza prescindendo dai processi materiali corporei non è possibile"<sup>14</sup>. La teoria dell'attività riflessa, dopo esser stata sperimentalmente confermata da Ivan Petrovič Pavlov (1849-1936), che di Secenov fu successore all'Istituto di Mosca, trovò più estesi interessi in Vladimir Michajlovič Bechterev (1857-1927), il quale, in posizione autonoma, si distanziò nettamente dalla "riflessologia" di Secenov e di Pavlov, intendendo con una propria teoria i riflessi "come spiegazione universale di tutti i fenomeni, dalle loro manifestazioni biologiche a quelle sociali". Data questa sostanziale differenza, "è quindi errata la tendenza propria della storiografia occidentale di raggruppare insieme con il termine 'riflessologia' le teorie di Secenov, Bechterev e Pavlov"<sup>15</sup>.

---

<sup>14</sup> L. MECACCI, *Cervello e storia. Ricerche sovietiche di neurofisiologia e psicologia*, Editori Riuniti, Roma 1977.

<sup>15</sup> *Ibidem*.

Nel quadro delle ricerche iniziate da Secenov, Pavlov si distinse con contributi concettualmente nuovi sui rapporti tra le funzioni del cervello e i comportamenti umani. Introducendo metodologie differenti da quelle basate sulla stimolazione elettrica (elettrofisiologia), Pavlov cercò una spiegazione oggettiva del comportamento degli animali e dell'uomo, denominando "riflessi condizionati" i processi neurofisiologici nella connessione tra stimolo e risposta (S-R), e ipotizzando tali processi in varie fasi (di eccitazione, di inibizione, di induzione reciproca ecc.).

Tra le molteplici sperimentazioni di Pavlov, una delle più classiche è quella sulla funzione delle ghiandole gastriche e salivari nella cosiddetta "secrezione psichica". In tale contesto, l'associazione tra stimolo e risposta figura, per esempio, nel caso di uno stimolo neutro, il suono di un campanello, che, se associato dopo molte prove alla somministrazione di cibo a un cane affamato, si trasforma in stimolo condizionante, e, finendo per evocare una reazione di attesa del cibo, determina come risposta la salivazione (atto riflesso) dell'animale.

La teoria, variamente articolata, dei riflessi condizionati di Pavlov, pur ottenendo vasta risonanza (nel 1904 è premio Nobel), ha subito varie distorsioni. Una di queste è collegata alla teoria nordamericana del behaviorismo, elaborata nel 1913 da John Broadus Watson, il quale "citerà Pavlov, ma dimostrerà sempre una maggior affinità di pensiero con la riflessologia di Bechterev"<sup>16</sup>, divulgata in lingua inglese più ampiamente prima della teoria di Pavlov. Ciò spiega le aspre critiche di Pavlov al behaviorismo americano a causa della presunta "esclusione dallo studio del comportamento di un'indagine relativa alle sue basi fisiologiche"<sup>17</sup>. Le critiche di Pavlov si rivolgono anche al globalismo della psicologia gestaltica sorta in Germania negli anni venti, perché nega il principio dell'associazionismo, ossia il principio secondo cui la conoscenza si forma nel corso dell'esperienza da associazione di idee.

## 5.2 Le correnti della psicologia scientifica contemporanea

L'avvio del radicale sviluppo della psicologia sperimentale, sorta verso la metà del XIX secolo, avviene contemporaneamente all'inizio del Novecento con due principali correnti di pensiero, contrapposte nell'interpretazione della genesi della percezione: il comportamentismo (o behaviorismo) e la teoria della *Gestalt* (o gestaltismo).

Il comportamentismo, ponendo all'origine del processo percettivo l'apprendimento, considera come oggetto della ricerca lo studio dei comportamenti obiettivamente osservabili. Ricorre quindi, secondo il principio empirico dell'associazione tra due o più eventi psichici, al fattore dell'esperienza, immediata o passata, e alla teoria dei fenomeni descritti in termini di stimoli e risposte.

La teoria della *Gestalt*, invece, in opposizione all'empirismo, considera ogni processo mentale come un insieme integrato di fattori. Intendendo tale insieme di fattori come struttura organizzata per effetto dell'attività propria del sistema nervoso, la *Gestalt* supera anche il presupposto dell'associazionismo, il quale non tiene conto dei rapporti interattivi tra i fattori di ogni atto percettivo.

Dagli anni sessanta, alle precedenti teorie da tempo affermatesi si è affiancata la nuova corrente psicologica genericamente denominata cognitivismo, che, in dissenso con il comportamentismo da cui proviene, e con il gestaltismo, ne analizza criticamente le posizioni, nell'intento di stabilire, con il ricorso alle ultime tecniche affluite dalla cibernetica, nuovi punti di partenza.

---

<sup>16</sup> *Ibidem.*

<sup>17</sup> *Ibidem.*

### 5.2.1 Il comportamentismo o behaviorismo

Il comportamentismo appare negli Stati Uniti nel 1913 per opera di John Broadus Watson (1878-1958). Sulla scia della crisi della psicologia sperimentale tedesca tendente al superamento del principio dell'introspezione, il comportamentismo propugna uno sviluppo di tale principio, considerando il fenomeno della percezione legato al processo del ricordo e dell'apprendimento. Apprendimento inteso in una vasta accezione: non solo scolastico, ma soprattutto in rapporto alle situazioni contingenti influenti sul comportamento.

Se le radici filosofiche del comportamentismo sono, con l'empirismo, piuttosto antiche, un precedente diretto è il "funzionalismo" nordamericano, che, sostenendo l'"interpretazione del funzionamento della mente nel quadro dei processi di adattamento all'ambiente", venne espresso dalla scuola di psicologia di Chicago, sostenuto dall'intensa opera di William James (1842-1910). Oltre a James, fondatore del primo laboratorio di psicologia a Harvard nello stesso periodo (1878) in cui Wundt istituiva il laboratorio di Lipsia, della scuola di Chicago fecero parte il pragmatista John Dewey (1859-1952), Charles Hubbard Judd (1873-1946), James McKeen Cattell e James Rowland Angell (1869-1949), di cui Watson fu allievo. Altri ascendenti del comportamentismo – che, per quanto innovati, lo tennero sempre ancorato al criterio variamente denominato associazionista o sommativo-aggregativo – furono la teoria evoluzionista di Charles Darwin (1809-1882), la riflessologia di Bechterev e la dottrina dei riflessi condizionati di Pavlov.

Tra i punti salienti del comportamentismo, figurano le seguenti precisazioni di Watson:

- 1) Gli psicologi devono cessare di considerare oggetto delle proprie osservazioni il *campo della coscienza*. L'esperienza conscia è risultata qualcosa di impreciso, difficile da delimitare e descrivere. Oggetto di osservazione deve invece essere il comportamento manifesto [...]. Anche se un *aspetto interno* esiste, esso può venire tranquillamente ignorato.
- 2) Occorre pertanto cessare di *scorgere nell'introspezione* il metodo di osservazione proprio della psicologia. [...]
- 3) Lo studio degli eventi mentali (sensazioni, immagini, atti mentali) va sostituito con lo studio del comportamento. Quest'ultimo risulta analizzabile in termini di connessioni o correlazioni fra stimoli visivi, auditivi, cinestetici e di altro tipo da un lato, e risposte cui tali stimoli danno luogo dall'altro.
- 4) [...] La "scienza mentale" deve trasformarsi in scienza "fisica". Insieme con gli eventi ambientali che evocano o modificano la "risposta" occorre studiare i movimenti delle membra, le secrezioni delle ghiandole, le scariche elettriche del tessuto nervoso, le formulazioni formali, il rossore della pelle, le smorfie, la tensione dei muscoli. Le sensazioni e la percezione vanno pertanto studiate in termini di risposte specifiche a stimoli specifici, l'immaginazione va ridotta a reazioni cinestetiche, la memoria e l'apprendimento ad abitudini basate su risposte condizionate, il pensiero a un'abitudine linguistica subvocale ecc. Tra fisiologia e psicologia la differenza è soltanto di grado: nel considerare il funzionamento dell'organismo la fisiologia si sofferma maggiormente sui particolari, la psicologia sull'insieme<sup>18</sup>.

Attratto dal materialismo, Watson avversa la concezione interattiva di "coscienza", che ritiene risultato dell'insufficiente conoscenza del funzionamento del cervello; e, con il principio dello stimolo-risposta, basa lo studio delle più semplici forme di comportamento sugli animali, nella convinzione che fondamentalmente, con le debite distinzioni, dalle stesse forme elementari ebbe inizio, per poi svilupparsi, il comportamento umano.

La teoria stimolo-risposta, impostasi con il comportamentismo sulle variamente differenziate scuole di psicologia statunitensi intorno agli anni venti, mira all'individuazione delle variabili nel rapporto stimolo-risposta, vale a dire tra l'ingresso percettivo di un messaggio e le condizioni che influiscono sulla sua interpretazione, intendendo per stimolo (S) qualsiasi riflesso sensoriale che causi un'eccitazione dei processi nervosi, e per risposta (R) una conseguenza prodotta dalla stimolazione. Le variabili di tale rapporto, estendendosi a un'ampia pluralità di processi (fisiologici, neurologici, biologici ecc.), danno luogo a un reciproco condizionamento che si manifesta sempre

---

<sup>18</sup> R. THOMSON, *Storia della psicologia*, Paolo Boringhieri, Torino 1972.

più complesso, poiché non solo all'uguale risposta possono corrispondere differenti stimoli, ma dall'uguale stimolo possono derivare risposte diverse.

I presupposti di Watson, specie tra il 1930 e il 1959, hanno subito non poche riformulazioni, con interpretazioni spesso tra di loro in contrasto, come, per esempio, quelle di Guthrie e di Skinner. Mentre Edwin Ray Guthrie (1886-1959), ponendo alla base dell'attività psichica i fatti fisiologici, difende strenuamente lo studio dei movimenti, in quanto "tutto ciò che in una situazione qualsiasi l'organismo può fare, è contrarre i muscoli secondo un certo ordine e una certa configurazione", Burrhus Frederic Skinner (1904-1990) è di tutt'altro avviso. Skinner rifiuta i modelli neurofisiologici e qualsiasi altro modello esterno, ritenendo il comportamento oggetto di una scienza autonoma. Postulando, come già Watson, che il comportamento di ogni organismo è modellato esclusivamente dall'ambiente, Skinner incentra ciò che chiama analisi funzionale sulla distinzione delle diverse fasi del comportamento (istintivo o "rispondente"), introducendo, a sviluppo della teoria pavloviana, il condizionamento "rinforzato", ossia il ricorso all'assegnazione di un premio o di una punizione. Fondata sul principio del "rinforzo" quale incentivo all'apprendimento, la finalità di Skinner è quella di giungere a prevedere e controllare il comportamento di ogni organismo, animale e umano. Se riguardo all'apprendimento animale gli esperimenti effettuati, per esempio su ratti e piccioni, hanno dimostrato che al condizionamento rinforzato avente come stimolo una maggiore quantità di cibo corrisponde come risposta dell'animale un più difficile percorso con superamento di ostacoli, per l'uomo, scegliendo il comportamento lavorativo, lo stimolo rinforzato da un alto salario e da migliori condizioni di lavoro avrebbe come risposta l'efficienza lavorativa e la mancanza di assenteismo.

