

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

DOTTORATO DI RICERCA

Filosofia

Ciclo XX

**INDUZIONE, ENUMERAZIONE E MODELLI DELLA SPIEGAZIONE SCIENTIFICA.
IL METODO DI DESCARTES
DAGLI STUDI DI OTTICA ALLA FISICA DELLA LUCE (1618-1637)**

Presentata da: DIEGO DONNA

Coordinatore Dottorato

WALTER TEGA

Relatore

MARIAFRANCA SPALLANZANI

Esame finale anno 2008

INDICE

Introduzione.....p. 5

PARTE PRIMA

Le Regulæ

La teoria dell'*enumeratio sive inductio*

I

L'apprendistato olandese di Descartes (1618-1620)

- I) L'incontro di Descartes con Beeckman. Gli studi di fisico-matematica.....p. 13
- II) Il problema della caduta dei gravi. I *Physico-Mathematica* e le *Cogitationes Privatæ*.....p. 25
- III) I principi della dinamica e la *propensio ad motum* dei corpi. I *Physico-Mathematica* e la nota sul paradosso idrostatico.....p. 33

II

Modello seriale e riduzione della complessità

- I) Evidenza e *intuitus*.....p. 38
- II) Dalle matematiche alla *Mathesis Universalis*.....p. 48
- III) La teoria della *natura simplex*. Dai *genera entium* alla serie.....p. 61
- IV) La scienza delle proporzioni.....p. 72

III

«Ad scientiae complementum»

L'enumeratio sive inductio nelle Regulae

- I) *Inductio sive enumeratio*. Il lessico dell'induzione nelle *Regulae*p. 77
- II) *Ordo rerum enumerandum*. Critica del sillogismo, della dialettica e dell'empirismo.....p. 91
- III) *Per sufficientem enumerationem*. La rappresentazione dei colori e il confronto fra grandezze.....p. 112

IV

Primi modelli cartesiani della luce

- I) Il soggiorno parigino di Descartes degli anni '20 e gli studi di ottica. Descartes e Mydorge.....p. 119
- II) Riflessione e rifrazione.....p. 129
- III) *Inductio e comparatio*. Lo studio dell'anaclastica...p. 137

PARTE SECONDA

Il *Traité de la Lumière* L'induzione al servizio d'una teoria della materia

I

«*Mon Monde*»

La teoria della luce nel *Traité de la lumière*

- I) Le ricerche fisiche degli anni '30 e la condanna di Galilei.....p. 143
- II) La costruzione d'una teoria degli elementi.....p. 161
- III) La meccanica celeste e la *favola* del Mondo.....p. 174

PARTE TERZA

Modelli della conoscenza scientifica Dal *Traité de la Lumière* al *Discours*

I

Dal metodo comparativo delle *Regulae* ad una fisica generale

- I) Il *Traité de la Lumière* e la fisica della luce.....p. 193
- II) *A priori / a posteriori*. La spiegazione in fisica.....p. 203
- III) Dimostrazione e prova nel *Discours*.....p. 210

II

La meccanica della luce *La Dioptrique e nelle Météores*

I) I modelli euristici della <i>Dioptrique</i>	p. 238
II) Riflessione e rifrazione nella <i>Dioptrique</i>	p. 248
III) Enumerazione, analisi, riduzione alla classe ed esperimento nelle <i>Météores</i>	p. 254
Conclusioni	p. 272
<i>Bibliografia</i>	p. 278

Introduzione

Dopo essere stato a lungo minoritario, il confronto dell'opera cartesiana con la scienza moderna ha ormai conquistato un posto di rilievo nella storiografia¹. A questo risultato ha largamente contribuito lo sviluppo complessivo degli studi sulla cosiddetta «rivoluzione scientifica dell'età moderna»² e l'interesse per autori storicamente

