

di farmi sapere quello che avete ottenuto riguardo la molatura delle lenti iperboliche, mi sento obbligato a informarvi di quello che un molatore di Amsterdam ha fatto per un mio amico». ²⁵

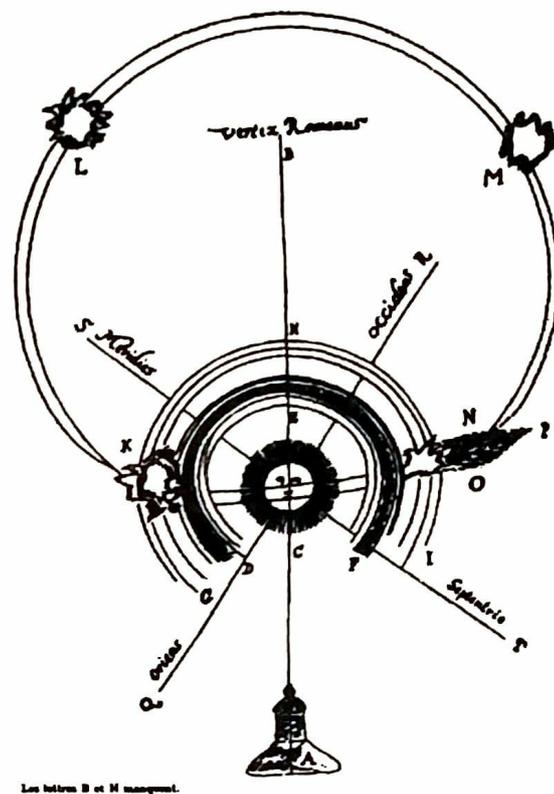
Questo artigiano olandese aveva costruito con buon risultato un tornio da lucidatura, ma non era riuscito a fare in modo che la mola conservasse la forma originaria. Il margine di rame non aderiva adeguatamente al margine di legno della ruota, e la polvere usata come abrasivo fondeva insieme al rame. Descartes non intuiva alcuna soluzione semplice, ma comprendeva pienamente che le sue speranze, se ve n'erano, erano da cercarsi a Parigi: «Se qualcuno può riuscire, siete voi!». ²⁶ Queste sono le ultime parole di cui rimanga memoria rivolte da Descartes a Jean Ferrier. Rappresentano un toccante riconoscimento dell'abilità dell'artigiano e un'indicazione che nonostante fosse principalmente incline alla speculazione, Descartes riconosceva che le arti manuali erano fondamentali nella creazione di una nuova scienza meccanica. ²⁷

Un segno nel cielo

Dobbiamo ora tornare all'estate del 1629. A quel tempo Descartes era ancora impegnato nella stesura del trattato di metafisica, ma aveva appena avuto una nuova idea per molare lenti migliori, e aveva scritto a Ferrier invitandolo ad aiutarlo per mettere in pratica tale intuizione. Una simile disposizione a studiare gli strumenti ottici indica un desiderio di accantonare la speculazione astratta, e non è sorprendente che Descartes avesse completamente messo da parte la sua metafisica quando i suoi interessi per l'ottica furono ridestati da un segno dei cieli.

Intorno alle 14 del 20 marzo 1629, a Roma, l'astronomo gesuita Christoph Scheiner e numerosi amici trasalirono all'inaspettata apparizione di quattro pareli o «finti soli». Questo straordinario fenomeno ottico, la cui natura al tempo non era nota, si verifica quando il Sole filtra attraverso una nube sottile composta di cristalli di ghiaccio esagonali con l'asse principale in posizione verticale. Si ha la rifrazione attraverso un prisma di 60 gradi e di conseguenza i colori dello spettro solare sono deviati con angoli di poco differenti. L'estremità rossa dello spettro, l'ultima a essere deviata, appare all'interno, mentre il blu, quando è visibile, appare all'esterno. Solitamente è visibile un solo cerchio, ma in quella occasione se ne osservarono tre accompagnati da quattro macchie di luce brillante, i pareli, che sono immagini rifratte del Sole.

Una descrizione del fenomeno venne spedita nel sud della Francia a



Les lettres B et M manquent.

Figura 3

Nicolas-Claude Fabri de Peiresc. Questo ricco dilettante ne trasse delle copie e le fece circolare ampiamente (fig. 3). Numerose di queste giunsero a Gassendi che nell'estate del 1629 stava visitando l'Olanda, ed egli ne diede una a Renieri che la fece avere a Descartes. ²⁸ Quest'ultimo si stupì notando che i primi due cerchi erano simili ad arcobaleni, e capì immediatamente che se fosse riuscito a comprendere la natura dell'arcobaleno, sarebbe stato in grado di spiegare non solo i pareli, ma l'ottica tutta.

Il richiamo dell'arcobaleno

Lo spettacolo offerto da un arcobaleno è meraviglioso e incute soggezione. Per Descartes e i suoi contemporanei questi fenomeni rappresentavano anche una sfida intellettuale ed erano largamente studiati. ²⁹ Ad esem-

pio nella popolare *Récréation mathématique*, pubblicata per la prima volta nel 1624, il gesuita Jean Leurechon descrive come sia possibile osservare arcobaleni nelle fontane, negli spruzzi sollevati dai remi, in un bicchiere d'acqua, nelle bolle di sapone, o in un prisma triangolare. Tutti sapevano che si trattava di una questione di riflessione e rifrazione, ma nessun filosofo naturale o matematico era in grado «dopo tutti questi anni e tante speculazioni», scriveva Leurechon, di superare questa vaga generalizzazione.¹⁰

Quando Descartes fece ritorno a Parigi nel 1625, Mersenne ansiosamente interrogava i suoi amici circa le proprietà dell'arcobaleno, e dopo poco tempo compose un esteso saggio sul fenomeno, che rimase in forma di manoscritto.¹¹ Nel settembre 1629, accennò ai pareri in una lettera a Descartes, il quale rispose l'8 ottobre di averne sentito parlare un paio di mesi prima e, dato che riusciva a concentrarsi solo su un argomento alla volta, di avere interrotto la stesura del suo saggio di metafisica «per esaminare con metodo tutte le meteore» (vale a dire tutti i fenomeni atmosferici). «Credo», aggiungeva, «di potere ora darne conto e ho deciso di scrivere un trattatello che includerà una spiegazione dell'arcobaleno, la questione che ha presentato le maggiori difficoltà».¹²

Descartes aveva intenzione di scrivere quello che chiamava «il saggio della mia filosofia» in latino e di pubblicarlo anonimo a Parigi. Nel frattempo pregava Mersenne di non fare cenno al suo progetto, cosicché egli potesse nascondersi dietro il suo lavoro e ascoltare quello che se ne diceva quando fosse stato pubblicato.¹³ Quest'opera prese molto più tempo del previsto, e il trattato sull'arcobaleno venne pubblicato solo nel 1637 come Discorso ottavo delle *Meteore*.¹⁴ Non fu pubblicato in latino e a Parigi, ma in Olanda e in francese. Tuttavia, fu mantenuto l'anonimato.¹⁵ Credo che questo Discorso ricalchi sostanzialmente il lavoro abbozzato da Descartes nel 1629. Se lo avesse rivisto prima della pubblicazione, sicuramente avrebbe accentuato la connessione con la *Diottrica*, mentre appariva come uno studio indipendente sull'arcobaleno, e veniva offerto come un esempio fondamentale del metodo.

L'arcobaleno è una meraviglia della natura così notevole e la sua causa è stata in ogni tempo ricercata con tanta curiosità dai buoni ingegni e così poco nota, che non potrei scegliere argomento più adatto per mostrare come sia possibile raggiungere, mediante il metodo di cui mi servo, conoscenze assolutamente non possedute da coloro di cui abbiamo gli scritti.¹⁶

Fin dai tempi di Aristotele l'arcobaleno era stato largamente studiato. Descartes ostenta fiducia nelle proprie capacità, se non arroganza, accingendosi allo studio come se non avesse nulla da imparare dai suoi prede-

cessori. La sua esperienza e il suo intelletto soli sono a suo parere sufficienti per rendere conto di questa meraviglia della natura, e Descartes volutamente dà l'impressione di essere giunto alla sua scoperta semplicemente domandandosi perché si possono osservare degli arcobaleni negli spruzzi delle fontane. Egli comprese che la spiegazione deve tenere conto dell'azione della luce sulle gocce d'acqua, e decise di realizzarne «una assai grossa per poterla meglio esaminare (...) avendo a tal fine riempito d'acqua una grande ampolla di vetro completamente tonda e molto trasparente».¹⁷ La tecnica era molto meno originale di quel che lasciasse credere Descartes ed era stata usata dal fisico e filosofo medievale Witelo (nato circa nel 1230), e dallo scienziato siciliano del Rinascimento Francesco Maurolico (1494-1575).¹⁸

L'eloquenza di una goccia d'acqua

Descartes tenne in mano la sfera con il braccio teso e scoprì che quando la muoveva o la faceva ruotare compariva sempre una macchia brillante in un punto tale che tirando da esso una linea fino all'occhio si otteneva un angolo di 42 gradi con la linea che passava attraverso il Sole per giungere fino all'occhio stesso. Già questo era un notevole miglioramento rispetto ai calcoli di Maurolico che aveva stimato per l'angolo un valore di 45 gradi, ma il risultato più importante di Descartes era dovuto all'audace generalizzazione compiuta sostenendo la validità dell'esperimento per tutte le gocce d'acqua sospese in aria. Era audace supporre, contrariamente ai primi studiosi di ottica, che le gocce di acqua non venissero deformate in modo irreversibile quando erano pressate insieme a formare un arcobaleno. L'apparente semplicità dell'idea non dovrebbe trarci in inganno circa la sua arditezza.