La radicale teoria skinneriana, affermata tra il 1930 e il 1940, pur incontrando non pochi avversari, timorosi di un'estensione del principio di "controllo" sul più ampio comportamento sociale, ha trovato punti di sviluppo in altre teorie. Tra queste, quella di Clark Leonard Hull (1884-1952), che, osservando il comportamento sotto il profilo rigorosamente biologico, sostenuto da formule logico-matematiche, amplia le variabili S-R con variabili intermedie (le pulsioni, i bisogni, l'abitudine, la reazione, nonché il "rinforzo" quale incentivo) che, pur senza essere osservabili, sono presenti con le loro interazioni. Non ultima, è da segnalare la più affinata corrente del *New Look*, che formula, tra le altre, la teoria dell'ipotesi percettiva, per studiare con nuove metodologie l'effetto emozionale della visione delle immagini tachistoscopiche: immagini che, apparendo nell'ordine dei microsecondi, danno luogo a uno stimolo (detto subliminale) che, per quanto molto debole per essere riconosciuto, è tuttavia in grado di influenzare i processi psichici consci o comportamentali.

È in questo clima di sofisticate ricerche sui condizionamenti comportamentali che, verso il 1950 in Nord America, e ben presto in altre parti del mondo, determinate teorie del comportamentismo, sul solco della psicologia del profondo (o psicoanalisi), trovano una nuova applicazione di massa. Trovano impiego, cioè, per favorire i consumi facendo leva su desideri più o meno consci (prestigio, aspetto estetico, prestanza fisica ecc.), rilevati con le sottili tecniche delle ricerche motivazionali.

### **5.2.2 La psicologia della *Gestalt* o *Gestalttheorie***

La psicologia della *Gestalt* nasce in Germania nel 1912 con Max Wertheimer (1880-1943), Wolfgang Köhler (1887-1967) e Kurt Koffka (1886-1941). Sorge dalla crisi del modello stimolo-sensazione, per rispondere alla domanda: "Se la conoscenza proveniente dalla sola esperienza è dubbia, in quale modo e in quali condizioni avviene la conoscenza?". La risposta della *Gestalt*, in opposizione all'empirismo anglosassone, è che la conoscenza non proviene esclusivamente dall'esperienza passata (che permette il riconoscimento), ma da un più ampio processo di organizzazione della vita psichica. Ossia da un processo in cui un insieme di fattori, tra i quali anche l'esperienza e l'apprendimento, si organizzano in strutture dinamiche per effetto dell'attività propria del sistema nervoso. Attività, peraltro, ritenuta non vincolata dai "congegni preordinati"

della teoria innatista, anche se, in determinate situazioni percettive, alcuni elementi visivi si impongono “coercitivamente” su altri.

I principi fondamentali della nuova scuola tedesca, destinata a uno sviluppo più lineare del comportamentismo, vengono espressi dalla sua stessa denominazione, ove si tenga conto che il termine tedesco *Gestalt*, tradotto riduttivamente in italiano con la parola “forma”, non si riferisce esclusivamente a “figura”, o “aspetto esteriore di una forma”, ma “dovrebbe essere tradotta con *struttura organizzata*, in contrapposizione ad *aggregato, mucchio, somma*”<sup>19</sup>. Per Wertheimer, infatti, le *Gestalt* sono “strutture globali il cui comportamento non è determinato dal comportamento degli elementi singoli che le compongono, ma dalla natura intrinseca dell’insieme”. Il concetto di struttura, o “sistema delle relazioni tra le parti”, si riferisce al rapporto interattivo esistente tra le parti costituenti ogni fatto mentale o situazione percettiva; un rapporto, quindi, che stabilisce la dipendenza dal tutto delle parti, poiché *una parte in un tutto è diversa dalla stessa parte isolata o facente parte di un altro tutto*. Una *Gestalt* può essere esemplificata dalla fisionomia di un volto, che in un identikit risulta alterata dallo scambio anche di un solo elemento. La relazione tra le parti e il tutto, che caratterizza il principio gestaltico della totalità, trova una significativa eco pre-gestaltica nelle “molte e lunghe osservazioni” di Copernico, i cui calcoli, come annotò nel suo *De Revolutionibus orbium caelestium*, “trovano conferma nell’ordine e nella magnificenza di tutte le stelle e sfere, e il cielo stesso risulta così collegato che in nessuna sua parte si può spostare nulla senza generare confusione delle altre parti e del tutto”.

Con il principio che ogni struttura o configurazione è dotata di proprietà che non sono semplicemente la somma delle proprietà delle parti di cui ogni configurazione è costituita, la *Gestalt* contraddice gli schemi additivo-associativi della psicofisiologia ottocentesca. Contraddice, cioè, il modo di pensare derivante dal materialismo atomistico, che, trasferito per esempio alla fisiologia, faceva concepire l’organismo come un aggregato di minutissime cellule. Una volta definita la funzione della singola cellula, la comprensione della funzione globale dell’organismo doveva provenire per così dire automaticamente, per addizione.

Se con il principio strutturale la *Gestalt* avversa l’atomismo, con il principio dinamico si distingue dal meccanicismo delle dottrine precedenti, con dimostrazioni che trovano conferma in altri modelli scientifici. Ribadendo che “nella scienza varcare i confini nei vari campi è una delle tecniche più feconde”, Köhler fa ricorso al concetto di *campo* della fisica, la quale considera l’energia di ogni punto dello spazio il riflesso dell’energia proveniente dal campo, e non dai corpi in esso presenti. Secondo Köhler, “una teoria della percezione deve essere una *teoria di campo*. Con questo intendiamo che le funzioni neurologiche e i processi a cui ogni volta sono associati i fatti percettivi sono localizzati in un mezzo continuo, e che i fatti che avvengono in una zona di questo mezzo influiscono sui fatti che avvengono in altre zone, in modo che dipende direttamente dalle caratteristiche di ambedue i fatti nel loro rapporto reciproco”<sup>20</sup>. Köhler basa questa teoria di campo sull’ipotesi dell’isomorfismo proposta da Wertheimer, mettendo in evidenza con molti esempi come anche nella natura inorganica siano attivi i principi di organizzazione corrispondenti alla caratteristica dei processi organizzativi della vita psichica, postulati dalla *Gestalt* in luogo del “caos delle sensazioni”.

Già dai primi lavori sperimentali, i principi della *Gestalt* ebbero soprattutto rilievo per i problemi della percezione. A questi problemi, che vanno dalla dinamica spaziale ai contrasti cromatici, dalle costanze percettive ai rapporti tra percezione e memoria, per citarne solo alcuni, i gestaltisti hanno dato soluzioni originali. Di particolare importanza si sono rivelati i “principi dell’organizzazione formale”, noti come leggi di Wertheimer, che stanno alla base del costituirsi delle unità percettive. Rimandando una più approfondita conoscenza di questa complessa problematica alle molteplici trattazioni specialistiche esistenti, ecco un riassunto dei principali fattori di organizzazione percettiva elencati nel 1923 da Wertheimer.

---

<sup>19</sup> G. KANIZSA, *Attualità dell’opera di Metzger*, in W. METZGER, *I fondamenti della psicologia della gestalt*, Giunti - G. Barbèra, Firenze 1971.

<sup>20</sup> W. KÖHLER, *Principi dinamici in psicologia ed altri scritti*, Universitaria - Barbèra, Firenze 1966.

**La vicinanza.** Quanto più le parti di un insieme percettivo sono vicine, tanto più si raggruppano dando luogo a configurazioni univoche. La fig. 18 mostra come le stesse linee verticali, se separate da spazi minori, diano luogo a figure unitarie, così come nel settore dei punti separati.

**La somiglianza o eguaglianza.** Anche gli elementi figurati tra di loro simili posseggono la tendenza a raccogliersi in gruppi. Nella fig. 19 i cerchi vuoti e i cerchi pieni si uniscono in distinte configurazioni difficilmente eludibili.

**La forma chiusa.** Le forme delimitate tendono a emergere più delle forme aperte. Triangoli, quadrati, cerchi agiscono in quanto forme chiuse (fig. 20).

**Pregnanza o coerenza strutturale.** Hanno la tendenza a imporsi, secondo il fondamentale principio della pregnanza, le configurazioni che si presentano come forme “buone”, in quanto caratterizzate da semplicità, simmetria, regolarità, coesione, stabilità. Il senso del termine pregnanza, non trovando esplicita enunciazione, viene riferito alla coerenza strutturale, al carattere unitario di ogni configurazione. La fig. 21 esemplifica come, pur intercalate, due differenti forme “buone” rimangono distinte.

**La continuità di direzione.** Si percepiscono come appartenenti alla stessa unità gli elementi che hanno un “destino comune”, ossia che posseggono la stessa direzione. Nella fig. 22 si costituiscono in unità le parti 1 e 2, 3 e 4 piuttosto che le parti 3 e 1, 2 e 4.

**L'esperienza passata.** Pur non attribuendo al fattore empirico la funzione centrale della psicologia associazionista, la *Gestalt* non ne disconosce il ruolo. Nella fig. 23 le tre linee separate, per chi conosce le lettere dell'alfabeto, vengono percepite come una “E” maiuscola, anche se non interamente contornata. Ruotando la pagina di novanta gradi, non appare più la lettera E coricata, ma soltanto le tre linee separate (fig. 24).

La *Gestalt*, richiamando l'interesse di numerosi studiosi, tra cui Lewin, Brown, Asch, Heider, Katona, Arnheim, Metzger, Musatti e Kanizsa, ha offerto un importante contributo non soltanto riguardo al problema percettivo. I principi gestaltici, infatti, hanno trovato applicazione anche in altri settori: nell'apprendimento, nella psicologia sociale, nei problemi affettivi, nella psicologia dell'arte e in quella genetica.

