

L'oftalmotropo. Lo studio dei movimenti oculari, ieri e oggi

Germana Pareti

Dipartimento di Filosofia e Scienze dell'Educazione – Università di Torino

1. Modelli meccanici in ottica fisiologica

Prassi della fisiologia ottocentesca (e si potrebbe osservare, “prassi” non solo della fisiologia, bensì più in generale di *tutta* la scienza dell'epoca) era l'impiego di modelli fisici, sia astratti sia materiali, per descrivere la struttura e le funzioni di organi e apparati del corpo umano. Nel 1862, Wilhelm Wundt, all'epoca assistente di Hermann von Helmholtz, teorizzava:

Nessuna teoria si può considerare completamente consolidata se prima, applicata all'esperienza, non si è confermata in ogni singolo caso, e ogni teoria, per quanto sia stata così accertata, consegue il suo massimo valore qualora sia suscettibile di un'applicazione pratica (Wundt, 1862b).

A questo riguardo, Wundt faceva riferimento a un sistema oculomuscolare artificiale, l'oftalmotropo, un dispositivo costruito al fine di riprodurre la “meccanica” dell'occhio e dei muscoli oculari e quindi in grado di muoversi secondo le stesse leggi fisiche e la geometria della visione. Questo strumento avrebbe dovuto accrescere le conoscenze sull'anatomia dell'occhio, ma soprattutto fare previsioni in fisiologia oculare e spiegare i fenomeni ottici con il ricorso a leggi fisiche e a

principi matematici. Si trattava di un programma che si inseriva perfettamente nel quadro “fiscalistico” della fisiologia tedesca dell’epoca, e Wundt non aveva remore a dichiarare che lo scopo della fisiologia era la costruzione di un “omuncolo”, il cui montaggio – pezzo per pezzo – se pure restava una chimera, consentiva però di ottenere già qualcosa dell’intero organismo. Ma per realizzare questo programma, bisognava innanzitutto conoscere le leggi fisiche e investigare come si potessero applicare nella pratica. Nel caso dell’occhio, si trattava delle leggi del movimento.

È un fatto che intorno alla metà dell’Ottocento, una folta schiera di fisiologi e oculisti aveva cominciato a interessarsi ai movimenti intorno agli assi di rotazione oculare e ai loro effetti ottici. In ambito fisico-geometrico, se ne erano occupati (con “zelo e dedizione”) sia l’oftalmologo olandese Franciscus Cornelis Donders sia Johann Benedict Listing, quest’ultimo un fisico matematico dell’università di Gottinga che era stato allievo di Carl F. Gauss. Listing aveva stabilito la legge che porta il suo nome, e cioè che tutti gli orientamenti possibili dello sguardo – quelli cosiddetti secondari e terziari, in basso (o in alto) a destra o a sinistra – possono essere raggiunti partendo da un orientamento “primario” (con lo sguardo all’infinito e testa e corpo eretti), ruotando su un asse che giace sul piano perpendicolare alla posizione primaria dello sguardo. Questa legge apparve per la prima volta in un lavoro pubblicato nel 1853 dall’oftalmologo tedesco Christian Theodor Ruete. Proprio Ruete, otto anni prima (nel 1845) aveva costruito quello che fu forse il primo dispositivo meccanico in grado di riprodurre i movimenti dell’occhio. Ancor prima di diventare professore di oftalmologia a Gottinga (e successivamente a Lipsia), Ruete aveva progettato il suo strumento, partendo dall’esame della rotazione del proprio occhio intorno all’asse visivo, che formava un’immagine residua a forma di croce. Se osservava a lungo una croce rossa, l’immagine residua era verde. Ruete faceva delle prove, osservando uno schermo posto davanti a sé, per verificare se l’immagine rimanesse verticale nel caso in cui avesse ruotato la testa a destra o a sinistra, o guardato in alto e in basso. Nel saggio che descriveva il suo primo strumento – pubblicato nei *Göttinger Studien* nel 1845 e, in

una breve monografia, l'anno seguente – Ruete deplorava il fatto che fino ad allora pochissimi ricercatori si fossero interessati al contributo che i muscoli oculari apportavano al movimento del bulbo dell'occhio e osservava che “senza ausili meccanici” era praticamente impossibile superare la difficoltà di immaginare quei movimenti (Ruete, 1846, p. 3). A tal fine, per aiutare “immaginazione e memoria” nella comprensione delle funzioni dei muscoli oculari e di vari fenomeni ottici, egli aveva escogitato uno strumento al quale aveva dato il nome di *oftalmotrope* (*ivi*, p.13).

