

5. Misteri degli specchi

Lo specchio inquietava il fondo d'un corridoio ...

J. L. Borges: *Tlön, Uqbar, Orbis Tertius*

Torniamo allo specchio

Dicevo che la punta del mio naso rimanda in tutte le direzioni all'intorno parte della luce che riceve, formando dei raggi con origine in detta punta. Eccomi ora davanti a uno specchio: un normalissimo specchio, anche piuttosto grande, sì che riesco a vedermi tutto. Come mai? Che cosa mi dice la fisica? e quello che mi dice la fisica basta?

Il mio naso, indifferente a chi ha davanti, continua a diffondere la luce, e una parte di questa arriva allo specchio. Che cosa fa lo specchio? Riflette. Ma questa è solo una parola: che cosa significa esattamente? Si possono fare esperimenti per vedere che cosa fa uno specchio alla luce, e si scopre che la fa "rimbalzare" proprio come la sponda fa rimbalzare le palle di un biliardo.

Ci sono delle semplici relazioni geometriche (l'angolo di riflessione è uguale all'angolo d'incidenza, i due raggi incidente e riflesso stanno in un piano perpendicolare allo specchio) ma questo è solo il modo per rendere preciso quello che alla buona ho detto col biliardo.

Abbiamo visto che dal mio naso partiva un intero fascio di raggi, in tutte le direzioni. Un bel po' di questi arriva sullo specchio e vengono riflessi. Come si dispongono questi raggi dopo essere stati riflessi? Una figura (fig. 5-1) mostra che succede una cosa molto semplice ed elegante: i raggi riflessi si dispongono a ventaglio, *come se venissero tutti da un punto DIETRO lo specchio*. Per esser precisi, questo punto sta giusto alla stessa distanza del mio naso, e in posizione *simmetrica*, ossia sulla stessa perpendicolare allo specchio.

Dove andranno questi raggi? Dovunque possano arrivare andando sempre dritti. Ma davanti allo specchio ci sono io, quindi alcuni di questi raggi mi verranno addosso; e una piccolissima parte di questi raggi, un sottile fascetto, trova la strada della mia pupilla (destra, ad es.). A questi raggi succede la stessa cosa che succedeva quando entravano nella *tua* pupilla: vanno a formare un cono che converge sulla *mia* retina.

Riassumendo: alcuni raggi partiti dalla punta del *mio* naso hanno incontrato lo specchio, si sono riflessi, sono arrivati alla *mia* pupilla destra, e sono finiti in un punto della retina. Ne consegue che il mio occhio destro manda al cervello l'informazione "qui davanti c'è una punta di naso." Ma non solo quella, perché anche il resto della mia faccia fa lo stesso, e sulla retina si forma perciò un'immagine della mia faccia. Ma io sono qui: dove vedrò io (ossia il mio cervello) questa "mia faccia"?

Dove esattamente?

Visto che la luce in realtà è arrivata dallo specchio, non c'è dubbio: la vedrò dentro lo specchio. Però concludere “la vedrò nella posizione dell'immagine virtuale” è quanto meno affrettato.

Il cervello è molto intelligente e usa molte informazioni, però “non sa” l'ottica geometrica e comunque *non è tenuto a rispettarla*. Userà tutte le informazioni di cui dispone, e non solo quelle sul percorso dei raggi, che da sole potrebbero essere insufficienti. Userà il fatto che gli occhi sono due (visione binoculare) e la possibilità di muovere la testa (cosa che si fa automaticamente, senza pensarci) per vedere come l'immagine si sposta. Ma userà anche ciò che “sa” per altra via: che gli esseri umani hanno generalmente certe dimensioni, che le case hanno pareti solide, ecc.

La prova che le cose stanno così è che a guardare negli specchi *s'impara* (v. dopo) come a maggior ragione si deve imparare a usare una lente. Ne ripareremo.

Se io non avessi modo di sapere che davanti a me c'è uno specchio, che sta appeso a un muro solido, ecc. ecc. (tutte cose che il mio intelligentissimo cervello sa e usa per interpretare i segnali che l'occhio gli manda) ... se invece mi trovassi in una stanza oscura con solo una lampada che m'illumina la faccia, se non sapessi che c'è il muro e lo specchio appeso ... insomma se le cose venissero disposte in modo da sottrarmi qualsiasi informazione che non sia la luce che mi arriva dallo specchio...

Se, se, se ... allora mi troverei in questa situazione: i raggi di luce arrivano da punti (ad es. la punta del naso) che stanno *al di là* dello specchio, in posizione simmetrica della mia. E il mio povero cervello, messo in questa difficile situazione, non potrebbe che concludere: “qui davanti, a una certa distanza, c'è una persona che mi somiglia terribilmente.”

In realtà io mi troverò in una stanza illuminata, vedrò e saprò che lo specchio è appeso al muro, e perciò non dirò che vedo “un'immagine virtuale situata dietro lo specchio,” ma più semplicemente che vedo “la mia immagine riflessa nello specchio” (frase che dal punto di vista della fisica è criticabile per più ragioni, come abbiamo visto).

Dove mi vedo? a che distanza? Per stimare la distanza il mio cervello userà tutte le informazioni di cui dispone, come ho già detto. Nelle condizioni in cui mi sono messo probabilmente il cervello darà la maggiore importanza al fatto che ... io sono io, con la mia altezza solita: quindi piazzerà l'immagine riflessa più o meno un metro dietro lo specchio (come in questo caso vorrebbe l'ottica geometrica) solo perché a quella distanza troverà accordo fra le dimensioni di ciò che vede e quello che già sa: che quello *sono io*, con la mia consueta altezza.