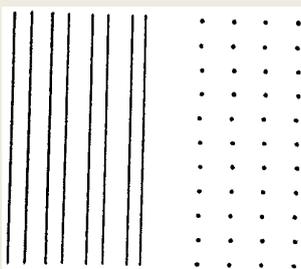


Fig. 18  
Il fattore di organizzazione percettiva della *vicinanza*, come esposto nel 1923 da Max Wertheimer.

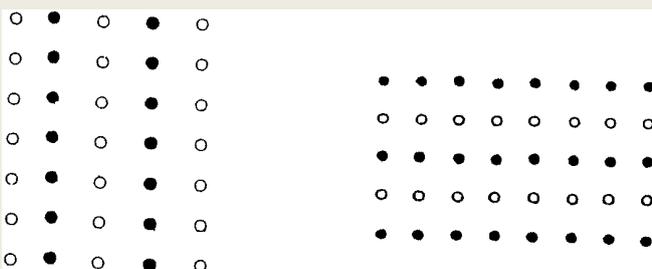


Fig. 19  
Il fattore di organizzazione percettiva della *somiglianza o eguaglianza*, come esposto nel 1923 da Max Wertheimer.



piuttosto a un'analisi critica delle loro rispettive posizioni in vista di nuovi sviluppi, ai quali – in posizione autonoma – ha contribuito anche un gruppo di psicologi italiani.

Pur continuando ad avere diffusione in tutto il mondo, nei decenni trascorsi dalle sue prime apparizioni la psicologia cognitivista non pare abbia assunto il carattere di scuola. Sino agli anni ottanta, infatti, veniva definita “corrente di pensiero in evoluzione”, ponendosi così in parallelo con altri campi disciplinari, che con nuove ricerche vanno confrontando la validità delle grandi concezioni tradizionali in rapporto alle nuove condizioni di vita.

Tracciare un quadro unitario, sia pure schematico e generico, del cognitivismo è non poco difficile per via delle disomogeneità dei postulati teorici e pratici con i quali questa corrente affronta i processi cognitivi della percezione, del pensiero, del linguaggio e della memoria. Già con il termine (“cognizione”) che la definisce, termine vago in quanto da sempre implicito nello studio dei processi mentali, la psicologia cognitivista evidenzia l'impegno di porsi, più o meno radicalmente, “fuori dalle parti”, ossia fuori dal comportamentismo (dal cui interno, influenzata dallo sviluppo dell'informatica e della cibernetica, prende le mosse) e dal gestaltismo. La distanza dal comportamentismo viene così segnata soprattutto dal rifiuto della connessione stimolo-risposta, ritenuta inadeguata alle condizioni provenienti dalle nuove tendenze informative, mentre del gestaltismo, pur considerando il principio delle strutture organizzate un valido punto di partenza, il cognitivismo avversa il modello del campo cerebrale e l'ipotesi dell'isomorfismo, perché giudicati in contrasto con la moderna neurofisiologia.

Per sviluppare le proprie ricerche, “che interessano tutta l'attività umana e non soltanto qualche particolare settore”, la psicologia cognitivista, oltre ai modelli cibernetici, alle teorie dell'informazione e della linguistica, ricorre anche alla teoria della decisione (la scelta tra episodi non chiaramente differenziati), all'etologia e alla neurofisiologia. Indipendentemente dal fatto che l'influsso più o meno articolato di queste discipline era già presente in altre correnti psicologiche, e in particolare in quella comportamentale, la loro convergenza nel cognitivismo non è costante, ma variabile secondo i diversi autori.

Il modello che tuttavia viene considerato caratterizzante il cognitivismo riguarda la cosiddetta teoria dei calcolatori, intravista come analogia tra il “programma del computer” e la capacità dell'organismo di elaborare l'informazione, di cui ciò che questa nuova corrente tenta di capire è la “struttura delle sue trasformazioni”. Ed ecco in breve, a questo proposito, il pensiero di Ulric Neisser, uno dei maggiori, se non il maggiore, esponente del cognitivismo: “Prendiamo in considerazione, in primo luogo, il parallelo che si suole istituire fra l'uomo e il computer. Sebbene questa analogia sia inadeguata sotto molti punti di vista, per i nostri scopi va abbastanza bene. Il compito di uno psicologo che cerca di comprendere i processi cognitivi dell'uomo è analogo a quello di un tecnico che tenta di scoprire come è stato programmato un computer”<sup>21</sup>. Al tecnico “non interesserà affatto se quel particolare computer immagazzina l'informazione su nuclei magnetici o su sottili pellicole: egli cercherà di capire il programma, non l'hardware [cioè la struttura materiale del calcolatore]. Allo stesso modo lo psicologo non ricava alcun aiuto dal sapere che la memoria ha il suo supporto nell'RNA [molecole legate alla trasmissione dei caratteri ereditari] piuttosto che in qualche altro mezzo: egli cerca di comprendere l'utilizzazione che se ne fa, non la sua incarnazione. [...] Un programma non è uno strumento per misurare l'informazione, ma una formula per selezionare, immagazzinare, ripescare, combinare, emettere e in generale manipolare l'informazione medesima”<sup>22</sup>.

Sull'analogia tra computer e cervello umano Neisser precisa che

l'uso di un concetto preso a prestito dalla programmazione dei computer non implica affatto che i modelli cibernetici oggi esistenti siano soddisfacenti anche da un punto di vista psicologico: in genere essi non lo sono. [...] Certi programmi, che si possono definire come dotati di intelligenza artificiale, possono “apprendere” con facilità (poiché modificano se stessi in funzione dell'esperienza), ma nessuno di essi

---

<sup>21</sup> U. NEISSER, *Psicologia cognitivista*, Aldo Martello - Giunti, Firenze 1976.

<sup>22</sup> *Ibidem*.

arriva a produrre gli importanti cambiamenti di tipo evolutivo nella sua routine direttiva. Nell'uomo avviene invece il contrario, poiché certe funzioni come il "ritornare indietro sui propri schemi" o "l'andare in cerca nella memoria" possono essere acquisite attraverso l'esperienza. Non sappiamo molto a proposito di questo apprendimento, ma in linea di principio esso non pone alcun problema nuovo: è sufficiente che noi facciamo l'ipotesi che la memoria umana immagazzini informazione circa i processi, piuttosto che sui contenuti. Quello che si apprende sono le attività mentali, e sono forse le uniche cose possibili di apprendimento<sup>23</sup>.

---

<sup>23</sup> *Ibidem.*

## Capitolo 6 - L'ordinamento cromatico

### 6.1 La classificazione del colore

I tentativi di stabilire una classificazione, una specie di grammatica del colore, da sempre si sono scontrati con le complesse implicazioni proprie della natura del fenomeno cromatico. Soltanto nel XIX secolo, progredendo nella definizione degli attributi in base ai quali le differenze tra un colore e l'altro possono razionalmente venire evidenziate, tale classificazione ha potuto svilupparsi organicamente.

### 6.2 I tre parametri del colore

Gli attributi riferiti alle variazioni di ciò che denominiamo colore sono tre: la tonalità, la chiarezza (o luminosità) e la saturazione. In questi attributi fenomenici, presenti in ogni impressione cromatica, trovano corrispondenza le rispettive dimensioni fisiche: la lunghezza d'onda della radiazione luminosa nelle variazioni di intensità o ampiezza, e di composizione spettrale.

La *tonalità* è la caratteristica primaria che rende differente un colore dall'altro (il giallo dal verde, il rosso dal blu, il blu dal giallo ecc.). Covariante della tonalità è la lunghezza d'onda dominante dello spettro visibile.

La *chiarezza* (o *luminosità*) si riferisce al grado di chiarezza che una tonalità può possedere. Per esempio, due blu, corrispondenti alla stessa tonalità, perciò alla medesima lunghezza d'onda, possono tuttavia essere tra di loro più o meno chiari, secondo un carattere equivalente alla loro rispettiva distanza dal bianco o dal nero. Per i colori provenienti direttamente da una fonte luminosa, la chiarezza rappresenta la quantità di luce bianca che, riflessa da un corpo, agisce su di una determinata tonalità. Invece, per i colori di superficie dei corpi o dei pigmenti, la chiarezza di una tonalità è in rapporto all'aggiunta di bianco o di nero, quindi alla scala dei grigi. La chiarezza ha come covariante fisica l'intensità o ampiezza dell'onda luminosa.

La *saturazione* distingue la purezza di una tonalità, che sarà tanto più satura quanto più priva di bianco o di nero. Il grado di saturazione può quindi definirsi come la distanza di un colore dal grigio della sua stessa luminosità. Covariante fisica della saturazione è la purezza della composizione spettrale, che è massima nelle tonalità *monocromatiche*, cioè provenienti da un'unica lunghezza d'onda. Nella riflessione dalla superficie dei corpi (sintesi sottrattiva), il caso di una radiazione monocromatica è eccezionale: la banda di frequenze, essendo normalmente più o meno ampia, dà luogo a interferenze tra tonalità diverse. Quindi, la saturazione è inversamente proporzionale all'ampiezza di tale gamma. Gli stessi filtri colorati, frapposti in trasparenza al passaggio di una fonte luminosa bianca, sottraggono saturazione.

### 6.3 I differenti ordinamenti cromatici

I primi diagrammi visivi dei colori, apparsi con figure geometriche piane, non potevano schematizzare che l'intensità della tonalità (inizialmente soltanto di alcune) nel confronto di luminosità con il bianco e il nero: basti pensare agli archi di Franciscus Aguilonius (1613), ai semicerchi di Athanasius Kircher (1641), allo stesso cerchio di Newton (1704), alla ruota di Moses Harris (1766). L'ordinamento cromatico comincia ad assumere una maggiore omogeneità quando per ogni tonalità viene considerata la gamma della luminosità chiaroscurale. Ed è con l'aggiunta della scala dei grigi, nell'Ottocento, che il diagramma cromatico, richiedendo un ordinamento tridimensionale, abbandona la figura piana. Sfere, semisfere, piramidi, coni, semiconi, esaedri,

secondo le diverse interpretazioni rappresentative, hanno dato luogo ad altrettanti prototipi, in cui gli attributi di tonalità, di chiarezza e di saturazione hanno trovato una razionale articolazione geometrica con un più o meno ampio numero di campioni di colore. Campioni che nelle elaborazioni più recenti sono funzionalmente distinti da sigle alfabetiche o numeriche per ogni variante.