Questo primo dispositivo, che comportava l'impiego di giunti cardanici di sospensione, era costituito da due occhi artificiali, posti uno accanto all'altro a una distanza adeguata. Ciascuno di essi era fissato in tre anelli a incastro, in modo che i tre assi di rotazione intorno ai quali ogni occhio poteva essere spostato fossero montati esattamente agli stessi angoli come nell'occhio naturale. Questo modello però non aveva mancato di suscitare critiche tra i fisiologi. In particolare, Adolf Fick e Ernst Brücke avevano rilevato la rigidità di uno degli assi (corrispondente ai muscoli oculari obliqui). In altre parole, quel tipo di sospensione non avrebbe consentito all'occhio di assumere la posizione cosiddetta terziaria (cioè lo sguardo obliquo) in accordo con la legge di Listing. Va ricordato che lo stesso Fick, allievo dei fisiologi meccanici Carl Ludwig e Emil du Bois Reymond, era stato forse il primo a cercare di dare una descrizione in termini fisici del movimento oculare (Fick, 1854)¹. A lui si deve infatti l'introdu-

1 Sull'impostazione di Fick è intervenuto in più luoghi Timothy Lenoir nei suoi lavori dedicati alle teorie della visione nell'Ottocento (Lenoir, 1993 e 2006). Per Lenoir, Fick avrebbe trattato il movimento oculare nel quadro della teoria helmholtziana della conservazione della forza, cioè come un problema di statica, secondo il quale il moto di rotazione dell'occhio a riposo è dato dalla somma dei movimenti di rotazione prodotti dai sei muscoli che lo tengono in equilibrio e, nello spostarlo da una posizione all'altra, le contrazioni muscolari sono prodotte con il massimo risparmio di forza. Per amore di precisione, va osservato che già nel suo primo contributo del 1845 Ruete osservava che, nella rotazione intorno ai tre assi, il bulbo esercita il minimo sforzo quando sono applicate forze tali che gli assi si intersechino ad angolo retto (Ruete, 1846, p. 9).

zione dei tre assi di rotazione (che portano il suo nome, “assi di Fick”) passanti per il centro di rotazione, che permettono di studiare i movimenti oculari in base a un modello tridimensionale: i movimenti di adduzione e abduzione avvengono ruotando l’occhio intorno all’asse verticale; quelli di elevazione e abbassamento intorno all’asse orizzontale e i movimenti torsionali verso l’esterno e l’interno intorno all’asse sagittale (o antero-posteriore). Pertanto, quando l’occhio si sposta dalla posizione primaria lungo l’asse verticale o orizzontale assume la posizione secondaria, mentre con lo sguardo obliquo assume quella terziaria. (Va ricordato che lo stesso Helmholtz non mancò di intervenire su questo argomento, introducendo un altro sistema di coordinate: mentre nel sistema di coordinate di Fick è fisso l’asse verticale, in quello helmholtziano è l’asse orizzontale a rimanere fisso.)

Ruete aveva tenuto conto delle osservazioni critiche rivolte al suo primo oftalmotropo (Ruete, 1857, p. 2) e con l’aiuto del signor Stöhrer, un valente meccanico di Lipsia, e di un medico esperto di matematica, fu in grado di elaborare una versione più perfezionata del prototipo, tale da consentire un movimento completo di ciascun occhio e una posizione più armoniosa di entrambi gli occhi. In questo modello Ruete aveva eliminato l’azione dei giunti cardanici (i quali comportavano movimenti che avrebbero violato la legge di Listing) e introdotto un anello girevole. L’anello con viti che sosteneva l’occhio artificiale doveva rappresentare il cuscinetto adiposo che sta dietro all’occhio naturale, una sorta di guscio, nel quale l’occhio è sospeso, mentre un sistema di cordicelle, che rappresentavano meccanicamente le due coppie dei sei muscoli oculari (e potevano allungarsi e accorciarsi) sosteneva le sfere che rappresentavano i bulbi, al fine di riprodurre l’arrangiamento geometrico-meccanico della cinematica oculare.

A partire dal modello introdotto da Ruete seguì con successo la costruzione di molti altri oftalmotropi. Anche Donders nel 1870 costruì il suo dispositivo, con il quale tra l’altro si proponeva di illustrare la legge da lui introdotta fin dal 1846. Era stato Helmholtz a denominare “legge di Donders” la scoperta che lo studioso olandese aveva fatto a proposito dell’orientamento della rotazione dell’occhio,