Descartes proiettò l'ampolla d'acqua sulla sfera celeste (fig. 4) e la usò come una sorta di supergoccia per spiegare il modo in cui la luce viene riflessa e rifratta per produrre l'arcobaleno. In altre parole, descrisse la sua osservazione dell'ampolla come se si trattasse di una delle migliaia di gocce che formano l'arcobaleno. Lo poteva fare perché presupponeva di avere tipodotto in «laboratorio» le condizioni atmosferiche.

Come abbiamo visto, Descartes stabilì che una macchia rossa brillante compariva nel punto *D* quando l'angolo *DEM* valeva circa 42 gradi. Se si aumentava di poco questo valore, la macchia scompariva, ma se si diminuiva di poco, non spariva immediatamente, ma si divideva in «due parti meno splendenti e nelle quali si scorgevano del giallo, del blu e altri co-

lori». ¹⁰ Descartes osservò anche una macchia rossa più debole in *K* quando l'angolo *KEM* valeva circa 52 gradi. Quando tale angolo veniva aumentato o diminuito, si otteneva lo stesso risultato osservato in *D* ma nell'ordine inverso, cioè un piccolo aumento causava l'apparizione di altri colori più deboli, mentre una piccola diminuzione li faceva sparire tutti. Descartes concludeva che quando l'atmosfera è satura di gocce di pioggia, su ognuna di esse devono apparire macchie rosse in punti posti su una linea che forma angolo di 42 o 52 gradi con la linea *EM*, dando quindi origine a un arcobaleno primario che passa in *D* (con il rosso sull'estremo superiore e il viola su quello inferiore) e a un arcobaleno secondario più alto e più debole con i colori in ordine inverso (il rosso sull'estremo inferiore e il viola su quello superiore).

Riuscire a determinare l'angolo dell'arcobaleno interno ed esterno rappresentava già un notevole progresso rispetto ai tentativi precedenti, ma il passo successivo era ancora più importante. Riguardava il cammino da

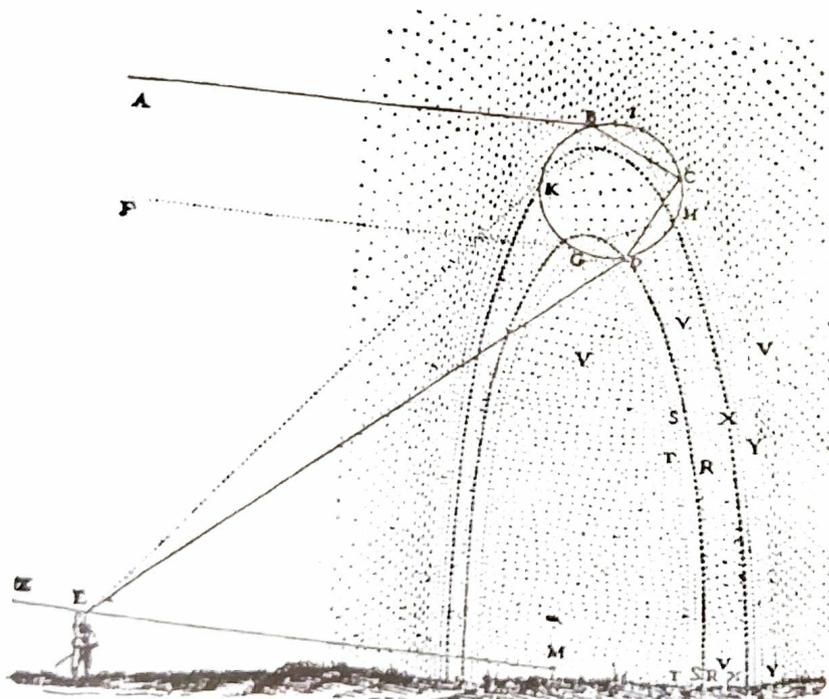


Figura 4

B a *D* percorso dal raggio di luce incidente quando viaggiava all'interno della sfera d'acqua. Ancora una volta Descartes fece una tacita assunzione semplificatrice: diede per scontato che si potesse trascurare la rifrazione attraverso la parete in vetro dell'ampolla, e trattò il problema come se l'intera sfera fosse di pura acqua. Mostrò anche una considerevole abilità sperimentale nella sua ricerca, sebbene non abbia fornito il resoconto dettagliato che siamo abituati ad aspettarci da un fisico.

Interpose un corpo opaco tra *A* e *B*, e quindi tra *D* ed *E*. In entrambi i casi la macchia rossa in *D* scompariva. Dato che la sfera era aperta nella parte superiore, riuscì a far scivolare un corpo opaco tra *B* e *C*, e poi tra *C* e *D*. Anche in questo caso la macchia in *D* scompariva. Quindi coprì del tutto la sfera e scoprì che, lasciando un'apertura in *B* e in *D*, la macchia rossa era ancora visibile. Era quindi chiaro per Descartes che il raggio incidente *AB* veniva *rifratto* al momento di entrare nella sfera in *B*, si dirigeva in *C* dove veniva *riflesso* internamente verso *D*, da dove veniva di nuovo *rifratto* al momento di uscire in aria. L'arcobaleno interno aveva dunque origine da *una sola riflessione e due rifrazioni*. Descartes ripeté lo stesso procedimento per la macchia in *K* e determinò che l'arcobaleno secondario originava dal raggio *FG* che veniva *rifratto* in *G*, *riflesso* internamente in *H* e in *I*, e finalmente *rifratto* al momento di entrare nuovamente in aria in *K*. Questa volta si avevano *due riflessioni e due rifrazioni*.

Perché angoli di 42 e 52 gradi?

Questo lavoro è brillante, ma Descartes lo presentava esclusivamente come un argomento propedeutico alla domanda: perché compare una macchia rossa solo in quei punti delle gocce tali che linee che li congiungono all'occhio formano un angolo di 42 o 52 gradi con *EM*? In altre parole, perché esse devono tutte sottendere lo stesso angolo e giacere sulla superficie di un cono con il vertice nell'occhio?

Descartes si trovava nella fortunata posizione di essere in grado di affrontare questo problema perché disponeva dello strumento richiesto per misurare non solo la riflessione, che è facile da determinare, ma anche la rifrazione, che sfuggiva a tutti i suoi contemporanei tranne Snell, il quale non aveva però pensato di servirsene per spiegare l'arcobaleno. La legge del seno permetteva a Descartes di calcolare l'inclinazione di un raggio incidente in ingresso o in uscita da una goccia d'acqua ma, rivelando in modo sintomatico la sua mancanza di onestà intellettuale, egli non affermò questo in modo semplice e privo di equivoci. Al contrario fornì una traccia

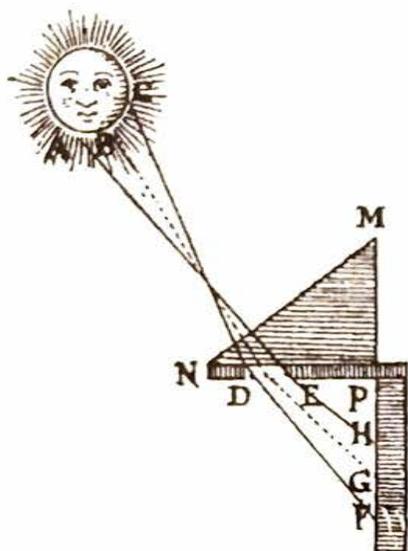


Figura 5

approssimativa del suo effettivo itinerario di pensiero:

Restava ancora la principale difficoltà, sapere cioè come mai, pur essendoci parecchi altri raggi che, dopo due rifrazioni e una o due riflessioni, possono tendere verso l'occhio quando tale ampolla è in altra posizione, non siano tuttavia che quelli di cui ho parlato che facciano apparire alcuni colori. Per risolverla ho cercato se non vi fosse proprio nessun altro oggetto ove questi colori apparissero nello stesso modo, affinché, mediante il paragone dell'uno con l'altro, potessi stabilir meglio la loro causa. In seguito, essendomi ricordato che un prisma o triangolo di cristallo ne fa vedere di simili, ne ho considerato uno del tutto simile a questo *MNP* [fig. 5].⁴⁰

Interrogando il prisma

Sarebbe stato più semplice porre la questione in questi termini. La luce che attraversa un prisma viene scomposta nei colori dell'arcobaleno, ed è quindi possibile studiare la produzione di questi, soprattutto perché è noto che l'indice di rifrazione (ovvero il valore del rapporto $\sin i / \sin r$) vale $3/2$. Questo è l'aspetto più sorprendente, perché le *Meteore* sono successive alla *Diottrica* dove Descartes aveva reso nota la sua scoperta. Come ho suggerito, la spiegazione più verosimile per questo fatto è che il trattato sull'arcobaleno fu scritto nel 1629 e incorporato senza ulteriori revisioni nelle *Meteore* pubblicate nel 1637. Durante la stesura del brano appena

citato Descartes era massimamente interessato a rivendicare la metodologia già invocata nella ottava delle *Regole*. Come abbiamo visto nel capitolo 7, egli raccomandava di ragionare a partire da situazioni analoghe se l'intuizione diretta non riusciva a rivelare la natura del caso in questione.⁴¹ Allorché non fu in grado di comprendere immediatamente per quale motivo l'arcobaleno si manifestasse solo se i raggi si trovavano a certi angoli fissi, cercò « qualche altro oggetto » in cui la rifrazione fosse allo stesso modo determinata da un qualche rapporto costante. Descartes sapeva bene che il prisma era un oggetto di questo tipo, anche se scrive come se dovesse recuperare questa nozione dagli anfratti della memoria.