Tra le decine di differenti modelli finora apparsi, un'esemplificazione può rilevarsi da quelli più noti di Ostwald e di Munsell. Differente, per ordinamento e finalità, è invece il modello CIE, che, privo di campionature, svolge la funzione di colorimetro mediante un sistema di luci colorate, che perciò danno luogo a un processo di sintesi additiva.

### 6.3.1 Il doppio cono di Ostwald (1917)

Il solido di Friedrich Wilhelm Ostwald (1853-1932) è costituito da una doppia piramide, sulla cui circonferenza sono distribuite ventiquattro tonalità monocromatiche, ordinate secondo rapporti diametralmente opposti di complementarità. La scala della luminosità (o chiarezza), posta nell'asse verticale dei grigi che vanno dal bianco al nero, postula un indice di riflessione dell'incidenza della radiazione luminosa che va dall'89,1% per una superficie bianca, al 3,6% per una nera. Il grado di saturazione è in rapporto scalare di ogni tonalità con otto gradazioni dell'asse del grigio.

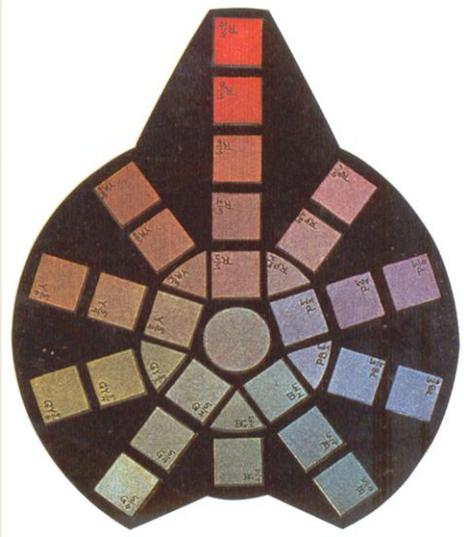
Diffuso dal 1942 come *Color Armony Manual* in cartelle, una per ogni tonalità monocromatica, esso dispone i campioni a triangolo equilatero, con un lato verticale che rappresenta la scala del grigio contrassegnata da una serie di lettere alfabetiche da A (bianco) a P (nero). Ogni tonalità monocromatica, situata al vertice esterno, mostra i mutamenti derivanti dall'aggiunta del bianco o del nero (secondo la scala del grigio) lungo linee trasversali parallele nei due sensi: del bianco verso l'alto e del nero verso il basso. Del totale di 949 campioni mobili, con superfici lucide e opache, ognuno contrassegnato da un numero e da una sigla per la luminosità e la saturazione, i campioni delle diverse luminosità, se situati nello stesso punto di ogni singola cartella, rappresentano l'uguale gradazione di bianco o di nero presente in ogni tonalità. La complementarità di ogni colore è tra le prime e le seconde dodici cartelle delle ventiquattro tonalità monocromatiche totali.

### 6.3.2 Il solido di Munsell (1915)

Apparso come "atlante cromatico", il diagramma di Albert Henry Munsell (1858-1918) consiste in un solido irregolare (tav. 4) comprendente:

- a) venti tonalità monocromatiche disposte secondo l'ordine spettrale sulla circonferenza dell'asse orizzontale;
- b) la scala della luminosità nell'asse verticale di nove grigi, dal bianco in alto al nero in basso, nelle proporzioni, per un passaggio visivamente graduale, del 2% di bianco (e 98% di nero) per il grigio più scuro, del 18% di bianco per il grigio di mezzo (non quindi del 50%), del 78% di bianco per il grigio più chiaro;
- c) il grado di saturazione nel raggio tra la scala dei grigi e l'anello delle tonalità.

Divulgato dal 1929 come *Munsell Book of Color* in due volumi e in un'edizione tascabile, ogni volume comprende venti doppie cartelle: una per ciascuna delle quaranta tonalità, con i gradi di luminosità e di saturazione. I 1490 campioni di colore, con superficie lucida e opaca, che compongono l'edizione del 1976, sono distinti da un numero, dall'iniziale della tonalità (denominata *Hue*), dall'indicazione numerica della luminosità (*Value*) e dalla saturazione (*Croma*).



Tav. 4

Una pagina dell'atlante cromatico di Albert Munsell, che cerca di mappare tutto lo spazio colorato tramite tasselli separati da passaggi percettivamente eguali.

### 6.3.3 I limiti degli ordinamenti cromatici

I vari ordinamenti, evidenziando l'aspetto oggettivo degli sviluppi e dei rapporti del mondo cromatico, si pongono come attraenti esempi di logica visiva, ma mostrano, tuttavia, due limitazioni. La prima proviene dal non essere emerso, tra i molteplici modelli, un codice generalizzato, che, in non poche opportunità, avrebbe permesso razionali riferimenti distintivi di ogni colore, in luogo di denominazioni generiche, quando non addirittura ambigue (blu elettrico, giallo sole, grigio acciaio). La seconda, decisa limitazione risiede nel fatto che i colori di ogni ordinamento, rivelandosi non come attributi di qualcosa, ma come pure sensazioni in sé, sono colori ideali, esemplari soltanto all'interno della logica del loro ordinamento (cfr. 6.4). In altri contesti, con dimensioni formali e accostamenti diversi, gli stessi colori sono destinati ad assumere un aspetto e un significato differenti secondo le particolarità di ogni altra situazione visiva. Differenti, come peraltro è stato ribadito dalle esemplificazioni dei "contrastanti simultanei" di Michel Chevreul (1860) e dagli studi sui vari "modi di apparenza dei colori" di David Katz (1911).

### 6.3.4 Il triangolo o cuneo CIE

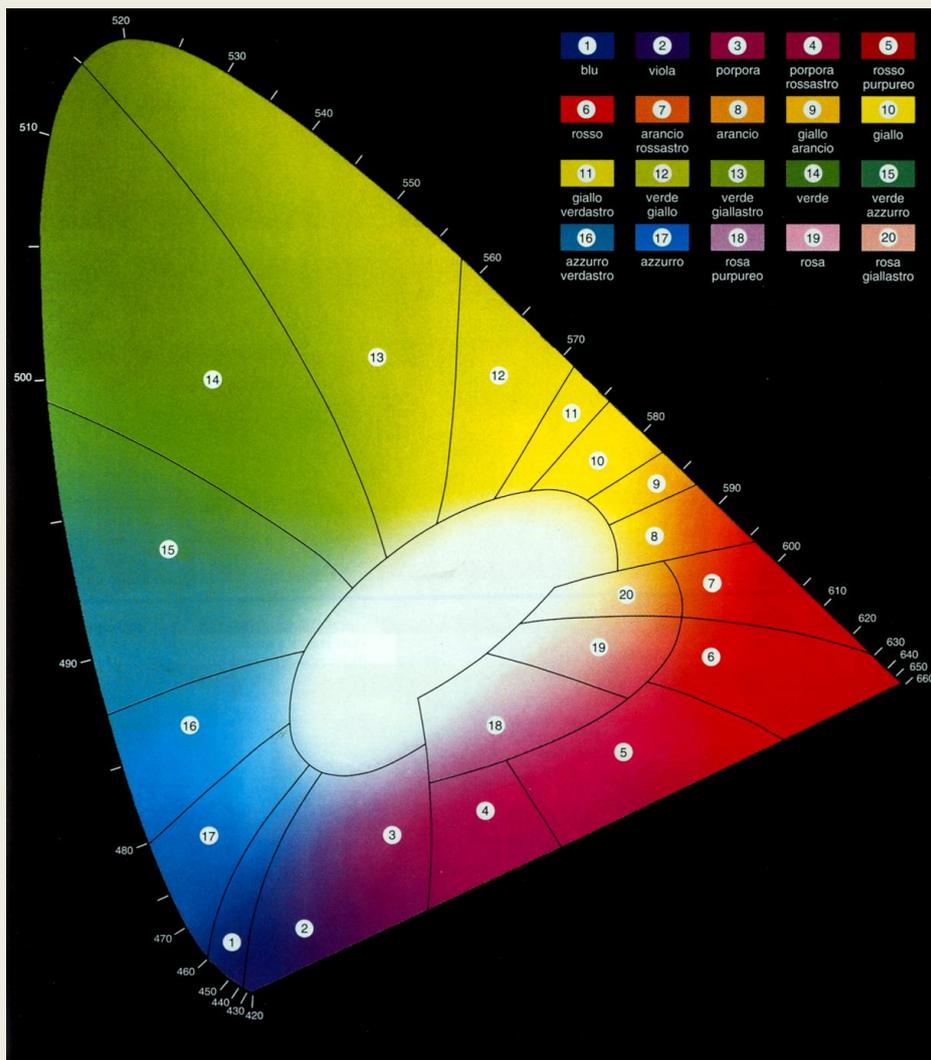
Elaborato nel 1931 e riesaminato nel 1953 dalla "Commission Internationale d'Eclairage", questo sistema, che richiama il triangolo dei colori di sintesi additiva di Maxwell (1860), è sorto per permettere di stabilire, nel modo più preciso possibile, le caratteristiche cromatiche di campioni di prodotti industriali.

Per poter comprendere tutti i colori, e non solo quelli dello spettro solare, il sistema CIE ha come base le coordinate di tre sorgenti luminose ipersature corrispondenti ai colori fondamentali rosso, verde e blu (detti rispettivamente X, Y e Z) con valenze virtualmente primarie, ossia provenienti da lunghezze d'onda scelte in modo da ottenere dalla loro miscela anche il magenta (o porpora) aggiungendo le radiazioni delle due estremità spettrali. Rappresentato in piano, il sistema CIE dà luogo a un quasi-triangolo curvilineo (da cui il nome), derivato dall'andamento delle lunghezze d'onda (tav. 5).

Le onde più corte (violetto, blu) giungono al vertice (verde) congiungendosi con le onde più lunghe (giallo, rosso) prima, e poi in diagonale (rosso, violetto) dando luogo alla linea magenta. All'esterno del perimetro triangolare sono le massime saturazioni, che, degradando, giungono verso

il centro, cioè al punto di massima luminosità del bianco proveniente dalla somma dei tre colori primari.

Per quanto normalmente rappresentato in piano, il triangolo CIE, dovendo considerare i valori di luminosità (convenzionalmente stabiliti con standard medi, così come altrettanto convenzionale è la percezione cromatica di un “osservatore standard”), in realtà è un solido. E trova la sua realizzazione tridimensionale in una specie di cuneo, al cui interno sono i piani delle minime e massime luminosità. Mediante un sistema di coordinate riguardanti le lunghezze d’onda sul tragitto bilaterale a curva del triangolo, e loro decimali in linee rette di contorno, ogni campione esaminato trova – con metodo matematico – il confronto in quantità decimali di ogni colore e del suo complementare nelle tre variabili fisiche della lunghezza d’onda dominante, dell’intensità (espressa in termini di brillantezza) e della purezza spettrale.