e lo aveva proposto nel 1848, quando poté leggere l'edizione tedesca del lavoro che era apparso in lingua olandese. Questa legge stabiliva che con la testa eretta e guardando all'infinito, ogni direzione dello sguardo ha un unico angolo di torsione, indipendentemente dal percorso che l'occhio ha seguito. Pertanto veniva stabilita la limitazione dell'orientamento del sistema oculomotore umano: "l'angolo di torsione avrà invariabilmente un valore perfettamente definito... che è indipendente non solo dalla volizione dell'osservatore, ma dal modo in cui la linea di fissazione è raggiunta nella posizione in questione" (Helmholtz, 1867, p. 462). Questa legge sanciva cioè che a ciascuna posizione dell'asse visivo corrisponde un preciso orientamento dei meridiani retinici verticali e orizzontali, cosa che rende impossibili i movimenti casuali, e per ogni particolare posizione verrà assunto lo stesso orientamento, indipendentemente da come esso sarà raggiunto. Pertanto, se pure in fisica un corpo che ruoti liberamente avrà "tre gradi di libertà" di rotazione, nel caso dell'occhio ruotante l'orientamento sarà di due soli gradi di libertà secondo l'orientamento dello sguardo (cfr. Opstal 2018). Inoltre, nelle posizioni terziarie dello sguardo (quelle oblique) l'occhio subisce una torsione che è proporzionale al grado di elevazione/abbassamento e abduzione/adduzione indipendentemente da come l'occhio abbia assunto la posizione terziaria (prima in alto o in basso e poi lateralmente o viceversa). In realtà, si capisce che non si tratta di una vera torsione, bensì di una *pseudotorsione*, in quanto non vi è una completa rotazione intorno all'asse orizzontale.

Nella costruzione del suo apparecchio, che – come si è detto – mirava a portare conferma alla legge da lui proposta, l'oftalmologo olandese aveva nuovamente fatto ricorso alle sospensioni cardaniche al fine di rendere visibile e "quantificare" la pseudotorsione (Simonsz, Tonkelaar, 1990, pp. 96 sgg.; cfr. Simonsz, Wade, 2018). Non mancava una camera oscura per ottenere un'immagine, che veniva messa a confronto con i meridiani retinici rappresentati da 4 barrette di rame. L'occhio artificiale ruotava in un anello interno, che a sua volta ruotava nell'anello esterno sostenuto dalle sospensioni cardaniche, mantenendo perpendicolari gli assi di rotazione primario e

secondario. Oltre a Donders, una serie di oftamologi si prodigò nella costruzione di questi strumenti, ognuno apportando le proprie personali variazioni. Tra essi: il fisiologo di Lipsia, poi collaboratore di Gustav T. Fechner a Halle, Alfred W. Volkmann; lo svizzero Edmund Landolt, che dopo aver fatto pratica a Utrecht e in Germania si era stabilito a Parigi; Jacob H. Knapp, professore di oftalmologia in Heidelberg, emigrato poi a New York; infine, l'olandese (successore di Donders) Hermann Snellen. Più o meno direttamente, tutti questi specialisti non solo avevano avuto rapporti con l'ambiente oculistico di Utrecht (e con Donders), ma si erano perfezionati in varie università tedesche, specializzandosi sotto la guida di Helmholtz.

Con l'introduzione di questi dispositivi si evince l'importanza del modello meccanico ai fini di dimostrazione di leggi fisiche e matematiche. Le leggi di Listing e Donders diventavano esemplificabili con il ricorso ai modelli meccanici, che favorivano la realizzazione pratica dei sistemi di coordinate impiegate per descrivere i movimenti oculari. Nel terzo volume del suo trattato di ottica fisiologica pubblicato nel decennio tra il 1856 e il 1866, Helmholtz aveva rinviato proprio a Ruete e al suo metodo, che consisteva nell'uso delle immagini residue, osservando che era il modo migliore per determinare l'orientamento oculare: con questa tecnica infatti era possibile il confronto tra l'immagine residua lineare ottenuta in posizione primaria e quella reale ottenuta guardando in un'altra direzione: "nel corso dei movimenti oculari [essa] indica quelle parti del campo visivo sulle quali è proiettato l'orizzonte retinico" (Helmholtz, 1867, p. 464).

Helmholtz si soffermava a descrivere minuziosamente i modelli artificiali, spiegando come i bulbi artificiali ruotassero intorno ai loro centri come una palla ruota sul suo perno. Su di essi erano posti in evidenza la cornea, rappresentata come l'equatore, e i meridiani orizzontali e verticali. Robuste corde di seta di vari colori (ciascuno corrispondente alle coppie di muscoli pertinenti) erano fissate nei punti corrispondenti ai punti in cui sono attaccati i muscoli. Affinché le corde mantenessero le direzioni impresse dai muscoli, 4 di esse corrispondenti ai 4 muscoli retti venivano fatte passare in 4 fori adiacenti sulla tavola indicata con la lettera A (Fig. 1) e fatti penzolare vertical-

mente sul retro con l'aiuto di pesi. Le 2 corde che corrispondevano ai muscoli obliqui erano avvolte intorno a pulegge nella parte alta e bassa del braccio verticale indicato con la lettera B e condotte alla parte mediana della tavola A, dove anch'esse erano fatte passare attraverso dei fori e tirate con i pesi. Al fine di produrre i movimenti oculari desiderati, le corde venivano tirate in maniera correlata ai movimenti dei muscoli interessati o alle loro resistenze. Le corde che "si accorciavano" nell'esecuzione dei movimenti si rilassavano con relativa discesa dei pesi e tornavano in posizione per produrre o rinforzare il movimento (Helmholtz, 1867, pp. 526-7).