Questo non crea un trauma mentale (in quanto incompatibile col fatto che dietro lo specchio c'è un solido muro) solo perché sono allenato fin da piccolo a

vedere gli specchi e quello che riflettono. Non perché so di ottica geometrica e d'immagini virtuali! Avete mai provato a dare uno specchio in mano a un bambino da sei mesi a 3–4 anni, e avete osservato attentamente come si comporta? Quando è molto piccolo . . . lo lecca; semplicemente perché la bocca è il primo organo di senso con cui ha confidenza. Poi comincia a guardarci dietro. . . Passa un po' di tempo prima che accetti che ciò che vede è se stesso, o se preferite la sua . . . immagine.

Lo specchio cilindrico

Supponiamo ora che lo specchio in questione sia leggermente curvo, per es. sia una porzione di cilindro circolare ad asse verticale, di raggio piuttosto grande, per es. 4 metri. Io sto davanti allo specchio, diciamo a un metro. Che cosa cambia in quello che ho detto sopra? Ben poco.

I raggi dal mio naso si riflettono sullo specchio, e i raggi riflessi si sparpagliano a ventaglio, come prima. Però *non è più vero che provengono tutti da un unico punto* (la famosa “immagine virtuale” del mio naso) come si può verificare provando a fare un disegno accurato (fig. 5–2). Resta però vero che il solito sottile pennello di raggi attraversa la mia pupilla destra e arriva alla retina. Come sarà fatto questo pennello? Anche se sottile, a rigore è piuttosto complicato. . .

Prendiamo i raggi che partono dal naso in uno stesso piano verticale: questi incontrano lo specchio lungo una stessa generatrice, e perciò si comportano come se lo specchio fosse piano. Formano una “immagine virtuale” 1 metro dietro lo specchio. Prendiamo ora i raggi che partono invece in uno stesso piano orizzontale: questi incontrano lo specchio lungo una sezione orizzontale, che è una circonferenza di raggio 4 metri. Perciò si comportano come se lo specchio fosse sferico, di raggio 4 m e focale 2 m. Formeranno quindi una “immagine virtuale” situata 2 metri dietro lo specchio (fate il calcoletto!). Gli altri raggi che non ho considerati si comporteranno in modo intermedio: dunque non c'è nessun punto preciso da cui provengano *tutti* i raggi riflessi, il che nel gergo ottico si esprime dicendo che il fascio riflesso è “astigmatico.”

Di conseguenza, anche dopo la rifrazione nell'occhio resterà astigmatico, e formerà sulla retina una macchiolina che nessuno sforzo del cristallino potrà “mettere a fuoco.” Vuol dire forse che non vedrò nulla? Basta fare la prova: quello che si vede fa ridere, ma comunque si vede bene. . . Si vede bene perché lo sforzo di accomodazione per oggetti a 2 metri o a 3 metri non è molto diverso; in altre parole, perché l'astigmatismo del fascio è pressoché trascurabile, salvo per il fatto che impedisce di definire una precisa posizione dell'immagine.

Che c'è da ridere?

Perché quello che vedo fa ridere? Perché mi vedo tremendamente ingrassato (un fattore $4/3$, per l'esattezza). Perché mi vedo ingrassato e non invece

“sbassato” dello stesso fattore? Questa domanda equivale all’altra: vedrò il mio “io” riflesso a un metro dietro lo specchio, oppure a due metri, o dove?

Vediamo meglio. L’immagine che si forma sulla retina ha proporzioni “sbagliate” rispetto al mio corpo. Infatti in verticale (specchio piano) ho:

- distanza da me: 2 metri
- altezza: come l’originale, poniamo 1.7 m.

Invece in orizzontale (specchio sferico) ho:

- distanza da me: 3 metri
- larghezza: doppia dell’originale (lo specchio sferico dà un’immagine ingrandita 2 volte).

Se l’originale è largo 50 cm, avremo larghezza 1, distanza 3.

Il cervello è libero di modificare la distanza a cui pone l’immagine, ma deve conservare gli angoli, che provengono dall’impressione sulla retina. Se situa il tutto a 2 metri, si mantiene l’altezza a 1.7 m, ma la larghezza diventa $2/3$ di metro; invece per avere la vera larghezza (0.5 m) dovrebbe porre l’immagine a 1.5 m da me, ma allora dovrebbe attribuire a quell’immagine un’altezza che è solo $1.7 \times (1.5/2) = 1.27$ m.

Potrei dunque vedermi:

- a) a “larghezza naturale,” e altezza ridotta a $3/4$
- b) ad altezza naturale ma larghezza aumentata di $4/3$
- c) con dimensioni intermedie o diverse.

Da che cosa dipende la scelta? Dal fatto che io *so* che ci sono esseri umani più o meno grassi, anche molto più di me, ma sono rari quelli tanto più bassi e soprattutto non potrebbero stare sospesi in aria: infatti io *vedo* la testa-immagine alla stessa altezza della mia, *so* dove sta il pavimento... Perciò attribuisco alla figura nello specchio la mia stessa altezza, e sono obbligato e vederla più grassa ... il che fa ridere.

Ho scelto questo esempio ... strampalato (che non a caso nessun libro di ottica considera mai) perché mostra all’evidenza che il cervello ... ignora nel modo più completo ciò che i dogmi dell’ottica geometrica vorrebbero imporgli: in un modo o nell’altro qualcosa vede sempre!