Tav. 5

Il diagramma cromatico CIE. Le lunghezze d’onda  $\lambda$  lungo la linea spettrale sono espresse in nanometri.

### 6.3.5 Il sistema NCS

Il sistema NCS (Natural Color System) è stato proposto, sul finire degli anni sessanta, dagli svedesi Anders Hård e Lars Sivik. Il sistema è fondato sulla teoria degli opposti elaborata dal fisiologo e psicologo tedesco Ewald Hering: gli opposti bianco (W) - nero (S), giallo (Y) - blu (B), rosso (R) - verde (G).

Il modello dello spazio cromatico NCS ha la forma di un doppio cono avente per base comune il cerchio cromatico, e per asse comune la scala dei grigi compresa tra il vertice bianco e il vertice nero. Il cerchio cromatico è ripartito in quattro quadranti definiti dai quattro colori ritenuti psicologicamente fondamentali: i quadranti giallo-rosso, rosso-blu, blu-verde, verde-giallo.

Ogni quadrante è poi suddiviso in nove parti o colori che vanno, con regolare progressione, da un primario al successivo primario per un totale di quaranta colori. Ciascuno dei quaranta colori è contrassegnato da una sigla che ne indica, in percentuale, il grado di somiglianza rispetto ai due colori fondamentali a lui più prossimi (fig. 25). I colori, per esempio, che vanno dal giallo (Y) al rosso (R) sono denotati con le sigle:

$$-Y, -Y10R, +Y20R, -Y30R, \dots, -Y90R, -R$$

Così, la notazione  $-Y70R$  denota un colore costituito, percettivamente, dal 70% di rosso e, sottinteso, dal 30% di giallo, quanto cioè manca da 70 per andare a 100, al rosso pieno. Deve essere sottolineato il termine “percettivamente”, dal momento che le percentuali non indicano la quantità materiale di rosso (70) e di giallo (30) presenti nel campione, ma la somiglianza percettiva che il campione ha con il rosso e con il giallo.

Nella pratica, tra il giallo fondamentale e il rosso fondamentale si dispongono nove campioni di colore in progressione percettiva equidistante, e solo successivamente si assegna a ciascuno di loro un valore, di dieci in dieci, compreso tra zero e cento. L'intero solido viene poi verticalmente sezionato con piani passanti per ciascuno dei quaranta colori e per il comune asse dei grigi; si ottengono, in questo modo, i quaranta triangoli equilateri che costituiscono le quaranta pagine dell'atlante cromatico in uso. Ogni triangolo monocromatico comprende un certo numero di campioni che variano tra loro, in modo progressivamente costante, per tenore di bianco, di nero, di cromaticità (fig. 26).

Tutti i colori che nel triangolo si trovano sulla stessa retta parallela all'asse dei grigi hanno lo stesso tenore di cromaticità; tutti i colori che si trovano sulla stessa retta parallela al lato del triangolo che dal bianco va al colore saturo hanno lo stesso tenore di nero; tutti i colori che si trovano sulla stessa retta parallela che dal nero va al colore saturo hanno lo stesso tenore di bianco. A questo punto, ciascun campione di colore è compiutamente descritto e ubicato nello spazio cromatico NCS.

Bisogna tener presente che esistono vari precedenti storici di ordinamenti cromatici basati su sei colori ritenuti fondamentali: il sistema di Tryggve Johansson e l'atlante cromatico di Sven Hesselgren, predecessori del sistema NCS, il sistema DIN, il doppio cono di Ostwald e il sistema di Hermann Ebbinghaus, fino a risalire a Leonardo da Vinci e forse ad Aristotele e Teofrasto.

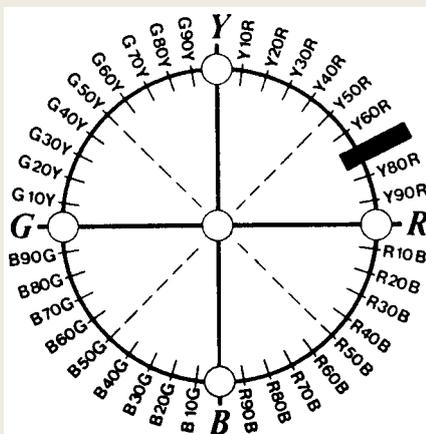


Fig. 25

Il cerchio cromatico secondo il sistema NCS (Y = giallo, R = rosso, B = blu, G = verde).

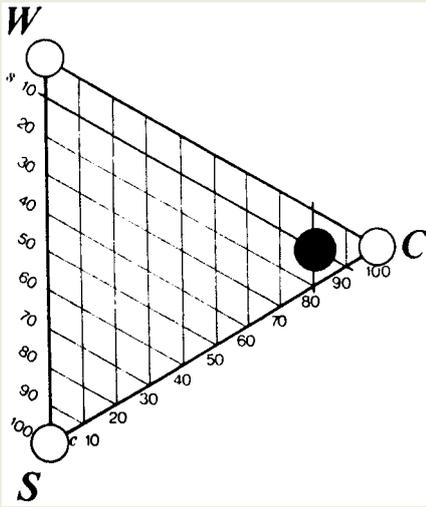


Fig. 26  
Il triangolo dei colori secondo il sistema NCS (W = bianco puro, C = colore puro qualunque, S = nero puro).

## 6.4 I vari aspetti del colore

Gli attributi di tonalità, chiarezza e saturazione (cfr. 6.2), se permettono una definizione della qualità del colore, consentendone una razionale classificazione, non prevedono però le molteplici varianti d'apparenza. Si rivelano, quindi, attributi parziali, in quanto l'impressione cromatica corrisponde agli stimoli della radiazione luminosa in modo relativo, per tutta una serie di fattori. A iniziare dagli eventi naturali riguardanti le modalità di propagazione della radiazione luminosa (cfr. 3.3), per cui sono differenti tra loro:

- a) i colori di sintesi additiva e sottrattiva (cfr. 3.4);
- b) i colori di superficie (o epifanici) e i colori atmosferici dei vapori, della nebbia, del fumo, i quali, per la loro configurazione indefinita e il loro aspetto inconsistente, vengono denominati diafanici o filmari;
- c) i colori riflessi dalle superfici lucide e diffusi dalle superfici opache, quindi differenti secondo la *texture* dei vari materiali.

A condizionare l'impressione cromatica, indipendentemente dal livello di stimolazione, concorrono successivamente altri fattori tipicamente fenomenici, le cui modalità, descritte dalla psicologia sperimentale, vengono qui riassunte.

### 6.4.1 La costanza percettiva

Costanza percettiva è l'attributo che riguarda il divario tra l'incessante mutamento dell'aspetto esterno delle cose e il risultato percettivo. Contraddicendo le leggi prospettiche dell'ottica geometrica e quindi della stimolazione retinica, consideriamo uguale a se stessa la dimensione di una cosa osservata a differenti distanze, riconosciamo un insieme pur da angolazioni parziali, o completiamo un'immagine appena accennata. Per quanto riguarda la costanza del colore, essa si manifesta con la tendenza a ritenere invariato l'aspetto cromatico di una superficie alla luce diurna, malgrado non solamente le alterazioni provocate dalle ombre, ma anche i mutamenti dell'intensità e della composizione spettrale della radiazione incidente. È il caso della pagina di un libro, che conserva la caratteristica cromatica di nero su bianco anche se osservata alla luce rossastra di una candela. Secondo i principi dell'empirismo, sarebbe l'esperienza che ci rende capaci di separare il colore dalle condizioni di illuminazione.

### 6.4.2 Gli effetti di contrasto

Il contrasto, o rapporto tra colori, dal quale deriva la possibilità di distinguere visivamente i diversi aspetti delle cose, presuppone il confronto tra la diversità di una superficie cromatica e l'altra, tra una dimensione spaziale e l'altra. Due superfici di colore identico (un testo stampato in nero opaco su carta nera opaca non è leggibile) non permettono confronti. Nella norma, infatti, nessun colore (se non artificialmente) ci appare mai isolato, poiché la superficie di un corpo, per venire identificata, deve essere limitata da altre differenti superfici cromatiche.

### 6.4.3 Il contrasto di chiarezza

Il contrasto di chiarezza, che ha gli opposti estremi nella prominentezza del bianco e nella rientranza del nero, fa sì che il colore di qualsiasi superficie, se contornata da una superficie più chiara, appaia più scuro; se invece contornata da una superficie più scura, appaia più chiaro<sup>24</sup>.

### 6.4.4 Il contrasto simultaneo

Le coppie di colori complementari rosso-verde, giallo-violetto, blu-arancione e colori intermedi, oltre a una componente di luminosità delle coppie giallo-violetto e blu-arancione, evidenziano l'antagonistico contrasto tonale con la massima, reciproca esaltazione se a immediato contatto e nelle uguali dimensioni. Tra superfici invece non equivalenti (essendo il contrasto simultaneo in rapporto alla differente estensione delle rispettive aree), la superficie maggiore si rivela inducente nei confronti di quella minore, che, subendo l'influenza, risulta indotta. Per esempio, un quadratino grigio (tonalità neutra), rispettivamente su sfondi giallo, verde e violetto, assume il riflesso complementare di ogni sfondo, e cioè il violetto dal giallo, il rosso dal verde, il giallo dal violetto.

### 6.4.5 L'eguagliamento cromatico o di chiarezza

L'eguagliamento cromatico o di chiarezza si manifesta con l'inverso ruolo delle dimensioni delle superfici provocanti il precedente effetto di contrasto. Si manifesta cioè quando, delle due superfici a immediato contatto, la superficie di maggior estensione non è più inducente, ma si rivela indotta da quella minore, la quale, invadendo l'area totale con linee, segmenti o elementi comunque spezzati, la frammenta (Musatti). Una superficie violetto, per esempio, per l'influenza degli elementi rossi accentua il rosso contenuto nel violetto, mentre con elementi verdi che neutralizzano la componente di rosso il violetto è tendente al blu.

### 6.4.6 Il contrasto tra colori "caldi" e "freddi"

Il contrasto tra i colori cosiddetti caldi e freddi (perché evocanti opposte condizioni termiche) riguarda due triadi di colori complementari, rispettivamente componenti la prima e la seconda metà dello spettro visivo. Sono intesi come colori caldi il rosso (non il magenta, privo di giallo), l'arancione e il giallo; colori freddi il verde (tendente al blu), il blu e il violetto. In una dinamica cromatica di massima, a parità di saturazione e chiarezza le tonalità calde tendono ad apparire sporgenti, le fredde rientranti.