Assumere che la rifrazione in una goccia d'acqua potesse, senza ulteriori complicazioni, essere trattata in analogia con la rifrazione in un materiale diverso, come il vetro, non sarebbe apparso ovvio a molti filosofi naturali del secolo XVII. Ma nelle *Regole* Descartes era già giunto alla conclusione che esiste solamente un unico genere di materia che abbia come proprietà essenziale l'estensione geometrica. Ne deriva una legittimità delle analogie tra oggetti materiali diversi. Nel nuovo mondo della quantità, le qualità non rappresentano più differenze sostanziali, e la misura acquista una propria dignità.

Il termine dell'analogia è il prisma *MNP* (fig. 5) attraverso il quale la luce solare viene riflessa dopo aver attraversato una sottile fenditura *DE* posta sulla superficie *NP* altrimenti oscurata. I colori dell'arcobaleno appaiono su uno schermo bianco posto in *PHGF*, con il rosso dalla parte del punto *F* e il blu dalla parte di *H*. Da questo esperimento Descartes trasse alcune conclusioni, che trovano tutte applicazione nell'analogia tra la goccia d'acqua e il prisma:

- l'apparizione dei colori non è causata dalla superficie curva della goccia, dal momento che ambedue le facce *MN* e *NP* del prisma sono piane;
- non è necessaria la riflessione, dal momento che nell'esempio non si verifica;
- non sono necessarie molte rifrazioni, ammesso che ne abbia luogo almeno una e che, qualora ne avvengano due, la seconda non annulli l'effetto della prima, cosa che accadrebbe se le facce *MN* e *NP* fossero parallele;
- è necessario che ci sia ombra, perché non appena la fenditura *DE* è fatta troppo ampia, i colori appaiono solo sul bordo, e il centro rimane bianco. Se la fenditura è ancora allargata, i colori svaniscono del tutto.⁴²

Ma perché il rosso compare in *F* e il blu in *H*? A questo punto ha inizio il lavoro teorico, che è fortemente connesso con lo sviluppo della visione cosmologica di Descartes. Questo aspetto dell'evoluzione cartesiana è noto dalla lettura del *Mondo* (il titolo completo è *Il mondo ovvero Trattato della luce*) che porta anch'esso una data prossima al 1630, anche se venne pubblicato solo postumo nel 1664.

Particelle sferiche di luce

Nel *Mondo* Descartes riduce i quattro elementi tradizionali di fuoco, aria, terra e acqua ai primi tre. Questi non sono più distinti da qualità intrinseche come per Aristotele e i suoi seguaci, per i quali il fuoco era caldo e secco, l'aria calda e umida, la terra fredda e secca. Per Descartes esiste un solo tipo di materia, che subisce variazioni unicamente per quanto riguarda dimensione, forma, disposizione e velocità delle sue parti. Le particelle della terra sono grandi, irregolari e lente, mentre quelle dell'aria sono piccole, lisce e sferiche. Le particelle del fuoco sono così piccole da potere all'istante riempire gli spazi tra le particelle di aria, che a loro volta si insinuano negli spazi tra le particelle di terra. Ne consegue che questo universo è un *plenum* senza vuoto di alcun genere.⁴¹

Più avanti studieremo ancora le proprietà dell'universo, ma per il momento è sufficiente considerare le piccole particelle sferiche di aria attraverso le quali si trasmette la pressione a partire da una sorgente luminosa. Nella sezione delle *Meteor* che stavamo considerando, Descartes scrive che dobbiamo immaginare queste particelle «come piccole sfere ruotanti nei pori dei corpi terrestri». Se le sfere circostanti si muovono alla stessa velocità, «la loro rotazione è quasi uguale al loro moto rettilineo», mentre se le sfere circostanti si muovono più velocemente o più lentamente, la rotazione di quelle viene aumentata o diminuita. In altre parole Descartes suppone che al bordo dell'ombra, vale a dire in *D* e in *E* nella figura 5, il movimento rotatorio delle sfere subisca una perturbazione che determina l'apparire dei diversi colori dell'arcobaleno.⁴²

Sapendo che ogni fenomeno fisico e ottico deve avere una spiegazione in termini di dimensione, forma e movimento delle particelle estese, e che le particelle d'aria hanno identica dimensione e forma, la comparsa del colore si può interpretare solo come una variazione di velocità di quelle particelle. Immaginiamo una sfera 1 2 3 4 (fig. 6), spinta obliquamente da *V* verso *X*, che acquista un moto rotazionale nell'istante in cui raggiunge la superficie dell'acqua *YY*. Secondo Descartes si produce questo fenomeno perché quando si verifica il contatto con la superficie dell'acqua, il movimento del lato 3 viene frenato, mentre quello del lato 1 continua ancora per un breve intervallo di tempo con velocità invariata. Di conseguenza la sfera è costretta a ruotare in senso orario, ovvero nel senso delle cifre 1, 2, 3, 4. Immaginiamo ora che la sfera sia attorniata da altre quattro sfere *Q*, *R*, *S* e *T*, delle quali *Q* e *R* si muovano ancora con velocità invariata, mentre *S* e *T* con velocità minore. Secondo Descartes *Q*, facendo

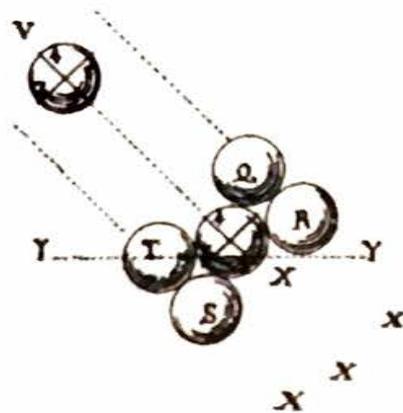


Figura 6

pressione sulla parte 1, e *S*, frenando la parte 3 della sfera, aumentano la sua rotazione, mentre le sfere *R* e *T* non la ostacolano perché *R* «è incline a muoversi verso *X* più rapidamente di quanto quella non la segua e *T* non è disposta a seguirla tanto velocemente quanto essa la precede».⁴³

Nella descrizione dell'esempio Descartes commette un curioso errore. Egli afferma infatti che la rotazione della sfera in direzione 1, 2, 3, 4 viene aumentata da *Q* e *S*, mentre il disegno mostra che l'effetto è dovuto alle sfere *Q* e *R*, e non a *S*. Dalla spiegazione del disegno è chiaro che non si tratta solamente di una svista tipografica. Questo episodio tradisce il temperamento gallico di Descartes, che abbozzava un'idea che gli pareva promettente e dopo una sommaria verifica di affidabilità non si curava più della questione. Non era interessato ai dettagli, dal momento che sicuramente altri si sarebbero assunti l'onere di quantificare e sperimentare le sue teorie.

Una attenta lettura delle *Meteor* rivela che Descartes non dice in modo semplice e diretto che le sfere *R* e *T* si muovono *più velocemente* o *più lentamente* della sfera 1 2 3 4 che è appena entrata in acqua. Supponendo che la trasmissione della luce sia istantanea in un *plenum*, egli adotta una terminologia (almeno quando misura le parole) che implica un moto virtuale, ma in modo tale che le proprietà di questo moto sono identificate con quelle del moto reale. Per questo motivo nel brano considerato egli non descrive le quattro sfere *Q*, *R*, *S*, *T* come semplicemente in moto, ma come «tendenti» o «inclin» a muoversi più velocemente o più lentamente. Non solo Descartes attribuisce la stessa proprietà essenziale dell'estensione a tutta la materia, ma con audacia assegna le stesse caratteristi-

che al moto virtuale e reale. La tanto derisa «potenzialità» degli scolastici non è tanto negata quanto trasformata in una sorta di «attualità».⁴⁶

Mutazioni istantanee

Ogni considerazione di Descartes nasconde reminiscenze parmenidee, ma la connessione più ovvia e immediata è con il mondo della magia nel quale le parole magiche e il successivo effetto spettacolare si susseguono a breve intervallo. Dobbiamo ricordare che pur rifiutando le connessioni causali non meccanicistiche e quindi le relazioni occulte pretese dalla magia, Descartes non ripudiò mai le mutazioni istantanee. Per certi aspetti quella non era magia. Si trattava di un fenomeno meraviglioso, naturalmente, ma poteva avere una spiegazione entro i confini di una realtà così estesa da abbracciare qualunque cosa «realmente» virtuale.

Mi pare infatti che tutto questo dimostri con grand'evidenza che la natura dei colori che appaiono verso *F* [fig. 5] consista solo nel fatto che le parti della materia sottile che trasmette l'azione della luce tendono a ruotare con maggior forza piuttosto che a muoversi in linea retta in modo che quelle che tendono a ruotare assai più forte causano il color rosso e quelle che vi tendono solo un po' più forte il giallo.

«In tutto ciò», continua Descartes, «la ragione s'accorda così perfettamente con l'esperienza che non mi par possibile, dopo aver ben considerato e l'una e l'altra, dubitare che la cosa stia diversamente da come ora l'ho spiegata». Questo è autoevidente per Descartes, poiché, secondo le sue ipotesi meccaniciste, «non è possibile poi trovare nel cristallo *MNP* qualcosa che possa produrre colori, se non il modo in cui esso invia le particelle della materia sottile verso la tela *FGH* e di là verso i nostri occhi».⁴⁷

Apparenza e realtà

La spiegazione meccanicistica dei colori implica la loro oggettività, e Descartes non si lascia sfuggire l'occasione di assumere una posizione polemica: «Non posso accettare la distinzione dei filosofi, là dove sostengono che vi sono colori veri ed altri che sono solo falsi o apparenti».⁴⁸ Non fa il nome di questi filosofi, ma gli autori gesuiti del commento di Coimbra ad Aristotele ritenevano che esistessero colori veri e permanenti, come il bianco in un cigno o il nero in un corvo, e colori apparenti e transitori.

come quelli che si mostrano nell'arcobaleno.⁴⁹ Secondo Descartes tutti i colori sono «apparenze», vale a dire risposte fisiologiche agli stimoli delle particelle sottili di materia che hanno valori diversi di velocità rettilinea e di rotazione. In questo senso, «la vera natura dei colori», come scrive, «sta solo nell'apparire» e sarebbe sciocco affermare «che sono falsi quando sono effettivamente apparenti». Le apparenze devono peraltro essere spiegate in modo coerente mentre è difficile nascondere le lacerazioni in quella che Descartes definiva la tunica senza cuciture della sua filosofia naturale.