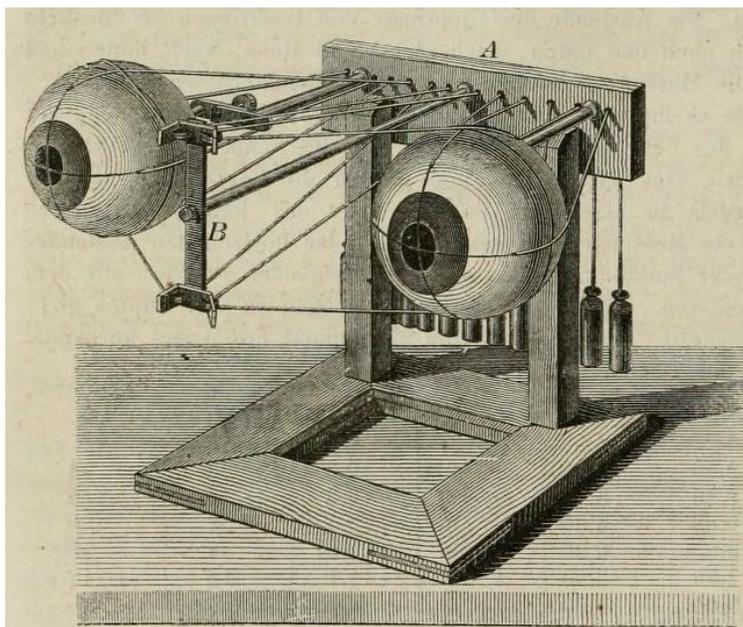


Figura 1

Nell'antico regio ospedale oftalmico di Utrecht si può ammirare una ricca collezione di questi apparecchi, che comprende, tra gli altri, i modelli inviati da Ruete a Donders, probabilmente a fini di dimostrazione delle leggi summenzionate, ma anche per l'impiego che se

ne poteva ricavare nella trattazione delle patologie dei movimenti oculari, in particolare dello strabismo (cfr. Simonsz, Tonkelaar, 1990, pp. 97-98). Nel catalogo dei *wissenschaftliche Apparate* (psicologici e fisiologici) redatto da Ernst Zimmerman (Elenco 50)² e conservato nell'Istituto di Psicologia sperimentale a Lipsia, si può altresì ammirare il modello (più complesso) progettato da Wundt (Fig. 2), il quale – da assistente di Helmholtz – ne aveva ereditato la propensione per lo studio dei movimenti oculari.

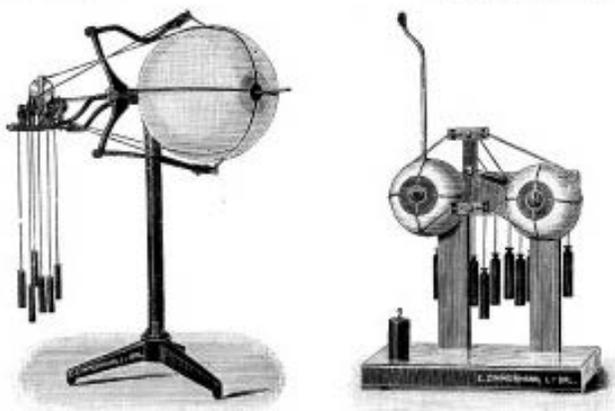


Figura 2

Questo comune interesse è attestato in Wundt non solo dai capitoli compresi nei *Beiträge* del 1862 sulla teoria della percezione sensoriale, ma fra i molti altri lavori sul tema, in particolare, dall'articolo apparso nell'*Archiv für Ophthalmologie* (sempre del 1862), dove veniva presentato il suo oftalmotropo. Nel caso di Helmholtz, va rimarcato che l'interesse per questi aspetti dell'ottica lo accompagnò per tutta la vita e

2 Nel 1887, a Lipsia, Zimmerman fu il fondatore della ditta di strumenti scientifici che riforniva l'Istituto di Psicologia sperimentale. In precedenza era stato Karl Krille a fornire le apparecchiature. Cfr. <http://psychologie.biphaps.uni-leipzig.de/wundt/chapters/devices.htm>.

trovò espressione, oltre che nel terzo volume del summenzionato manuale di ottica fisiologica, anche nella trattazione della *Croonian Lecture* del 14 aprile 1864. Non va dimenticato che Helmholtz era stato altresì l'inventore dell'oftalmoscopio e, oltre che della visione binoculare e del movimento degli occhi, si era occupato anche della visione dei colori. Per quanto riguarda specificamente le questioni della posizione e del movimento degli occhi, della direzione dello sguardo e della visione binoculare, occorre ricordare che, per tutta la sua carriera, egli ebbe a confrontarsi con la concezione di Ewald Hering, il quale dal maestro Rudolf Hermann von Lotze aveva recepito la dottrina dei segni locali, da lui applicata alla retina (Hering 1868, 1879a e 1879b). Non è questa la sede per approfondire il contrasto tra Helmholtz e Hering, le posizioni dei quali nella storia delle teorie della visione sono state ricondotte rispettivamente alla concezione empiristico-associazionistica e innatistica (Howard, 1999). Ma si evince che questo fu un tema appassionante (e irrisolto) per i fisiologi e gli psicologi del secondo Ottocento, un tema che si sarebbe riverberato nelle ricerche (e persino nelle discussioni filosofiche) del secolo successivo (cfr. Wade, 2010; Wade, Tatler, 2005).