---

<sup>24</sup> Una particolarità del contrasto di chiarezza è emersa da un recente esperimento così condotto: a) fotografate due situazioni, evidenzianti come l'identico campione di grigio medio (3 × 3 cm) appaia più scuro su sfondo bianco (9 × 9 cm), e più chiaro su sfondo nero (9 × 9 cm); b) ritagliate dalla fotografia le due zone di grigio dai rispettivi sfondi, e separatamente sottoposte all'esame di un analizzatore di colore Scanner; c) risultato: permanenza di differente chiarezza, subita dal grigio secondo le seguenti percentuali ("valori punto") della loro composizione in colori base (ossia grigio già su sfondo bianco): giallo 69, magenta 67, cyan 59, nero 20. Grigio già su sfondo nero: giallo 59, magenta 57, cyan 49, nero 15.

### **6.4.7 Il gradiente marginale**

A modificare l'aspetto del colore non concorre soltanto la maggiore o minore estensione della forma, ma anche la "struttura dei suoi margini". A parità di stimolazioni fisiche, mentre al margine netto di una superficie corrisponde un colore compatto (lo stesso dei colori epifanici degli oggetti), a un margine dentellato o sfumato (Kanizsa) corrisponde invece un diverso colore, il quale altera in modo coercitivo l'aspetto di tutta l'area interna, rendendola soffice, vellutata, pastosa, con un richiamo ai colori diafanici o filmari.

## **6.5 I significati e l'influenza del colore**

Che il colore, oltre a un'influenza biologica (cfr. 3.5), ne posseda anche una psicologica, dalla quale provengono sentimenti o idee, è da sempre confermato dall'esperienza. Meno evidente è la specifica corrispondenza tra colore ed effetto, poiché se ogni percezione dev'essere filtrata dal cervello, anche l'azione del colore non può essere che soggettiva.

I motivi per i quali il colore non è tuttavia una variabile indipendente sono i più disparati. Motivi non solo di derivazione fisiologica, dovuti cioè al processo sinergico dell'attività cerebrale con la simultanea connessione tra stimoli visivi e stimoli indiretti apparentemente estranei all'atto del vedere, come quelli acustici, termici, olfattivi e persino del movimento; ma anche di altra natura, come l'inconsistente modo di apparenza del colore (cfr. 6.4), la fitta serie di elementi personali (tra cui l'abitudine e i tempi di adattamento e percezione), il significato delle cose che il colore distingue, e non ultime le particolarità univoche d'insieme di ogni singola situazione. Particolarità, queste, anch'esse contraddicenti la generalizzazione degli effetti cromatici, se, per esempio, lo stereotipo che attribuisce un'azione rilassante al verde ed eccitante al rosso, pur nel parallelo oggettivo della rispettiva minore e maggiore stimolazione retinica, è destinato a incontrare cause che possono contraddirlo. Sia perché un campo visivo omogeneamente rosso o verde può essere solo ipotizzato, sia per le condizioni in cui ognuno di questi due colori si evidenzia: in una gara sportiva, il verde di un'autovettura in corsa non pare possa rivelarsi motivo di distensione, così come il rosso di un pomodoro fonte di eccitamento.

I differenti fattori direttamente legati alla parvenza dei colori non rappresentano le sole cause dei significati cromatici; equivalenti sono anche gli attributi ideali che simbolicamente riflettono nei colori brani di esperienze vissute in un contesto di credenze diffuse. E poiché le possibilità interpretative offerte dalle allusioni simboliche sono infinite, un minor groviglio emblematico pare nella distinzione riassuntiva delle relazioni o cause di fondo, che possono definirsi reali se l'effetto interpretativo è visivamente imposto dall'aspetto della realtà esterna; irreali se indotte da entità immaginarie e supposte, come per esempio, nell'antichità, le manifestazioni d'ira o di benevolenza attribuite agli dei.

### **6.5.1 I riferimenti reali**

All'eterogeneità degli elementi personali che rendono fluttuanti i significati attribuiti ai colori non sono estranei gli "antefatti" affioranti più o meno consciamente, ossia le esperienze recenti o passate, nonché le impronte ataviche della parvenza esterna. Ed essendo le sostanze coloranti prodotte dall'uomo nient'altro che la riproduzione dei colori della natura, le impressioni che da tali colori "artificiali" provengono tenderebbero istintivamente a evocare l'ambiente di cui il colore è la specifica essenza naturale, originando con la radiazione luminosa dalle caratteristiche fisico-chimiche di ogni luogo.

L'attribuzione di colori "freddi" al verde, al blu, al violetto, e di colori "caldi" al giallo, all'arancione e al rosso, nel riferimento alle antitetiche condizioni calorifiche, implicitamente richiamerebbe opposte influenze percettive, di rilassamento e di reattività. Rilassamento dai colori

freddi, perché preferibilmente propensi alla rievocazione idilliaca di ambienti spazialmente aerosi, del cielo incorporeo riflesso nelle distese d'acqua, oppure dei prati e dei boschi. Reattività dai colori caldi, favorevoli a ridestare situazioni di cui sono emblemi ancestrali il Sole splendente, il fuoco minaccioso e il sangue, emblema di vita. Altri riferimenti istintivi vivrebbero nei due estremi di oscurità e chiarore, figurandosi nel nero il buio della notte, che, ostacolando ogni attività, suscita apprensioni e timori; e nel bianco la luminosità del giorno, che infonde sicurezza e decisione.

### **6.5.2 I riferimenti ideali**

Le simbologie che, in ogni tempo e latitudine, oltre ai simulacri e ai numeri, hanno fatto un massiccio ricorso ai colori per distinguere eventi mitici, rituali magici e sacrificali, posizioni sociali e in genere credenze superstiziose, hanno stabilito convenzioni mutevoli secondo le varie tappe dell'evoluzione umana. Evoluzione presente anche nello sviluppo delle materie coloranti, che al colore, usato per esigenze decorative o emblematiche, deve le tracce del suo percorso.

Dal paleolitico alle varie civiltà antiche, come l'egiziana, l'assiro-babilonese, la fenicia, l'ebraica, la greca, la romana, sino alla medioevale e moderna, tutte hanno sottoposto lo stesso colore alle proprie particolari interpretazioni, con risultati non di rado contrastanti. E travisando e confondendo gli stessi riferimenti reali, si sono piuttosto tramandati i rituali metafisici: che la razionalità illuminista, nel Settecento, cancella con una mano di bianco, finendo, peraltro, per emblemizzare uno stile, il neoclassico.

## **Conclusione**

A conclusione delle molteplici variazioni sull'apparenza del colore – variazioni presenti in ogni situazione visiva, anche se i fattori e le modalità che le provocano sfuggono alla percezione ordinaria –, si evidenzia un principio. Il principio secondo cui, così come ogni numero è dissimile dagli altri, ciascun colore è dissimile da situazione a situazione. A tal punto che persino due zone cromatiche eguali, spazialmente differenziate in un unico contesto, subiscono l'influenza della discordante dislocazione.

## Capitolo 7 - La logica visiva

### 7.1 Il colore e la forma

L'equazione colore-forma è scindibile solo artificialmente, poiché l'aspetto di un colore è conseguente alle particolarità della forma che lo racchiude, così come la forma al colore che la delimita. Il colore non è, quindi, il vestito della forma, come implicitamente ammette la priorità del ricorrente stereotipo "forma-colore", sottintendendo la forma come elemento percettivo primario e il colore come accessorio. Questa allusione non tiene conto che:

- a) senza una fonte luminosa nessuna forma è percepibile visivamente;
- b) la distinzione visiva della forma, cioè dell'aspetto esteriore dei corpi, è dovuta all'azione della luce, perciò al colore e alle ombre che ne derivano, e non viceversa;
- c) l'apriorismo della forma genera un'esasperazione concettuale fine a se stessa. Pur indissolubilmente uniti percettivamente, il colore e la forma trovano, tuttavia, una disparità nella loro natura, che ha riflessi di fondo sulla problematica visiva.

Il colore, da cui con la luce deriva il primo impatto percettivo, è un elemento la cui radice fisica, esattamente misurabile, non solo è oggettiva, ma persino coercitiva: alle sue incidenze biologiche il vedente non può sottrarsi. La forma, di tutt'altre caratteristiche oggettive, tra cui emergono le "linee di forza fisica" (per esempio, i "campi di forza" nelle ortogonali) di determinate componenti (essenziali nel calcolo delle costruzioni non ideali), sotto il profilo visivo differisce dall'immediatezza del colore. La forma, per essere identificata, richiede, come la parola nei confronti dell'immagine, una "decodificazione", che in certo senso richiama il riconoscimento degli oggetti mediante il tatto. Visivamente, l'individuazione della forma è dedotta, convenzionale, emblematica, tanto da essere variamente postulata: come elemento geneticamente trasmesso, dato acquisito dall'esperienza, oppure fattore culturale o categoria innata.

Nella norma, nessuna situazione visiva appare quale macchia cromatica omogenea, bensì come un insieme spaziale di differenziate zone cromatiche. Da tale discordanza nasce la distinzione della forma, che rende possibile il riconoscimento delle cose. La forma proviene, quindi, dalla delimitazione del colore, ossia dalle caratteristiche morfologiche delle differenti zone cromatiche di ogni campo visivo. Persino nell'ipotesi di una situazione cromaticamente del tutto omogenea, per esempio un locale con suppellettili di identico colore, le dimensioni spaziali e le caratteristiche degli oggetti troverebbero – come nelle fotografie in bianco e nero – evidenza dai riflessi delle ombre.

Un'eloquente dimostrazione del rapporto colore-forma, dal quale dipende l'identità delle cose, può essere offerta dalla costellazione dell'Orsa Maggiore, costituita, com'è noto in tutti i tempi e sotto ogni latitudine, dall'unificazione delle sette luci stellari della sua composizione. Unificazione che, pur non potendosi realizzare che in modo univoco, secondo il principio gestaltico dell'organizzazione visiva, è stata variamente interpretata secondo le differenti culture. Fu infatti *pentola* per i Cinesi antichi, e in epoca posteriore per i Greci; *cinghiale* per i druidi e *orso* per i Greci; fu *septem triones* (cioè sette buoi pascolanti nel cielo) per i Romani, e *funerale* (dal trapezio delle quattro stelle la bara, dalle tre stelle di coda il seguito) per gli antichi Arabi; infine, per noi è il *grande carro* o il *carro con timone*<sup>25</sup>.