Forse possiamo riassumere come segue la natura dei problemi implicati dalla questione. Inizialmente Descartes interpretò i diversi colori in termini di differenze di velocità lineari e di rotazione delle particelle sferiche della materia sottile. Quando si accorse che queste particelle erano a distanza così ravvicinata da non permettere l'esistenza di alcuno spazio vuoto, gli fu chiaro che la luce si poteva trasmettere solo istantaneamente. Ovviò a questa incoerenza definendo la trasmissione istantanea della luce come virtuale o «tendenziale». Questa era la sua prima grande difficoltà. La seconda riguardava la necessità di conciliare la legge di conservazione dell'inerzia rettilinea (su cui ritorneremo nel capitolo 11), con l'apparente inerzia di rotazione delle particelle sferiche di materia sottile.

Questi problemi furono evidenti appena le idee di Descartes divennero note e furono oggetto di discussione. Per questo motivo esamineremo le reazioni dei lettori alla pubblicazione dell'interpretazione cartesiana del colore nel 1637, prima di considerare i passi compiuti da Descartes nelle *Meteore* per spiegare perché vediamo solo un arcobaleno composto di raggi che formano un angolo di 42 o 52 gradi con la direzione originale.⁵⁰

Le reazioni alla teoria cartesiana dei colori

Descartes distribuì copie del *Discorso sul metodo* e dei tre trattati che lo accompagnavano a studiosi eminenti del mondo accademico. Ne spedì tre copie al professore di medicina di Lovanio, Plempius, che ne diede una a Jean Ciermans, un giovane collega gesuita che insegnava matematica. Quando Descartes apprese da Plempius che questi aveva fatto leggere l'opera a un gesuita volle sapere i commenti di quest'ultimo. Ciermans fu lieto di assentire, ma inoltrò la sua lettera a Descartes attraverso Plempius per mantenere una sembianza di anonimato.

Ciermans dice di avere letto l'intero lavoro, vale a dire la *Diottrica*, le *Meteore* e la *Geometria*, fatta eccezione del discorso di introduzione, cioè il *Discorso sul metodo* (l'atteggiamento verso le introduzioni nel secolo XVII non deve essere stato molto diverso da quello di oggi!). Ciermans è insincero nel suo elogio della *Geometria* e ne paragona l'autore a un navigatore

«che lascia le coste familiari per affrontare la sfida di un nuovo mondo». Ritiene più controversi gli altri due saggi, e sceglie quale materia di discussione la spiegazione dell'arcobaleno perché qui soprattutto, dice, «si mostra la brillantezza di Descartes». ⁵¹ Solitamente così suscettibile di fronte alla minima critica, Descartes si dichiarò deliziato dalla scelta di Ciermans, perché l'arcobaleno era l'esempio più importante del suo metodo. Tuttavia, sorprendentemente, ne minimizzò il significato:

Scegliendo il brano in cui cerco di spiegare i colori per mezzo della rotazione di piccole sfere, tra tutti quelli nei miei scritti che a Vostro giudizio hanno bisogno di essere formulati in modo più rigoroso, mostrate di non essere un novizio in questo genere di guerra. Perché se c'è un punto in quel saggio che risulta mal difeso ed esposto al fuoco nemico, quello è, lo confesso, il punto che Voi attaccate. ⁵²

Tutto ciò implica che la forza metodologica cartesiana sarebbe ancora ben difesa quand'anche questo particolare avamposto venisse travolto. La cortesia che Descartes usa con Ciermans può anche celare la speranza di conquistare i gesuiti con le sue teorie, e inoltre è importante notare che Ciermans non tenta di criticare le opinioni di Descartes nell'interesse di qualche altra filosofia, ma alla luce delle sue stesse assunzioni.

Un caso di interferenza

Dal testo di Descartes, nel quale si leggeva che la rotazione *effettiva* delle sfere di materia sottile causava l'apparire dei diversi colori, Ciermans concludeva che l'interferenza impedirebbe di vedere i colori con chiarezza e distinzione. Egli immaginava la seguente situazione: le sfere di un raggio di luce rossa (indicate con *A*) viaggiano verso un osservatore situato nel punto *B*, mentre le sfere di un altro colore, diciamo il blu (indicate con *D*), si muovono verso un osservatore in *E* (fig. 7). Dal momento che i due raggi si incrociano in *F*, le sfere del rosso che ruotano più velocemente saranno rallentate da quelle del blu che ruotano più lentamente, con la conseguenza che né l'osservatore in *B* né quello in *E* avranno una percezione del puro rosso o del puro blu.

Ciermans anticipò la risposta di Descartes affermando che le sferette di materia sottile non interferiscono reciprocamente. Ma allora, chiedeva, come possono spiegare l'accelerazione o il rallentamento della luce uscente da un prisma? Se le sfere di materia sottile collidono in aria senza alcun effetto apparente, perché dovrebbero comportarsi diversamente in entrata o in uscita da un prisma di vetro? ⁵³

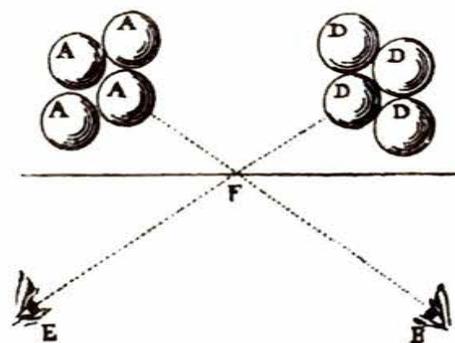


Figura 7

L'analogia con il suono

Ciermans non lo sapeva, ma Descartes aveva già affrontato questo problema nel *Mondo* sostenendo che le particelle del secondo elemento, l'aria, potevano ricevere e trasmettere «simultaneamente molti movimenti diversi». ⁵⁴ Egli lo descriveva nel seguente modo (fig. 8): tre tubi si incontrano al centro in *N*, e l'aria che vi viene soffiata dalle aperture *F*, *H* e *K* non devia dal suo percorso verso *G*, *I* e *L*. Se l'aria viene spinta con più forza in *F* piuttosto che in *H* e *K*, l'aria raggiungerà solo l'estremità *G*. «Questo stesso paragone», secondo Descartes, «può servire a spiegare in che modo una luce forte può impedire l'effetto di luci più deboli». ⁵⁵

Senza conoscere l'inedito *Mondo* di Descartes, il fisico e astronomo francese Jean-Baptiste Morin, servendosi di un diagramma praticamente identico a quello di Descartes, sollevò la stessa difficoltà evidenziata da Ciermans. Si prenda, dice Morin, un globo d'aria o di vetro, *ABCD*, e si pongano due sorgenti luminose della medesima intensità in *A* e in *B* (fig. 9). Secondo Descartes la luce proveniente da *A* sarà vista in *C* se le particelle di materia sottile nel centro *E* vengono spinte verso *C*. Lo stesso ragionamento vale per le particelle di materia che scorrono da *B* a *D* e di conseguenza si verifica una situazione paradossale dove si pretende che le particelle materiali in *E* si muovano in due direzioni differenti nello stesso tempo! ⁵⁶

La critica di Morin diede l'avvio a una interessante anche se inconcludente corrispondenza. In una lettera del luglio 1638, Descartes si servì del diagramma di Morin, ma parlò dell'aria piuttosto che della luce che viene

trasmessa attraverso i tubi *AC*, *BD* e *FG*, e tralasciò di ricordare che una corrente più forte proveniente da *A* interferirebbe con quelle più deboli che provengono da *B* e da *F*. Al contrario, fornì una spiegazione combinando le velocità come semplici quantità scalari e non vettoriali (vale a dire, come se potessero venire sommate senza riguardo alla loro direzione). Mentre Descartes riconosceva che le particelle di materia sottile all'intersezione dei tubi in *E* non potevano muoversi in tre direzioni nello stesso tempo, considerava sufficiente «il fatto che alcune si muovono verso *C*, alcune verso *D*, e alcune verso *F* a una velocità che è *tre volte* la velocità delle altre particelle nei tubi». ⁵⁷ Non viene però chiarito il modo in cui un terzo delle particelle potesse venire accelerato a una velocità equivalente a tre volte quella iniziale.