2. La questione dello spazio: intuitivo o prodotto dell'esperienza?

Che lo spazio e la sua rappresentazione fossero un tema importante da risolvere all'interno della psicologia era un convincimento anche di Edmund Husserl, il quale nelle sue ricerche pre-fenomenologiche osservava che erano state le teorie di Kant e Helmholtz a condurlo in quella direzione (Husserl, 1893/1996, p. 111). Ma lo psicologo doveva essere "scevro" da interessi metafisici e logici "estranei alla cosa stessa", per lasciarsi guidare unicamente "dalle necessità intrinseche della cosa stessa" (*ivi*, p. 107). Nella riflessione husserliana sullo spazio (e sulla differenza tra spazio intuitivo e spazio geometrico) confluivano le idee ricavate dalla teoria lotziana (e weberiana) dei segni locali, dalle osservazioni sul senso tattile e sul senso visivo e soprattutto sul ruolo della cinestesi, una condizione che per Husserl denotava il rapporto

tra il movimento del soggetto e i modi fenomenici degli oggetti. Nei testi dedicati alle ricerche sullo spazio tra il 1892 e il '93 che, all'indomani della sua *Filosofia dell'aritmetica*, Husserl redigeva in preparazione agli studi sulla geometria, il filosofo metteva a confronto ciò che accade quando il "capo è in quiete e si muovono soltanto i miei occhi" (*ivi*, p. 123) con ciò che accade quando il soggetto cammina o non cammina, specialmente in rapporto con la profondità. Husserl osservava che "la prima costituzione dell'oggetto è quella di un oggetto bidimensionale senza profondità, e questa ha luogo attraverso la rotazione dello sguardo oculomotorio e cefalomotorio" (*ivi*, pp. 131-32). Lo spazio oculomotorio è lo spazio visivo del primo livello ed è quello in cui si suppone che si muova soltanto l'occhio, da una posizione 0 verso la direzione del lato prescelto. Un secondo sistema è rappresentato dai movimenti della testa intorno al suo asse fondamentale. In questo caso, il punto 0 è dato dalla posizione del capo eretta e dallo sguardo diritto in avanti, a partire dalla quale sono possibili le rotazioni verso destra e verso sinistra, e anche su se stessi. Il terzo livello è dato dal sistema cefalomotorio completo implicante che con i movimenti della testa si costituisca uno spazio di tipo riemanniano, uno spazio sferico chiuso.

L'insieme di queste osservazioni, comprensive dei fenomeni di vicinanza e lontananza, di allontanamento e *coprimento*, della serialità e dell'*ordine fisso* delle variazioni cinestetiche ecc., doveva fungere da premessa per spiegare la terza dimensione, il senso della profondità, e di qui Husserl muoveva per arrivare a definire fenomenologicamente la cosa tridimensionale, che si poteva costituire solo a partire dal sistema dei movimenti di occhi, capo, tronco e corpo. La sua elaborazione dello spazio doveva consentirgli di chiudere il cerchio con Kant e con Helmholtz, se cioè lo spazio fosse una forma data *a priori* o un prodotto empirico, cioè se fossero "le nostre esperienze" a produrlo, al punto che esperienze diversamente articolate potrebbero produrre un "altro" spazio (*ivi*, p. 110). Oltre alla geometria riemanniana, su Husserl aveva influito soprattutto la tesi di Carl Stumpf dello spazio come contenuto assoluto essenzialmente inerente alle qualità delle sensazioni, che quindi sarebbero "originariamente spaziali". Persino

l'ordinamento spaziale è possibile grazie ai contenuti sensibili, per esempio di colori e suoni: soltanto partendo da questi contenuti possiamo rappresentarci differenze e relazioni spaziali. Neppure Stumpf rinunciava all'impiego di esperimenti visivi e, in particolare, faceva riferimento alla posizione nel campo visivo che corrisponde alla "superficie cieca", cioè a quella piccolissima porzione della retina che è un punto cieco (i.e. la macula cieca): questa area non la vediamo, mentre vediamo i luoghi contigui e li percepiamo come "distinti". Quindi la rappresentazione spaziale è percepita come una qualità e, per esempio, sarebbe impossibile avere una sensazione cromatica senza l'estensione.