---

<sup>25</sup> Cfr. F. POTENZA, *Astronomia oggi*, Longanesi, Milano 1976.

## 7.2 Il bianco, il nero, il grigio

### 7.2.1 Il bianco

Il bianco assoluto è del tutto eccezionale. Non proviene nemmeno dalle radiazioni solari, la fonte luminosa più intensa, a causa delle impurità (fumi, umidità, polvere ecc.) presenti nell'atmosfera. Sostanze che, agendo da filtro, frantumano l'unità spettrale alterandone l'originaria purezza. Oltre alle interferenze subite dalla radiazione solare incidente, altre se ne aggiungono dalla riflessione dei corpi, per cui l'omogeneità di tutte le lunghezze d'onda corrispondenti al bianco è soltanto ipotizzabile, come, nella norma, la riflessione di un'unica radiazione monocromatica.

Per la sua relatività, il bianco delle superfici può quindi venire indicato soltanto con standard di paragone, e può definirsi bianco quello di un corpo dotato di riflessione superiore al 70% per tutte le lunghezze d'onda. Nella pratica di laboratorio, il miglior campione di bianco è offerto dall'ossido di magnesio, per la sua riflessione del 90-95% circa. Il bianco che in genere percepiamo, in effetti, è il grigio pluricromatico di maggior chiarezza.

### 7.2.2 Il nero

Se dall'emissione di tutte le frequenze spettrali proviene l'impressione di bianco, dalla loro inibizione, equivalente all'assenza di stimolazioni ottiche, il contatto visivo con l'esterno è impedito.

Il "nero assoluto" è il nulla. Può essere soltanto ipotizzato, poiché anche al buio e a occhi chiusi un osservatore non "vede" l'ipotetico nero, ma un grigio diafanico, più o meno omogeneo, di natura endogena.

L'impressione di nero, che percepiamo come sinonimo della massima oscurità, è pur sempre il prodotto della minima riflessione della radiazione incidente su una superficie. Anche la definizione di nero, pertanto, è relativa, sia per la disparità delle tracce di lunghezze d'onda emesse da una fonte luminosa ma non totalmente assorbite da un corpo (disparità che distingue un nero dall'altro), sia per la caratteristica di scurezza, tanto più accentuata quanto più contrastante con la luminosità. "Un nero veramente profondo" – secondo lo psicologo David Katz – "non si produce escludendo del tutto la luce, ma esponendo una ristretta zona debolmente illuminata della nostra retina a un contrasto molto forte con le zone circostanti".

Altra teoria sul nero ideale è la cavità di Kirchhoff, il fisico al quale si deve anche la scoperta della proprietà dei corpi neri di emettere le radiazioni assorbite (cfr. 3.8). Questa cavità consiste in un contenitore, un barattolo cilindrico, con un foro praticato alla sua estremità per permettere alla radiazione luminosa di penetrare all'interno. Qualsiasi radiazione incidente, diffondendosi nella cavità, viene eliminata dalle riflessioni sulle pareti, che, non potendo fuoriuscire, fanno sì che il foro d'entrata assuma l'aspetto del nero oggettivamente più intenso.

Tra gli elementi d'uso normale che si distinguono per il massimo assorbimento della radiazione luminosa, figurano il velluto di seta nera e il nerofumo, con una riflessione di circa il 3%. Il nero delle superfici che vediamo corrisponde, quindi, al più oscuro grigio pluricromatico. E, per la semplice ragione che lo percepiamo, pare un colore come tutti gli altri.

### 7.2.3 Il grigio

A causa dei suoi ascendenti bianco-nero, anche il grigio è una tonalità cromatica relativa. Da un pigmento bianco con tracce giallastre, miscelato con un pigmento nero con tracce bluastre, deriverà un grigio verdastro. Quindi il grigio, per poter essere indice di confronto di luminosità con altri colori (come negli ordinamenti cromatici), presuppone la derivazione da un bianco e da un nero il più possibile neutri, ossia senza tracce di altre tonalità. Neutralità indispensabile soprattutto quando,

con i due estremi cromatici miscelati con le tonalità spettrali quali mediatori di chiarezze, si vogliono evitare alterazioni.

Denominare il grigio, il bianco e il nero “colori acromatici” pare non soltanto una contraddizione in termini, ma anche un equivoco, che scambia la semplice distinzione di quantità (luminosità più o meno intensa) con la fondamentale qualità, cioè con l’elemento di distinzione tra tutte le impressioni cromatiche percepibili. Nella pratica visiva, quindi, il grigio, il bianco e il nero non possono essere che colori, né più né meno dei colori propriamente detti. E ciò indipendentemente dal fatto che, come altri colori (il magenta, il marrone e tutti gli altri colori pluricromatici), sono assenti dallo spettro. Volendo distinguerli dalle tonalità spettrali, considerata la loro funzione chiaroscurale (chiarezza o luminosità) quale parametro cromatico, sarebbero semmai colori di rapporto luminoso.

### 7.3 L’univocità di ogni tramite informativo

Il principio secondo cui ogni situazione visiva è a sé stante è sottinteso anche nella diversità dei mezzi informativi, come l’immagine e la parola. La disparità tra questi due tramiti si manifesta non solo nell’atto percettivo, ma anche nei processi mnemonici, con il risultato che il ricordo semantico, derivante dall’avvenuta trasformazione delle parole in idee (le parole in sé difficilmente si ricordano), si mostra meno agevole del ricordo iconografico, equivalente del deposito diretto dell’immagine percepita.

L’effetto di questa disparità di tramiti è evidenziato dal trasferimento della stessa informazione da un mezzo all’altro (un’immagine descritta a parole o viceversa), informazione che anche con l’*adattamento* più obiettivo non può rivelarsi che di identità relativa. Relativa quando la trasposizione non è addirittura impossibile o contraddittoria: impossibile come, per esempio, la traduzione in immagini di questa stessa proposizione, che paradossalmente ne nega la possibilità; contraddittoria quando un’esposizione verbale o un’immagine, non essendo perentorie, possono stimolare interpretazioni individuali.

Un esempio di possibile discordanza tra enunciato letterario e immagine visiva è offerto, nella sua semplicità dimostrativa, dalla lontana simbologia degli eleati. Per questa scuola filosofica del VI secolo a.C. il concetto dell’*essere* quale verità assoluta, immutabile, eterna, era idealmente raffigurato da un disco nero, contrapposto al *non essere* della verità, cioè alle apparenze mutevoli dei sensi, ravvisate in un disco bianco evidentemente inteso come emblema del vuoto, del nulla. Il disco nero, per la sua dinamica centripeta, “buca” lo sfondo e, arretrando, corrisponde più verosimilmente al *non essere*. Il disco bianco, per effetto del rientrante nero che lo circonda, oltre ad apparire “pieno” di un bianco luminoso e compatto, anche a causa della dinamica centrifuga di tale tonalità, non solo si pone in primo piano, ma si mostra anche di dimensioni più ampie rispetto al disco nero. Per i diversi significati positivi assunti, il disco bianco sembrerebbe apparentemente riferibile, di preferenza, all’idea dell’*essere*.

### 7.4 Alcuni fenomeni atipici nella lettura

Tra le “anomalie” visive che spesso, per la loro indeterminatezza, sfuggono alla normale osservazione delle cose, alcune si mimetizzano anche nell’impegno della lettura, trovando origine nelle caratteristiche della pagina scritta, cioè nel contrasto tra le figure e lo sfondo. Come a dire tra i simboli grafici, i quali assumono la funzione di *figura* per i loro definiti significati che si collocano davanti alla persona che li esamina, e lo *sfondo*, ritenuto tale in quanto spazio indefinito e perlopiù privo di forma.

Composto da tali elementi, di per sé di nessun significato letterale, ogni stampato, se analizzato quale campo visivo, evidenzia alcune particolarità atipiche. Per esempio, posto che la

percezione visiva è in funzione della luminosità, che nel bianco trova la massima stimolazione e nel nero la pressoché scomparsa, nella maggior parte degli stampati con simboli grafici impressi in nero su bianco (il classico sinonimo di scritto) l'impatto percettivo non può essere che in funzione dello sfondo bianco. Così, più verosimilmente, nel caso inverso di stampa cosiddetta in negativo, ossia con figure alfabetiche che, in bianco su fondo nero, permettono la distinzione diretta delle parole. Per cui, paradossalmente, potremmo dire che leggiamo in rapporto al bianco: infatti, in entrambe le suddette situazioni, riducendo via via la luminosità (dello sfondo o delle parole) la percezione si riduce, sino a scomparire con un nero su nero.

L'interazione tra figura e sfondo non si limita al solo contrasto. Nella lettura altre reciproche influenze provengono dalla conformazione delle figure, ossia dal frastagliamento più o meno accentuato di ogni simbolo grafico (“a”, “i”, “m”, “t” ecc.), sul cui sfondo, se di chiarezza superiore al testo, influisce qualsiasi tonalità cromatica impiegata, dando luogo, quanto più l'impronta grafica è sottile, a una specie di scia nebbiosa. Il caso più comune di tale fenomeno – che prende il nome di eguagliamento cromatico (cfr 6.4.5) – si ha con la stampa in nero su bianco, a seguito della quale, per effetto della “scia nebbiosa”, ogni singola colonna o pagina di testo appare pervasa da un leggero velo grigiastro, che la “stacca” dai bordi bianchi di ogni pagina. Dal frastagliamento delle lettere alfabetiche pare provenire un'altra sottile anomalia, cioè una certa ambivalenza tra alcune figure e lo sfondo, tanto più osservabile quanto più la zona di sfondo racchiusa da ogni simbolo grafico è omogeneamente circoscritta; come, in particolare, con la lettera “O”, lo sfondo del cui interno, per quanto non più “privo di forma”, non si evidenzia però nemmeno come figura, rimanendo ambiguamente sfondo. Il quale, invece, se isolato e di maggiori dimensioni, diverrebbe figura, con più accentuata chiarezza, per il contorno nero che lo racchiude. Passando dal nero su bianco (che trova riscontro in queste pagine) ad altri abbinamenti cromatici di inchiostri e carta, il differente aspetto che deriverebbe a ogni campo visivo di lettura non potrebbe corrispondere che a differenti implicazioni ottiche e mentali.