Non possiamo biasimare Morin per il suo scetticismo. In una seconda lettera egli si domandava come una particella di materia in *E*, sospinta con forza eguale dai punti equidistanti *A*, *B* e *F* potesse muoversi. Sottoposta all'azione di tre forze identiche e ugualmente distribuite, non avrebbe dovuto restare immobile? Morin suggeriva un esperimento, in linea con la scienza del secolo XVII, per la quale gli occhi del gatto erano non solo recettori, ma anche sorgenti di luce. ⁵⁸ Si ponga l'occhio di un gatto (chiamiamolo Micio) a una estremità del tubo *AC*, e l'occhio di un secondo gatto (chiamiamolo Mao) all'altra estremità. Micio vedrà Mao se la luce fluisce dall'occhio di Mao al suo, e si può dire lo stesso di Mao, ma *secondo la teoria di Descartes*, tutto ciò richiederebbe che le particelle di materia sottile si muovessero in direzioni diametralmente opposte nello stesso tempo! ⁵⁹

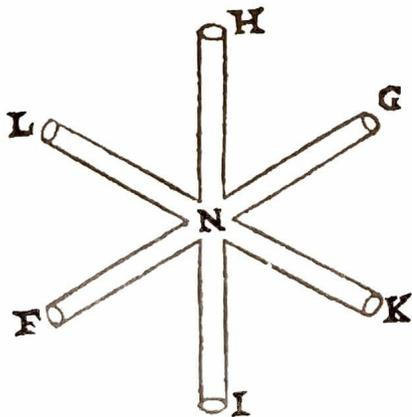


Figura 8

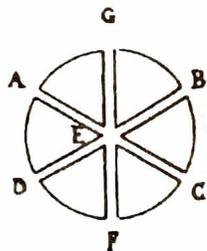


Figura 9

L'analogia con il mosto

Descartes decise di difendere la propria teoria nella corrispondenza sia con Ciermans che con Morin, ripetendo la distinzione tra disposizione al moto e moto reale. ⁶⁰ Nella lettera del 23 marzo 1638 a Ciermans, fece riferimento all'illustrazione nella *Diottrica* in cui la trasmissione della luce viene paragonata alla pressione verso il basso esercitata da grappoli d'uva parzialmente schiacciati in diversi punti alla base di un tino (fig. 10):

Il succo che è in *C* tende verso *B*, ma non impedisce al succo in *E* di tendere verso *A*, né a ciascuna delle sue parti di tendere verso molte parti diverse, sebbene esse possano mettersi in movimento solo verso una alla volta. Ho ricordato in molti luoghi che quel che io intendo per luce non è il movimento stesso, ma l'inclinazione o la propensione al movimento. ⁶¹

L'analogia con il mosto viene ora modificata per rispondere all'obiezione di Ciermans secondo il quale la reciproca interferenza delle particelle di luce rossa e blu renderebbe i colori indistinti (fig. 7). Proprio come un pesce che nuoti nel mosto non altererebbe la propensione verso il basso di *C*, *D* ed *E* (fig. 10), così le correnti in un tino pieno d'aria non influenzerebbero la visibilità dei colori in *C*, *D* ed *E*. ⁶² Ma quanto convince questa analogia? L'aria è trasparente, i pesci, per quanto piccoli, non lo sono. Quindi tutto dipende dalla teoria della luce di Descartes, che, come ripete a Ciermans, egli non ha spiegato nella *Diottrica* o nelle *Meteore*. Persino la paura di venire travisato come se volesse reintrodurre le aborrute qualità e forme non è sufficiente a far vacillare la determinazione di Descartes. Come il resto dell'umanità impaziente, Ciermans è pregato di mettersi l'anima in pace fino a quando Descartes si degnerà di rivelare il suo sistema completo. ⁶³

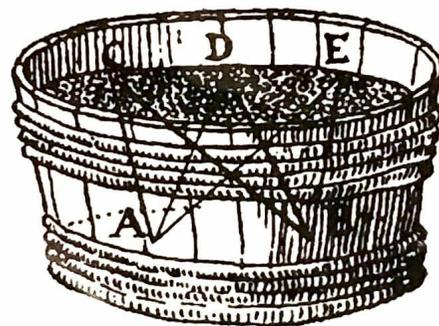


Figura 10

Sfere rotolanti

Ciermans sollevava una seconda pesante obiezione. Anche se fossimo sicuri che la velocità di rotazione delle sfere di materia celeste varia all'uscita dal prisma, i risultati non potrebbero comunque essere quelli descritti da Descartes.

Come abbiamo visto, secondo l'analogia di Descartes la sfera 1 2 3 4 (fig. 6) si muove solo di moto traslazionale fino a quando urta contro la superficie dell'acqua *YY* e comincia a ruotare. La rotazione è aumentata dalla presenza di sfere di materia sottile che si muovono più velocemente, come *Q*, e rallentata da quelle che si muovono più lentamente, come *S*. «Ciò spiega», scrive Descartes, «l'azione del raggio *DF*» (fig. 5).⁶⁴ Ora esaminiamo, replica Ciermans, le implicazioni di questa analogia in presenza di luce che passa attraverso un prisma e ricordando che Descartes nella *Diottrica* afferma che le sfere di materia sottile hanno maggiore facilità di passaggio (e quindi «si muovono» più velocemente) attraverso un mezzo denso che attraverso uno rarefatto. Nella figura 11 la sfera *A* lascia il vetro, più denso, per entrare in aria, mezzo più rarefatto, mentre nell'esempio di Descartes la sfera 1 2 3 4 (fig. 6) passa da aria, più rarefatta, in acqua, più densa. Descartes presupponeva si trattasse di due casi identici.

Se consideriamo l'esempio con maggiore attenzione, dice Ciermans, ci accorgiamo che la questione è diversa. La particella *A*, che è una costituente del raggio rosso *DF*, entra in aria, e il suo moto di rotazione viene ostacolato dalle particelle di aria più lente. La sfera *B*, giusto sopra *A*, è spinta da una particella di materia sottile che ruota più velocemente ed è ancora nel prisma, e quindi ruoterà più velocemente. Come risultato le particelle che raggiungono *H* ruoteranno più velocemente di quelle che arrivano fino a *F*. Ma il colore rosso compare in *F* e quindi viene prodotto dalle particelle che ruotano più lentamente, *non più velocemente*, come aveva affermato Descartes!⁶⁵ La stessa obiezione viene addotta indipendentemente da Jean-Baptiste Morin, e Descartes dovette convincersi della presenza di qualche errore nell'analogia. Rispondendo a Morin nel luglio 1638, cercò di rivedere la propria argomentazione:

Non parlo delle particelle di materia sottile, ma di sfere di legno (o di qualche altra materia visibile) che vengono spinte verso l'acqua. Questo è ovvio perché le faccio ruotare in una direzione diversa da quella delle particelle di materia sottile, e paragono il movimento rotatorio che acquistano quando escono dall'aria ed entrano nell'acqua a quello che le particelle di materia sottile acquistano quando lasciano l'acqua o il vetro ed entrano nell'aria.⁶⁶

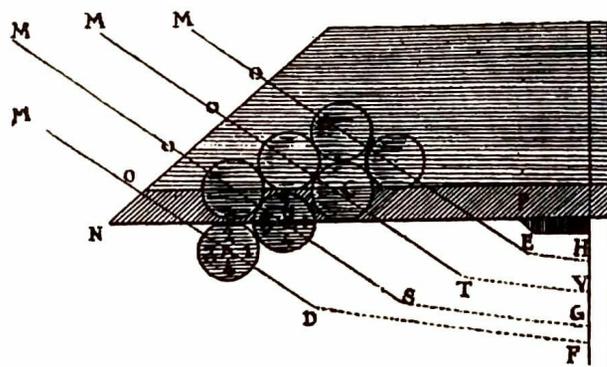


Figura 11

Ovviamente, Morin non si persuase. Perché introdurre delle sfere di legno, domandava, se non hanno lo stesso comportamento delle sferette di materia sottile celeste?⁶⁷ La replica di Descartes è degna di nota per il modo in cui fa scivolare l'argomento dal piano delle considerazioni teoriche a quello delle esigenze della verifica sperimentale: «Devo adoperare sfere che si possono vedere piuttosto che invisibili particelle di materia sottile al fine di sottomettere i miei argomenti a una prova sperimentale [à l'examen des sens] come cerco sempre di fare».⁶⁸ Nuovamente Morin si mostrò imperturbabile. Nella risposta a Descartes sottolineò che nelle *Meteore* nulla suggeriva che Descartes avesse in mente delle sferette di legno. Ma anche se così era, la pretesa sperimentale era inconsistente, «perché nessuno al mondo potrebbe fare l'esperimento che suggerite».⁶⁹ Non sorprende quindi che dopo questi avvenimenti la corrispondenza con Morin cessò!

Descartes non affrontò mai direttamente l'accusa mossagli da Ciermans, di avere cioè le idee confuse circa la rotazione delle sfere di materia sottile che producono il rosso e il blu (vale a dire la tesi che quelle più veloci generano il rosso). Al contrario, si appellò alla prova fornita da alcuni esperimenti indipendenti:

Non vorrei che crediate, in base allo scarso e limitato numero di argomenti da me pubblicati [nelle *Meteore*], che sia stato un solo esperimento a farmi affermare che il colore rosso consiste, non dico nell'agitazione più frequente, ma nella maggiore tendenza al movimento circolare. Sebbene non creda che ci sia una dimostrazione migliore di quella addotta potrei fornirne cento altre [letteralmente *seicento altre*] se dovessi considerare le varie parti della fisica. Discutendo degli animali, spiegherei perché il sangue è rosso, altrimenti spiegherei perché il mercurio e altre sostanze diventano rosse solo per mezzo dell'azione del fuoco, e così via. Se mi imbattessi in un solo esempio, in tutto il regno della natura, che fosse in contrasto

con la mia opinione, sospenderei il mio assenso fino a che non mi ritenessi soddisfatto e avessi dimostrato di avere ragione. Ad ogni modo altri esperimenti riportati nelle *Meteore* confermano la mia opinione. Ad esempio a pagina 272 e seguenti discuto del colore rosso delle nuvole, del colore blu del cielo e del mare, e così via.⁷⁰

Descartes ha grandi ambizioni, come appare chiaro dal brano citato delle *Meteore*. Si trova nel capitolo che segue quello sull'arcobaleno e ribadisce che si ha percezione del blu quando le particelle di materia sottile ruotano lentamente e del rosso quando ruotano più velocemente.⁷¹ In un manoscritto di biologia molto più tardo, Descartes parla anche del colore rosso del sangue, limitandosi però a ricordare che le sferette di materia sottile alla superficie del sangue «girano molto più velocemente».⁷²