Chi invece giudicava inaccettabile la teoria dei segni locali applicata al senso della vista era Oswald Külpe, il quale nel suo compendio di psicologia dedicato al maestro Wundt "partiva dal presupposto epistemologico che se l'attributo spaziale di per sé è un "dato originario", soltanto le sue condizioni soggettive possono essere oggetto di teoria psicologica (Külpe, 1893, p. 383)³. La teoria lotziana faceva eccessivo affidamento sulle sensazioni di movimento che hanno origine dalla rotazione oculare, dimenticando che l'estensione è la determinazione spaziale fondamentale. Ma Külpe non risparmiava nessuno, e criticava non solo Lotze. Di Helmholtz criticava l'eccessivo empirismo, che – nella rappresentazione dello spazio visivo – premiava principalmente il ruolo delle sensazioni muscolari aventi origine dai movimenti dell'occhio. Sull'innatismo del "rivale" Hering non era neppure il caso di soffermarsi ("di perdere tempo"), perché la sua teoria basata sullo schema di processi nervosi antagonisti era da ritenersi non-filosofica e non-psicologica (*ivi*, p. 385). Tra chi aveva reinterpretato la dottrina dei segni locali figurava Theodor Lipps, il quale aveva fatto appello alla tesi che elementi retinici *vicini* fossero eccitati da stimoli simili, mentre stimoli differenti ecciterebbero elementi reti-

3 Va ricordato che il *Grundriss der Psychologie* fu tradotto due anni dopo in inglese da Edward B. Titchener ed ebbe una grandissima diffusione nella psicologia anglo-americana, con svariate edizioni.

nici *lontani*. Pur spiegando i caratteri di separazione e disposizione dei costituenti spaziali, questa concezione non rendeva conto del carattere “totale” dell’impressione visiva. E non poteva giudicarsi del tutto soddisfacente nemmeno l’abile rivisitazione della dottrina dei segni locali adottata da Wundt sotto forma di sensazioni di movimento combinate con i segni locali distintivi degli elementi retinici. Essa non teneva conto dell’incertezza nel determinare posizione e movimenti oculari. E ai movimenti degli occhi andavano aggiunti quelli della testa e del corpo.

Si capisce allora che l’intera questione della visione spaziale era ben lungi dal trovare soluzione nel campo della psicologia fisiologica. A chiare lettere, nel 1911, l’eccentrico fisiologo Élie de Cyon aveva ribadito che – dopo Wundt – essa poteva ritenersi defunta (aveva “fatto naufragio”), poiché nessuna psicologia scientifica poteva considerarsi veramente tale senza prima aver risolto i problemi dello spazio e del tempo (Cyon, 1911, p. xiv)⁴. E ancora una volta si rifaceva alla teoria dei segni locali di Lotze, che a suo dire aveva messo in luce i limiti delle impostazioni innatista e empiristica sulla formazione del concetto di spazio. I problemi erano fondamentalmente due, e solo al secondo la teoria dei segni locali sembrava trovare risposta: si trattava di spiegare l’ordinamento *geometrico* della moltitudine delle sensazioni (frutto probabilmente di una intuizione geometrica) e l’assegnazione di un “luogo” a ciascuna sensazione in corrispondenza dell’oggetto che l’ha determinata (*ivi*, p. 88). Per Cyon un aiuto a risolvere la questione del “senso dello spazio a tre dimensioni” poteva provenire dalla disamina di un organo deputato a tale funzione, cioè dal sistema dei canali semi-circolari, un organo di senso in grado di proiettare nello spazio tridimensionale le sensazioni visive e di movimento. Nell’opera dedicata allo studio dell’orecchio, un capitolo a sé era riservato agli errori di percezione di direzione dovuti al labirinto, e tra questi erano esaminati quelli che avevano luogo nell’oscurità con testa e corpo in posizione eretta e gli errori di direzione verticale e orizzontale con la testa recl-

4 Sulla figura di Cyon, cfr. Traetta, 2015.

nata sulla spalla. Per studiare al meglio questi ultimi anche Cyon aveva cercato di creare un dispositivo che gli consentisse l'esame della rotazione della testa intorno ai suoi tre assi. Questo aggeggio richiama "l'oftalmotropo ben noto di Ruete" (*ivi*, p. 204), poiché si trattava di una sorta di cuffia in metallo leggero con una punta al centro e dei cordoni che reggevano dei pesi, fatti passare su delle pulegge. Tuttavia Cyon aveva incontrato difficoltà "insormontabili", non solo di natura tecnica per la complessità di una costruzione del genere, ma soprattutto per una questione di metodo in psicologia: per studiare gli errori di percezione occorre infatti che i soggetti siano del tutto non consapevoli né prevenuti circa lo scopo della loro esperienza. In altre parole, si rendeva necessario un set sperimentale che non ostacolasse la totale libertà dei movimenti della testa. Così si scopriva per esempio che il grado di rotazione della testa non influiva o influiva minimamente sull'intensità e sul senso degli errori di percezione. Tutte le esperienze condotte su soggetti con gli occhi aperti (e anche su se stesso) mostravano lo stesso risultato, e cioè che nel caso di una direzione verticale si assisteva a una deviazione dall'alto verso il basso e da destra a sinistra e, nel caso di una direzione orizzontale, da sinistra a destra, quando la testa è reclinata a sinistra, e l'inverso quando è inclinata sulla spalla opposta (la destra). Quindi la verticale è percepita in modo erroneo, con direzione opposta a quella in cui si fa la rotazione della testa, mentre la direzione orizzontale è opposta all'asse di rotazione trasversale del capo.