## **7.5 La relatività della riproduzione più oggettiva**

La riproduzione della realtà esterna si mostra sempre relativa, anche con il mezzo oggettivo per antonomasia, la fotografia: per le generalmente macroscopiche differenze di dimensioni tra soggetto e facsimile; per l'angolo prospettico, distanziato o ravvicinato, riprodotto soltanto un lato della realtà; per l'ambiente, reso in termini bidimensionali; per l'implicita posizione temporale, il passato; e, non ultimo, per l'aspetto cromatico. Che se in bianco-nero, con propri effetti chiaroscurali, è estraneo alla realtà esterna; se “a colori”, è più o meno simile, ma mai eguale. In definitiva, oltre ad altre particolarità, la stessa caratteristica del supporto dell'immagine riprodotta trasforma la fotografia in una realtà visiva spesso propria, quindi autonoma. Tanto da poter essere duplicata.

## **7.6 L'ontologia eleatica**

Il problema della realtà, e quindi della verità, consiste nella contrapposizione tra la conoscenza intellettuale e quella dei sensi. La verità consiste (è) in questo essere eterno, che è in noi ed è nell'opinione volgare. Gli eleati scoprono l'illusione dei sensi, in quanto i sensi e l'immaginazione sono soggetti a errori; prima degli eleati si credeva ingenuamente a ciò che era immediatamente percepito dai sensi. Per Parmenide, la realtà è una totalità indivisibile e immutabile: in essa non esistono zone più importanti e meno importanti. Se così non fosse, la realtà risulterebbe divisibile in parti; al contrario, la realtà è eguale alla massa di una sfera, che preme dal centro in ogni parte con eguale forza. L'occuparsi dei moti e movimenti pertiene non all'ambito della verità, ma a quello del verosimile, pertinente all'apparenza e non alla sostanza della realtà.

## 7.7 L'anisotropia spaziale

Una dimostrazione delle discrepanze visive provenienti dalla traduzione in elementi costruttivi di determinate regole geometriche proviene dalle classiche proiezioni assonometriche delle colonne dei templi greci. In esse, il fenomeno di anisotropia dello spazio (differente apparenza di una componente visiva secondo la direzione del suo collocamento) richiese una correzione tramite lo snellimento delle colonne verso l'alto. Lo stesso fenomeno – notoriamente presente anche nella grafia manuale del numero “8”, dei cui due “anelli” che lo compongono, quello superiore presuppone una leggera riduzione – pare emerga non solo in verticale, ma anche in orizzontale<sup>26</sup>.

## 7.8 La bandiera nazionale italiana

Nella norma costituzionale relativa alle caratteristiche della nostra bandiera pare esistere un'approssimazione, che ne rende imprecisa l'osservanza sia, anzitutto, per la genericità dei colori prescritti, sia per gli effetti visivi attinenti alle dimensioni formali<sup>27</sup>. L'articolo 12 della Costituzione stabilisce, infatti, che “la bandiera della Repubblica è il tricolore italiano: verde, bianco e rosso, a tre bande verticali di eguali dimensioni”. In questa prescrizione sono implicite due interrogativi:

- 1) semplificando la qualità del bianco con uno standard di riflessione superiore al 10%, e considerando la vasta gamma delle altre due tonalità, quali sono gli esatti verde e rosso cui ci si deve uniformare, dovendo scegliere tra le lunghezze d'onda corrispondenti al verde che vanno dai circa 510 ai 500 nanometri, e al rosso dai circa 760 ai 610 nanometri?
- 2) Posto che la bandiera è un simbolo essenzialmente visivo, come possono ottenersi tre bande di eguali dimensioni fisiche con tre diversi colori di differenti apparenze spaziali?

## 7.9 Il contrassegno cromatico di alcune città

Il cosiddetto giallo, che per alcune città (Milano, Torino, Parma ecc.) rappresenta una sorta di nota dominante ed emblema distintivo, dà luogo a un caso di omologia cromatica, confusa anche nella sua origine. La provenienza di questo colore, che all'inizio del XIX secolo ha invaso le facciate dei principali edifici dei territori soggetti all'influenza francese, è resa meno vaga dalla conoscenza degli avvenimenti storici, che in proposito chiamano in causa l'aspetto del seicentesco castello reale di Versailles. Le cui sfarzose caratteristiche, nel corso del Settecento, attrassero numerosi sovrani europei, i quali lo vollero a modello per analoghe costruzioni a struttura più o meno aperta, imitandone anche il colore tramite l'impiego di specifici pigmenti negli intonaci. Colore che nell'Ottocento trovò diffusione anche in Italia.

Si trattò, verosimilmente, di confusione cromatica, in quanto il castello di Versailles deve il proprio colore esterno non già a pigmenti da intonaco, bensì all'ossidazione contingente di una pietra calcarea da taglio che, estratta dalle cave locali, servì per la sua e altre costruzioni (la Bastiglia, il Louvre ecc.). Questo materiale, detto “*liais férault*”, poiché composto da carbonato di calcio irregolarmente venato da ossido di ferro, al momento della posa in opera è bianco, ma con il passar del tempo, a causa dell'ossido di ferro reso rugginoso dalle intemperie, assume una velatura che richiama l'ocra chiara. Il lontano “giallo”, che via via si propagò in balia di ogni sorta d'interpretazioni, costituirebbe, quindi, lo spettro di un'augusta “rivisitazione”, peraltro già deviante all'origine.

---

<sup>26</sup> L'angolo a destra del quadrato in diagonale appare più vicino al bordo dello sfondo rispetto al corrispondente angolo a sinistra (anche capovolgendo la pagina).

<sup>27</sup> L'imprecisione fu già evidenziata nel numero 1 della rivista “Colore. Estetica e Logica” dell'ottobre-dicembre 1957.

## **7.10 I colori computerizzati**

I colori computerizzati, provenendo dal processo di sintesi addittiva (cfr. 3.4.1) elaborato dal circuito elettronico, se paragonati ai colori di sintesi sottrattiva (cfr. 3.4.2), derivati cioè dalla riflessione della fonte luminosa naturale sulla superficie dei corpi, posseggono caratteristiche differenti. Non solo e non tanto per il maggior aspetto di luminosità dei primi nei confronti dei secondi, quanto per la staticità e la vita propria dei colori programmati. I quali non possono essere che a sé stanti, cioè estranei alle molteplici varianti d'apparenza dei colori naturali, che invece sono dissimili da situazione a situazione: per il variare della fonte luminosa., delle dimensioni formali, degli accostamenti cromatici, delle particolarità ambientali. In sostanza, i colori computerizzati (come quelli televisivi) si apparentano (e non a caso ne fanno parte) a quelli degli ordinamenti cromatici (cfr. 6.3). Con le stesse implicazioni dei colori ideali.

## Bibliografia

- G. OVIO, *L'Ottica di Euclide*, U. Hoepli, Milano 1918.
- G. OVIO, *La scienza dei colori. Visione dei colori*, U. Hoepli, Milano 1927.
- S.I. VAVILOV, *L'occhio e il Sole*, Feltrinelli, Milano 1959.
- W. HEISENBERG, *Fisica e filosofia. La rivoluzione nella scienza moderna*, Il saggiatore, Milano 1961.
- J.E. HOCHBERG, *Psicologia della percezione*, Aldo Martello, Milano 1964.
- G.A. MILLER, *I problemi della psicologia. La scienza della vita mentale*, Edizioni Scientifiche e Tecniche Mondadori, Milano 1964.
- R.L. GREGORY, *Occhio e cervello. La psicologia del vedere*, Il saggiatore, Milano 1966.
- W. KÖHLER, *Principi dinamici in psicologia ed altri scritti*, Universitaria - Barbèra, Firenze 1966.
- CH. ALEXANDER, *Note sulla sintesi della forma*, Il saggiatore, Milano 1967.
- L. ANCONA, *Dinamica della percezione*, Edizioni Scientifiche e Tecniche Mondadori, Milano 1970.
- M. CESA-BIANCHI - A. BERETTA - R. LUCCIO, *La percezione. Un'introduzione alla psicologia della visione*, Franco Angeli, Milano 1970.
- F.H.C. CRICK - L.E. ORGEL - G. CHEDD - M.O. DAYHOFF, *Origine ed evoluzione del codice genetico*, Boringhieri, Torino 1971.
- W. METZGER, *I fondamenti della psicologia della gestalt*, Giunti - G. Barbèra, Firenze 1971.
- R. THOMSON, *Storia della psicologia*, Paolo Boringhieri, Torino 1972.
- G.A. MILLER - R. BUCKHOUT, *La scienza della vita mentale. I problemi della psicologia*, Edizioni Scientifiche e Tecniche Mondadori, Milano 1975.
- A.J. AYER, *Linguaggio, verità e logica*, Feltrinelli, Milano 1975<sup>2</sup>.
- U. NEISSER, *Psicologia cognitivista*, Aldo Martello - Giunti, Firenze 1976.
- F. POTENZA, *Astronomia oggi*, Longanesi, Milano 1976.
- L. MECACCI, *Cervello e storia. Ricerche sovietiche di neurofisiologia e psicologia*, Editori Riuniti, Roma 1977.
- G. KANIZSA - P. LEGRENZI, *Psicologia della gestalt e psicologia cognitivista*, Il Mulino, Bologna 1978.
- L. MAFFEI - L. MECACCI, *La visione. Dalla neurofisiologia alla psicologia*, A. Mondadori, Milano 1979.
- G. KANIZSA, *Grammatica del vedere. Saggi su percezione e Gestalt*, Il Mulino, Bologna 1980.
- L. WITTGENSTEIN, *Osservazioni sui colori. Grammatica del vedere*, Einaudi, Torino 1982.
- J.-P. CHANGEUX, *L'uomo neuronale*, Feltrinelli, Milano 1983.
- G. HOLTON, *L'immaginazione scientifica. I temi del pensiero scientifico*, Einaudi, Torino 1983.

V. RONCHI, *Storia della luce. Da Euclide a Einstein*, Laterza, Roma - Bari 1983.

D.H. HUBEL, *Occhio, cervello e visione*, Zanichelli, Bologna 1989.

### **Aggiornamento bibliografico**

R. LUCCIO, *Tecnica di ricerca e analisi dei dati in psicologia*, Il Mulino, Bologna 1996.

R. LUCCIO, *Psicologia generale. Le frontiere della ricerca*, Laterza, Roma - Bari 1998.

R. LUCCIO, *La psicologia: un profilo storico*, Laterza, Roma - Bari 2000.

P. LEGRENZI, *Prima lezione di scienze cognitive*, Laterza, Roma - Bari 2002.