Inerzia rettilinea e circolare

Ciermans si meravigliava che le sferette di materia sottile, che credeva provenissero dal Sole, non perdessero velocità durante il lungo viaggio nello spazio. Non conosceva l'ancora inedita legge cartesiana di inerzia, ma Descartes suppose che egli volesse riferirsi a quel fenomeno. Allora la domanda divenne la seguente: se il moto rettilineo è inerziale, che cosa può spiegare la perseveranza del moto rotatorio? Descartes risponde a Ciermans rivelando di non aver compreso appieno le implicazioni del principio, poiché sosteneva di non vedere alcuna difficoltà ammettendo sia l'*inerzia rettilinea* (che dopo Newton chiamiamo semplicemente moto inerziale) sia l'*inerzia circolare* (che dopo Newton consideriamo non inerziale, ovvero un tipo di moto che richiede la costante applicazione di una forza esterna):

Non vedo per quale ragione le particelle di materia celeste non dovrebbero conservare sia la rotazione che dà origine ai colori sia il movimento in linea retta in cui consiste la luce. Possiamo comprendere i due fenomeni ugualmente bene con il nostro ragionamento. Sono convinto che, fino a quando si considerino solo gli eventi naturali, non possiamo pensare a nulla di più accurato, vale a dire che risponda meglio alle esigenze di rigore del calcolo matematico.⁷³

Le audaci dichiarazioni di Descartes sul rigore della matematica non aggiungono nulla alla natura puramente qualitativa della sua spiegazione. Quel che afferriamo «con il nostro ragionamento» è la semplice possibilità che i colori abbiano origine dalle diverse velocità di rotazione delle particelle che raggiungono il nostro occhio. Descartes non sospettò mai che il prisma scomponesse la luce nei colori componenti e offrì una spiegazione meccanicistica del colore solo in termini di movimento. I colori hanno

tutti la medesima natura e derivano semplicemente dalla maggiore o minore velocità di rotazione. Per fortuna la fama di Descartes nel campo dell'ottica non è fondata sulla spiegazione del colore, ma sulla scoperta della legge di rifrazione e sulla brillante analisi dell'arcobaleno a cui ora ritorniamo.

Angoli privilegiati

Abbiamo lasciato in sospeso la questione cruciale: perché l'arcobaleno maggiore è formato esclusivamente da raggi che formano un angolo di circa 42 gradi? Descartes si avvide che era necessario calcolare il cammino dei raggi incidenti in punti distinti di una goccia d'acqua al fine di determinare con che angolazione si dirigono verso i nostri occhi. Dimostrò che dopo una riflessione e due rifrazioni è visibile un maggior numero di raggi sotto un angolo di circa 42 gradi piuttosto che sotto angoli minori, e che non si può vedere alcun raggio sotto un angolo più ampio. Con un calcolo analogo nel caso di due riflessioni e due rifrazioni dimostrò che un maggior numero di raggi giungeva all'occhio sotto un angolo di circa 52 gradi piuttosto che sotto angoli maggiori, e che per angoli minori nessun raggio raggiungeva l'occhio. Calcoli di questo genere erano possibili solo perché Descartes aveva scoperto che quando la luce passa da un mezzo all'altro, il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza e il seno dell'angolo di rifrazione si mantiene costante. Quindi aveva potuto determinare il valore di $\sin i / \sin r$ (che noi chiamiamo indice di rifrazione) da aria in acqua come un valore di poco maggiore a $4/3$, vale a dire, come $250/187$, risultato eccellente in termini sperimentali.

Per illustrare il procedimento, Descartes si servì della figura 12.⁷⁴ Tutti i raggi in arrivo dal Sole (collocato alla base della figura dal lato di *S*) sono paralleli, ma vengono rifratti, come il raggio *EF*, al momento di entrare nella goccia d'acqua. Come si usava a quel tempo, e per evitare l'impiego di frazioni, si assegna il valore di 10 000 unità al raggio della goccia. L'angolo di incidenza del raggio *EF* non è fornito in gradi, ma viene determinato a partire dalla grandezza della distanza *FH* tra il raggio e un raggio parallelo che attraversa il centro della goccia. Il rapporto *FH/FC* rappresenta quindi il seno dell'angolo di incidenza *i* del raggio. Quando *FH* vale zero, il raggio coincide con il raggio centrale *AH* e l'angolo di incidenza è zero; quando *FH* vale 10 000, il raggio sfiora solo la goccia, e l'angolo di incidenza vale 90 gradi. Se il raggio *EF* penetra nella goccia e si riflette in *K*, può uscire in *N* e viaggiare in direzione dell'occhio *P*, oppure venire riflesso e procedere fino a *Q* e quindi a *R*. Nel primo caso, raggiungerà

l'occhio dopo una riflessione e due rifrazioni, nel secondo dopo due riflessioni e due rifrazioni.

Descartes capì che era necessario determinare la dimensione dell'angolo ONP per l'arcobaleno primario, e dell'angolo SQR per quello secondario. Calcolò, variando il valore di FH tra 1000 e 10 000, il corrispondente angolo ONP , vale a dire l'angolo tra il raggio uscente e i raggi diretti del Sole. Il calcolo prende in considerazione la deviazione da una linea retta quando il raggio viene riflesso o rifratto. In F la deviazione si misura rispetto all'angolo GFK , pari a $(i - r)$, dove i è l'angolo di incidenza e r l'angolo di rifrazione. Nel punto K dove il raggio viene riflesso internamente, ha luogo una seconda deviazione di $(180^\circ - 2r)$, e in N , al momento di lasciare la goccia, si verifica una terza deviazione di $(i - r)$. Quindi la deviazione totale è pari a $D = 180^\circ + 2i - 4r$. ON è parallelo a EF e quindi l'angolo ONP vale $(180^\circ - D)$, ovvero $180^\circ - (180^\circ + 2i - 4r) = 4r + 2i$. Se $FH = 8000$, pari al raggio di luce dell'esempio di Descartes, i vale $40^\circ 44'$. L'angolo di rifrazione r si calcola facilmente a partire dall'indice di rifrazione da aria in acqua, vale a dire $\sin i / \sin r = 4/3$. Con procedimento analogo si ottiene il valore dell'angolo SQR .⁷⁵

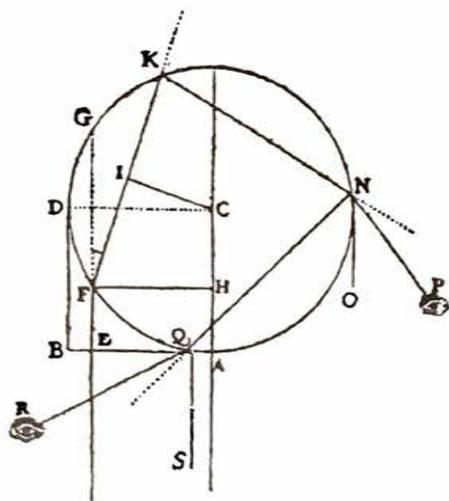


Figura 12

Eloquenti tabelle

Descartes ottiene i seguenti risultati

Tabella 1

Linea FH	Linea CI	Arco FG	Arco FK	Angolo ONP	Angolo SQR
1000	748	168° 30'	171° 25'	5° 40'	165° 45'
2000	1496	156° 55'	162° 48'	11° 19'	151° 29'
3000	2244	145° 04'	154° 04'	17° 56'	136° 08'
4000	2992	132° 50'	145° 10'	22° 30'	122° 04'
5000	3740	120° 00'	136° 04'	27° 52'	108° 12'
6000	4488	106° 16'	126° 40'	32° 56'	93° 44'
7000	5236	91° 08'	116° 51'	37° 26'	79° 25'
8000	5984	73° 44'	106° 30'	40° 44'	65° 46'
9000	6732	51° 41'	95° 22'	40° 57'	54° 25'
10 000	7480	0°	83° 10'	13° 40'	69° 30'

Tabella 2

Linea FH	Linea CI	Arco FG	Arco FK	Angolo ONP	Angolo SQR
8000	5984	73° 44'	106° 30'	40° 44'	65° 46'
8100	6058	71° 48'	105° 25'	40° 58'	64° 37'
8200	6133	69° 50'	104° 20'	41° 10'	63° 10'
8300	6208	67° 48'	103° 14'	41° 20'	62° 54'
8400	6283	65° 44'	102° 09'	41° 26'	61° 43'
8500	6358	63° 34'	101° 02'	41° 30'	60° 32'
8600	6432	61° 22'	99° 56'	41° 30'	58° 26'
8700	6507	59° 04'	98° 48'	41° 28'	57° 20'
8800	6582	56° 42'	97° 40'	41° 22'	56° 18'
8900	6657	54° 16'	96° 32'	41° 12'	55° 20'
9000	6732	51° 41'	95° 22'	40° 57'	54° 25'
9100	6806	49° 00'	94° 12'	40° 36'	53° 36'
9200	6881	46° 08'	93° 02'	40° 04'	52° 58'
9300	6956	43° 08'	91° 51'	39° 26'	52° 25'
9400	7031	39° 54'	90° 38'	38° 38'	52° 00'
9500	7106	36° 24'	89° 26'	37° 32'	51° 54'
9600	7180	32° 30'	88° 12'	36° 06'	52° 06'
9700	7255	28° 08'	86° 58'	34° 12'	52° 46'
9800	7330	22° 57'	85° 43'	31° 31'	54° 12'

Questa tabella rivela un singolare risultato: qualunque sia l'angolo con cui il raggio entra nella goccia, l'angolo di uscita rispetto alla direzione originale non può avere un valore maggiore di $40^{\circ} 57'$. Inoltre molti raggi (per i quali FH ha un valore compreso tra 8000 e 9000) vengono rifratti con un angolo di circa 40° . Per determinare questo insieme con maggiore accuratezza, Descartes calcolò i percorsi per i valori compresi tra $FH = 8000$ e $FH = 10\ 000$ (tab. 2).