Cyon corredava di molte figure questa parte delle sue ricerche e aveva cura di distinguere – negli errori di percezione di direzione nell'oscurità – l'influenza dei canali semicircolari da quella che potevano avere la posizione degli occhi e i cosiddetti movimenti compensativi dello sguardo, che non avevano nulla che fare con l'attività dei canali semicircolari, i quali non subendo da quei movimenti alcuna eccitazione non potrebbero assolutamente influire sulla rotazione oculare. Nondimeno ribadiva il ruolo dell'orecchio come organo principe dell'orientamento spaziale e fondamentale per la formazione delle rappresentazioni nello spazio tridimensionale e, alla luce della "collaborazione armoniosa" tra il sistema visivo (le sensazioni visive del

nervo ottico) e le sensazioni di direzione del nervo vestibolare, poteva affermare la dipendenza dell'apparato oculo-motore dai canali semicircolari (*ivi*, pp. 229-30).

È così che il labirinto dell'orecchio comanda e evoca, secondo determinati fini fisiologici, i movimenti perfettamente coordinati di testa, tronco e globi oculari. Qui riposa la facoltà del labirinto di regolare e dirigere le forze di innervazione dell'apparato muscolare *volontario*. Come ho dichiarato categoricamente fin dal 1879, questa facoltà costituisce la condizione indispensabile del funzionamento dell'apparato dei canali semicircolari, così come l'organo del senso dello spazio. Il funzionamento simultaneo di certi muscoli degli occhi e della testa secondo gli stessi fini deve essere considerato la causa della stretta associazione tra taluni movimenti oculari e della testa da un lato e, dall'altro lato, certe percezioni e rappresentazioni direzionali, che hanno il loro punto di partenza nel labirinto (*ivi*, p. 230).

3. Rotazione spaziale e mentale

Considerando la complessità cinematica del movimento oculare, nell'ambito della teoria della visione si sono sviluppati studi recenti che hanno ripreso il modello dell'oftalmotropo. Dato il carattere non commutativo delle rotazioni in 3D, è nota la difficoltà di fornire una spiegazione intuitiva delle proprietà geometriche dei movimenti oculari e della loro influenza sulla visione mono- e binoculare. In questa direzione di ricerca, un modello di oftalmotropo virtuale potrebbe aiutare a ottenere una migliore visualizzazione della cinematica oculare e i tre sistemi di coordinate oculomotorie proposti nella storia ottocentesca da Helmholtz, Donders e Listing hanno costituito un punto di partenza e di raffronto per questa indagine di geometria delle proiezioni retiniche (Schreiber, Schor, 2007).

Nella psicologia dell'età evolutiva, il test di rotazione spaziale ha trovato impiego ai fini di una valutazione delle abilità di rotazione

mentale e di *imaginery* visuo-spaziale, e si è dimostrato utile non solo in vista di una comparazione di genere (i maschi sarebbero più predisposti per queste abilità), ma anche come “potenziale indicatore” delle abilità di lettura, e quindi nel quadro di una diagnosi di dislessia (DD) e di altri disturbi specifici dell'apprendimento (DSA). Concordando nel ritenere “cruciale” il ruolo dei processi visuo-spaziali nella lettura e nell'apprendimento, gli psicologi sono convinti che vi sia uno stretto legame tra il deficit in queste competenze e, in particolare, la dislessia (cfr. Giovagnoli, Vicari, Tomassetti, Menghini, 2016). I deficit visuo-spaziali interferirebbero nella comprensione di lettere e parole nei primi stadi del processo educativo, mentre nelle fasi più avanzate (con bambini di 10 e più anni) le disabilità visuo-spaziali ostacolerebbero la percezione globale della forma della parola nei bambini con DD. Se, da una parte, queste ricerche sperimentali concorrono a rafforzare la consapevolezza della complessità della lettura, processo cognitivo nel quale intervengono la vista, l'attenzione, la memoria ecc., da un'altra parte confermano l'importanza dei processi di rotazione spaziale, un fenomeno il cui significato era già stato colto nella psicologia fisiologica ottocentesca. Con il ricorso alla geometria e alla fisica, che si concretava nell'impiego dell'oftalmotropo e dei sistemi di coordinate, i fisiologi e gli psicologi del passato si proponevano di ottenere una migliore comprensione e sistematizzazione dei molteplici aspetti e fattori a fondamento della percezione visiva.