Questi calcoli mostrarono la convergenza di molti raggi per un valore prossimo a $41^{\circ} 30'$. Ammettendo un'inclinazione di 17° per il raggio apparente del Sole, Descartes collocò l'angolo massimo dell'arcobaleno interno a $41^{\circ} 47'$, e l'angolo minimo di quello esterno a $51^{\circ} 37'$.⁷⁶

I valori ottenuti da Descartes spiegano non solo perché gli arcobaleni compaiono ad angoli di circa 42 e 52 gradi, ma anche perché il confine esterno dell'arcobaleno primario è definito più nitidamente del limite interno di quello secondario. Dopo le riflessioni e rifrazioni indicate, non viene più rimandato alcun raggio di luce a un angolo maggiore di circa $46^{\circ} 30'$, sebbene un considerevole numero di raggi abbia inclinazione di poco inferiore al valore di questo angolo. Nel caso dell'arcobaleno secondario, tuttavia, si verifica un raggruppamento di raggi ad angoli leggermente maggiori di $51^{\circ} 37'$, ma nessun raggio viene rimandato verso l'occhio ad angoli minori. Descartes fa soltanto un breve accenno a questo importante fatto. Gli premeva sottolineare che, grazie al suo metodo scientifico, era in grado di correggere i dati sperimentali. L'esperienza non sostenuta dalla teoria è inaffidabile e con spirito censorio puntò il dito contro Francesco Maurolico, il quale aveva affermato che l'angolo ONP valeva circa 45° e l'angolo SQR circa 56° . «Ciò mostra», scriveva Descartes, «la scarsa fiducia che dobbiamo accordare alle osservazioni che non sono accompagnate dalla vera ragione».⁷⁷

I calcoli di Descartes rivelano che solo i pochi raggi strettamente raggruppati uscenti da gocce che sottendono un angolo di circa 42° con la direzione del Sole hanno intensità sufficiente a stimolare l'occhio. Dal momento che tutti sottendono lo stesso angolo devono giacere sulla superficie di un cono con vertice nell'occhio. Per questo motivo l'arcobaleno appare con la forma di un arco. Naturalmente in una fila lunghissima di persone ognuna vedrà un arcobaleno diverso, perché diverso è l'angolo sotto cui le goccioline vengono viste (fig. 13). Se si trovano a terra, la parte di cerchio sotto di loro verrà tagliata via, mentre da un aeroplano si potrebbe vedere un arcobaleno circolare completo (fig. 14). Ma non sembra che Descartes abbia preso in considerazione la possibilità teorica, per esempio

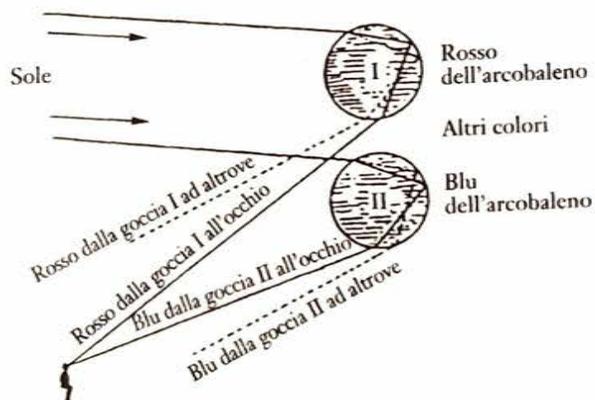


Figura 13

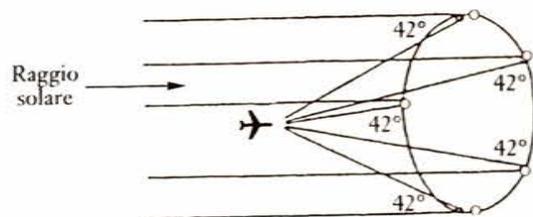


Figura 14

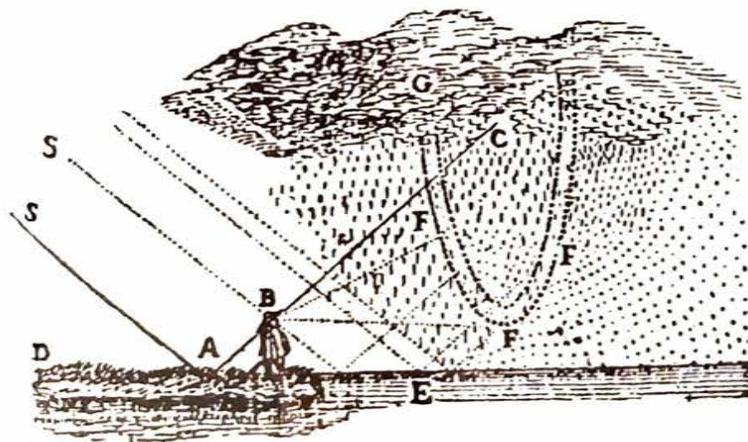


Figura 15

Questa tabella rivela un singolare risultato: qualunque sia l'angolo con cui il raggio entra nella goccia, l'angolo di uscita rispetto alla direzione originale non può avere un valore maggiore di $40^{\circ} 57'$. Inoltre molti raggi (per i quali FH ha un valore compreso tra 8000 e 9000) vengono rifratti con un angolo di circa 40° . Per determinare questo insieme con maggiore accuratezza, Descartes calcolò i percorsi per i valori compresi tra $FH = 8000$ e $FH = 10000$ (tab. 2).

Questi calcoli mostrarono la convergenza di molti raggi per un valore prossimo a $41^{\circ} 30'$. Ammettendo un'inclinazione di 17° per il raggio apparente del Sole, Descartes collocò l'angolo massimo dell'arcobaleno interno a $41^{\circ} 47'$, e l'angolo minimo di quello esterno a $51^{\circ} 37'$.⁷⁶

I valori ottenuti da Descartes spiegano non solo perché gli arcobaleni compaiono ad angoli di circa 42 e 52 gradi, ma anche perché il confine esterno dell'arcobaleno primario è definito più nitidamente del limite interno di quello secondario. Dopo le riflessioni e rifrazioni indicate, non viene più rimandato alcun raggio di luce a un angolo maggiore di circa $46^{\circ} 30'$, sebbene un considerevole numero di raggi abbia inclinazione di poco inferiore al valore di questo angolo. Nel caso dell'arcobaleno secondario, tuttavia, si verifica un raggruppamento di raggi ad angoli leggermente maggiori di $51^{\circ} 37'$, ma nessun raggio viene rimandato verso l'occhio ad angoli minori. Descartes fa soltanto un breve accenno a questo importante fatto. Gli premeva sottolineare che, grazie al suo metodo scientifico, era in grado di correggere i dati sperimentali. L'esperienza non sostenuta dalla teoria è inaffidabile e con spirito censorio puntò il dito contro Francesco Maurolico, il quale aveva affermato che l'angolo ONP valeva circa 45° e l'angolo SQR circa 56° . «Ciò mostra», scriveva Descartes, «la scarsa fiducia che dobbiamo accordare alle osservazioni che non sono accompagnate dalla vera ragione».⁷⁷

I calcoli di Descartes rivelano che solo i pochi raggi strettamente raggruppati uscenti da gocce che sottendono un angolo di circa 42° con la direzione del Sole hanno intensità sufficiente a stimolare l'occhio. Dal momento che tutti sottendono lo stesso angolo devono giacere sulla superficie di un cono con vertice nell'occhio. Per questo motivo l'arcobaleno appare con la forma di un arco. Naturalmente in una fila lunghissima di persone ognuna vedrà un arcobaleno diverso, perché diverso è l'angolo sotto cui le goccioline vengono viste (fig. 13). Se si trovano a terra, la parte di cerchio sotto di loro verrà tagliata via, mentre da un aeroplano si potrebbe vedere un arcobaleno circolare completo (fig. 14). Ma non sembra che Descartes abbia preso in considerazione la possibilità teorica, per esempio

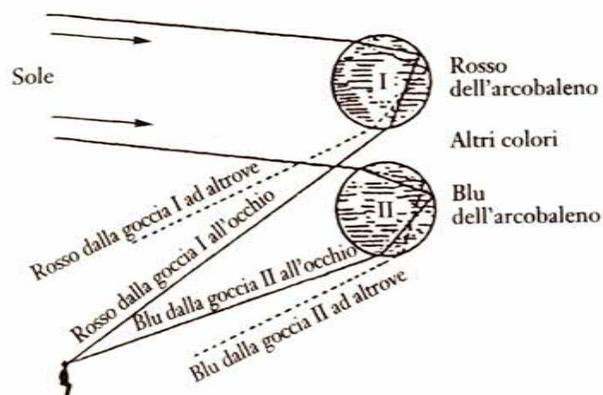


Figura 13

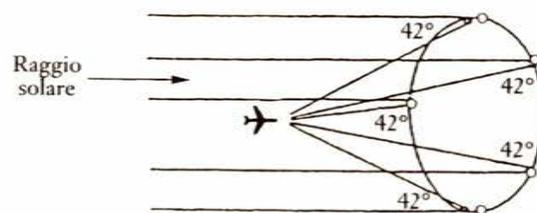


Figura 14

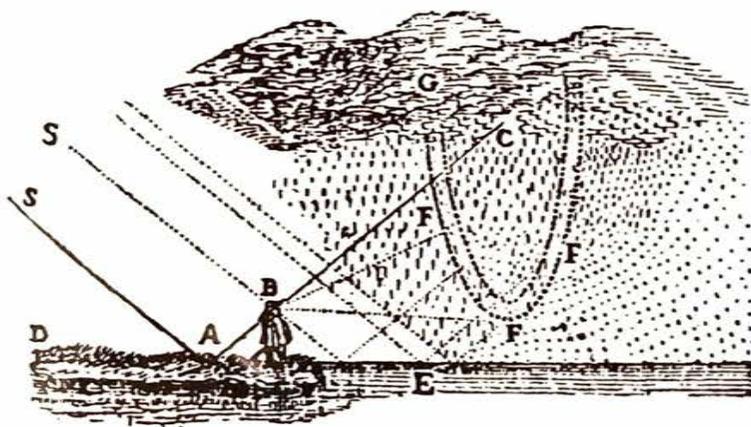


Figura 15

di un angelo posato su una nube ad ammirare l'arcobaleno, dato che interpretava i racconti degli arcobaleni circolari come il risultato della riflessione dei raggi del Sole dalla superficie di un lago alle gocce d'acqua, quando i raggi diretti venivano intercettati da una nuvola interposta (fig. 15).⁷⁸

Un trionfo di intuizione e di retorica

La spiegazione di Descartes dell'arcobaleno rappresenta veramente un trionfo per il suo metodo scientifico. Le osservazioni sono efficaci e le deduzioni matematiche illuminanti. Ma quando sottolinea che le osservazioni non spiegate non sono degne di fede, sembra dimenticarsi che si fanno osservazioni solo in quei campi in cui la teoria porta a ritenere che saranno significative. Descartes ad esempio non si preoccupò mai di misurare accuratamente la larghezza dell'arcobaleno perché la sua teoria non suggeriva in alcun modo che la luce bianca venisse divisa nei suoi componenti.

Descartes negava il cambiamento qualitativo in senso aristotelico, ma conservò l'idea che la luce venisse modificata qualitativamente al passaggio da un mezzo all'altro, anche se interpretava il fenomeno in termini meccanicistici. Quando le particelle di materia sottile hanno maggiore tendenza a ruotare piuttosto che a muoversi in linea retta, si ha la luce rossa, quando la rotazione è di minore entità, si vede il giallo, e quando è ancora minore, si osserva il verde o il blu. L'inversione dei colori nell'arcobaleno secondario poneva una seria sfida a questa interpretazione. Descartes l'affrontò con un misto di baldanza retorica («non mi è risultato difficile») e di arbitraria manipolazione delle forme delle particelle invisibili di materia, le cui proprietà si assumeva fossero identiche a quelle degli oggetti macroscopici:

Del resto, non mi è risultato difficile conoscere la ragione per cui il rosso appare dalla parte *esterna* dell'arcobaleno interno e dalla parte *interna* dell'arcobaleno esterno: la stessa causa infatti per cui tale rosso, attraverso il cristallo *MNP*, si vede verso *F* piuttosto che verso *H* [fig. 5], fa in modo che se si guarda questo cristallo avendo l'occhio là dov'è la tela bianca *FGH*, vi si vedrà il rosso verso la parte *più spessa* *MP* e il blu verso *N*, dato che il raggio color rosso che va verso *F* proviene da *C*, la parte del Sole più prossima a *MP*. Questa è la stessa causa per cui, essendo il centro delle gocce d'acqua, e conseguentemente la loro parte *più spessa* dalla parte esterna rispetto ai punti colorati che formano l'arcobaleno interno, il rosso deve apparirvi dalla parte esterna.⁷⁹

A dispetto della facilità attribuita a questa spiegazione, essa non gode della chiarezza che è il vanto di Descartes. Egli sembra sostenere che l'in-

versione dei colori derivi da un'inversione del prisma, cui vengono assimilate le gocce d'acqua, e che lo spessore sia in qualche modo responsabile dell'apparizione del rosso. Una sfera materiale può ruotare sul suo asse o muoversi in linea retta. L'ultima possibilità spiega la legge di rifrazione, la prima la produzione dei colori. Poiché Descartes non ammette alcun altro tipo di movimento e vede nel colore l'unica proprietà dell'arcobaleno, considera la sua spiegazione come la sola possibile. Con la sicurezza propria del filosofo naturale convinto di possedere la chiave delle meraviglie della natura, conclude: «Credo che in tale materia non rimanga più nessuna difficoltà».⁸⁰

Una serie di arcobaleni

Non si può accusare Descartes di non avere anticipato Newton, ma avrebbe potuto compiere un passo interessante se avesse meditato su racconti che riferivano della possibile esistenza di un arcobaleno terziario. Egli ipotizzò che il fenomeno si verificasse quando granelli di ghiaccio con indice di rifrazione più alto dell'acqua erano mescolati a gocce di pioggia. Inoltre disponeva di una teoria che avrebbe potuto raggiungere risultati superiori rispetto a qualsiasi precedente ipotesi: predire dove bisognava cercare l'arcobaleno terziario, se esisteva, così come il quarto, il quinto o il sesto. Come ha fatto notare Carl Boyer, Descartes doveva solo aggiungere successive riflessioni interne per generare i percorsi possibili capaci di produrre nuovi arcobaleni. Il procedimento è illustrato nella figura 16 in cui *r*, il numero delle riflessioni interne, indica l'ordine dell'arcobaleno.⁸¹

Né Descartes né Newton affrontarono il calcolo per i casi con più di due riflessioni interne. Sembra che Halley, l'astronomo inglese amico di Newton, sia stato il primo a condurre a termine i calcoli per l'arcobaleno terziario, e come si può vedere dalla figura 16, il risultato fu sorprendente. Il terzo arcobaleno ha un raggio angolare di $40^{\circ} 20'$ e compare non dal lato opposto al Sole, ma in forma di cerchio intorno al Sole stesso. È invisibile non a causa della debolezza della sua luce, ma a causa della brillantezza del Sole. Halley scoprì anche che nel caso del quarto arcobaleno il raggio doveva subire una deviazione di $45^{\circ} 33'$, e che questo arcobaleno è un cerchio di raggio $45^{\circ} 33'$ intorno al Sole. Il quinto arcobaleno è molto prossimo al secondo, ma con i colori in ordine inverso e questo aumenta la difficoltà di osservazione. Il sesto giace nel luogo di quello primario ed è stato osservato solo in laboratorio (se ne sono visti più di 18, tutti in accordo con la teoria di Descartes).

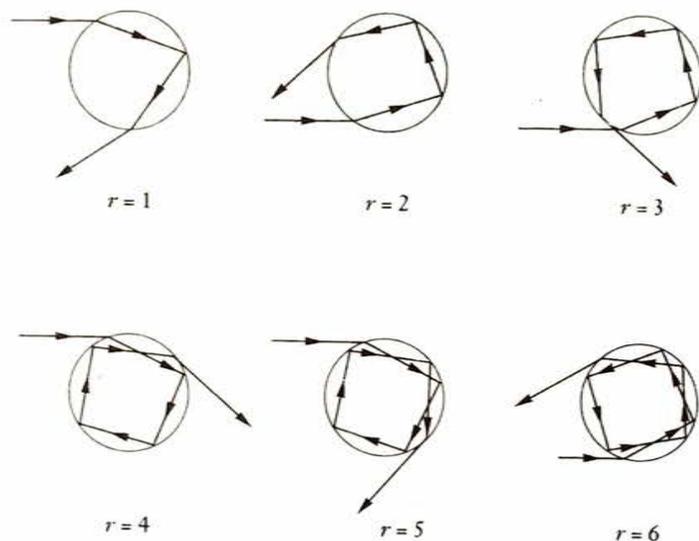


Figura 16

Una nuova alleanza

Descartes poteva comunque essere orgoglioso. Con la sua filosofia meccanicistica aveva domato uno dei più straordinari prodigi della natura. Dopo il diluvio, Dio creò l'arcobaleno come alleanza eterna «fra di Lui e ogni creatura vivente» (*Genesi* 9.13) e nell'*Iliade* Omero scrive che Afrodite, ferita da Diomede, fuggì dal campo di battaglia verso l'Olimpo lungo la strada formata dall'arcobaleno, trasportata veloce come il vento dalla dea Iride, il cui nome in greco significa arcobaleno.⁸²

Come gli antichi greci e gli ebrei, Descartes si rallegrava dell'arcobaleno, che metteva il sigillo del compiacimento divino sopra il suo lavoro. Quindi non sorprende che, a conclusione del capitolo sull'arcobaleno, egli sostenga che il suo metodo non solo poteva rendere ragione di una meraviglia, ma poteva altrettanto bene anche produrla. Per fornire una dimostrazione di magia naturale che andasse al di là dei magri sforzi di Della Porta, Descartes suggerì di mescolare liquidi con diverso indice di rifrazione allo spruzzo di una fontana, così da far apparire «la forma di una croce o di una colonna o di qualsiasi altro oggetto capace di destare meraviglia».⁸³ Non poteva certo prevedere che cosa avrebbe scritto John Keats quasi due secoli dopo quando le meraviglie della filosofia meccanicistica avevano perso la loro attrattiva:

(...) Non fuggono tutti gli incantesimi
al semplice tocco della filosofia?
C'era una volta un venerato arcobaleno in cielo:
ne conosciamo la trama, la struttura: ora appartiene
al tedioso catalogo delle cose usate.
La filosofia tarperà le ali dell'Angelo,
vincerà ogni mistero con le regole e le squadre,
vuoterà l'aria abitata, la miniera dei gnomi -
disferà un arcobaleno (...)⁸⁴