Riferimenti bibliografici

- CYON É. de (1911). *Loreille. Organe d'orientation dans le temps et dans l'espace*. Paris: Alcan.
- DONDERS F.C. (1846). Physiologische und pathologische aantekeningen van gemengden aard, IV: De bewegingen van het meselijk oog. *Nederlandsch Lancet*, 2, 104-108.
- DONDERS F.C. (1870). Die Bewegungen des Augen veranschaulicht durch der Phenophthalmotrop. *Archiv für Ophthalmologie*, 16(1), 154-175.
- FICK, A. (1854). Bewegungen des menlichen Augapfels. *Zeitschrift für rationelle Medicin*, 4, 101-128.

- GIOVAGNOLI G., VICARI, S., TOMASSETTI S., MENGHINI D. (2016). The Role of Visual-spatial Abilities in Dyslexia: Age Differences in Children's Reading? *Frontiers in Psychology*, 7, article 1997.
- HELMHOLTZ H. von (1863-64). On the Normal Motions of the Human Eye in Relation to Binocular Vision, *Proceedings of the Royal Society of London*, 13, 186-199.
- HELMHOLTZ, H. von (1867). *Handbuch der physiologischen Optik*. Leipzig: Voss.
- HERING E. (1868). *Die Lehre vom binokularen Sehen*. Leipzig: Engelmann.
- HERING E. (1879a). Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges. In L. Hermann (Ed.) *Handbuch der Physiologie*: Vol. 3. Physiologie des Gesichtssinnes (pp. 341-601). Leipzig: Vogel.
- HERING E. (1879b). Über Muskelgerausche des Auges. *Sitzberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse*, 79, 137-154.
- HOWARD I.P. (1999). The Helmholtz-Hering Debate in Retrospect. *Perception*, 28, 543-549.
- HUSSERL E. (1893). *Philosophische Versuche über den Raum* (trad. it. in V. Costa ed., *Libro dello spazio*, Guerini, Milano, 1996).
- KÜLPE O. (1893). *Grundriss der Psychologie. Auf experimentelle Grundlage dargestellt*. Leipzig: Engelmann.
- LENOIR T. (1993). The Eye as Mathematician. In D. Cahan (Ed.) *Hermann von Helmholtz and the Foundations of Nineteenth-Century Science* (pp. 109-153). Berkeley-Los Angeles-London: University of California Press.
- LENOIR T. (2006). Operationalizing Kant: Manifolds, Models, and Mathematics in Helmholtz's Theories of Perception. In N. Friedmann and A. Nordmann (Eds.). *The Kantian Legacy in the Nineteenth Century Science* (pp. 141-210). Cambridge (MA): The MIT Press.
- OPSTAL J. VAN (2018). 200 Years Franciscus Cornelis Donders. *Strabismus*, 26(4), 159-162.
- RUETE C.G.T. (1845). *Lehrbuch der Ophthalmologie für Aertze und Studierende*. Braunschweig: Vieweg.
- RUETE C.G.T. (1846). *Das Ophthalmotrop, dessen Bau und Gebrauch*. Göttingen: Vandenboeck und Ruprecht.
- RUETE C.G.T. (1853). *Lehrbuch der Ophthalmologie*. (Zw. Aufl.). Leipzig: Vieweg.
- RUETE C.G.T. (1857). *Ein neues Ophthalmotrop*. Leipzig: Teubner.
- SCHREIBER K.M., SCHOR C.M. (2007). A Virtual Ophthalmotrope Illustrating Oculomotor Coordinate Systems and Retinal Projection Geometry. *Journal of Vision*, 7(10), 1-14.
- SIMONSZ H.J., TONKELAAR I. den (1990). 19th Century Mechanical Models of

- Eye Movements, Donders' Law, Listing's Law and Helmholtz' Direction Circles. *Documenta Ophthalmologica*, 74, 95-112.
- SIMONZ H.J., WADE N.J. (2018). Why Donders, after describing pseudotorion, deny the existence of counterrolling together with Ruete, Volkmann, von Graefe and von Helmholtz, until Javal riconfirmed its existence? *Strabismus*, 26(4), 211-22.
- TRAETTA L. (2015). *Un vivisezionista alla ricerca di Dio. La fisiologia sperimentale di Élie de Cyon*. Milano: Mimesis.
- WADE N.J. (2010). Pioneers of eye movement research. *i-Perception*, 1, 33-68.
- WADE N.J., Tatler B.W. (2005). *The Moving Tablet of the Eye: the Origins of the Movement Eye Research*. Oxford–New York: Oxford University Press.
- WUNDT W. (1862a). *Beiträge zur Theorie des Sinneswahrnehmung*. Leipzig–Heidelberg: Winter.
- WUNDT W. (1862b). Beschreibung eines künstlichen Augenmuskelsystems zur Untersuchung der Bewegungsgesteze des menlischen Auges im gesunden und kranken Zustande. *Archiv für Ophthalmologie*, 8, 88-114.
- ZIMMERMAN E. (1928). *Wissenschaftliche Apparate. Psychologische und Physiologische Apparate. Liste 50*. Leipzig–Berlin: Zimmermann.