¹ La sottovalutazione delle applicazioni concrete che contribuiscono all'elaborazione progressiva del metodo cartesiano – o dei metodi? - si riflette nelle scelte editoriali dei testi di Descartes, scelte spesso ispirate a “una certa immagine” di Descartes. Secondo Ettore Lojacono, l'aspetto *operativo* del metodo è stato a lungo collocato «nella disconoscenza non solo del suo primato teorico, ma anche cronologico, dopo le *Meditationes* e i *Principia* [...] Quanto pensiamo di aver fatto – continua Lojacono, giustificando i criteri della sua edizione delle *Opere filosofiche* – è stato appunto di isolare il nucleo di problemi che sono stati sollevati nelle Provincie Unite via via che le opere di Descartes venivano alla luce e che hanno poi determinato il pensiero e la composizione delle grandi raccolte che hanno presentato il pensiero del filosofo in Europa». *Introduzione a Descartes, Opere Filosofiche I*, Utet, Torino, 1994, p. 17. [Sarà questa l'edizione italiana dell'*Opera* cartesiana a cui faremo riferimento all'interno del testo]. Per l'ordine cronologico e l'organizzazione tematica delle prime edizioni dell'opera di Descartes si veda A. J. Guibert, *Descartes Bibliographie des Oeuvres publiées au XVII^e siècle*, C.N.R.S., Paris, 1976.

² Il periodo dal 1590 al 1639 rappresenta uno spartiacque all'interno della cosiddetta «rivoluzione scientifica»: anzitutto si assiste ad un cambiamento nel carattere e nell'indirizzo delle scienze matematiche – ottica, meccanica, geometria, astronomia – già riformate nel secolo precedente. La figura di Keplero guida la trasformazione degli studi di geometria ottica verso la costituzione di una nuova fisica-matematica e di una meccanica celeste. Descartes recupererà gli insegnamenti dell'astronomo tedesco indicandolo come il suo «primo maestro di ottica» al momento della scoperta, nel 1625, della proporzione costante fra angoli di incidenza e angoli di riflessione. Per i rapporti di Descartes con la cultura del tempo ricordiamo fra gli altri: G. Belgioioso, G. Cimino, P. Costabel, G. Papuli, *Descartes, il Metodo e i Saggi, Atti del Convegno per il 350° anniversario della pubblicazione del Discours de la Methode e degli Essais*, Istituto dell'Enciclopedia Italiana, Roma, 1990; S. Voss, *Essays on the Philosophy and Science of R. Descartes*, U. P. Oxford, 1993; *La Biografia intellettuale di Descartes attraverso la Correspondance*, J.-R. Armogathe, G. Belgioioso, C. Vinti, (ed.), Vivarium, Napoli, 1998; Th. Verbeek, *Descartes and the Dutch. Early Reaction to cartesian Philosophy 1637-1650*, Southern Illinois Press, Carbondale, 1992; C. L. Thijssen Schoutte, *Nederland Cartesianisme*, Amsterdam, 1954; M. Fumaroli, *Ego scriptor: Rhétorique et philosophie dans le Discours de la Methode*, in H. Mechoulam, *Problematic et reception du Discours de la Methode et des Essais*, Vrin, Paris, 1988; J. R. Armogathe, *Vers un autre Descartes: Etat présent des recherches sur la formation et la reception de la pensée cartésienne*,

vicini a Descartes come Stevin, Mersenne, Beeckman, Fermat, Mydorge, protagonisti del dibattito in cui si danno le scelte fondamentali e si definiscono le costanti del progetto cartesiano: le ricerche di scienza, dall'ottica alla meccanica, dallo studio dei principi generali del moto ad un nuovo approccio analitico in geometria.

In questi ambiti, il primato della visione intellettuale e le istanze di un metodo dell'ordine costituiscono per il giovane Descartes «il filo di Teseo» di una teoria della conoscenza ispirata ai criteri della certezza e dell'evidenza che la avvicina alla matematica e che, investendo vari campi di sapere, ricorre agli schemi geometrici per la risoluzione di problemi fisici culminando in un metodo generale della proporzione fra grandezze. Le *Regulæ* ne offrono l'epistemologia; la pratica della scienza la verifica e la prova.

Le *Regulæ ad directionem ingenii*, la prima elaborazione cartesiana del metodo, rimasta incompiuta, costituiscono anche il primo tentativo di unificazione delle esperienze che il giovane Descartes effettua a Parigi e che proseguono in Olanda in una consuetudine di lavoro scientifico con uomini di scienza come Reneri, Hogelande, Plempius, e uomini di posizione come Huygens. Esperienze caratterizzate da un'attenzione molto forte per le ricerche di filosofia naturale – l'ottica, il peso dei corpi, le leggi del moto, la teoria dei fluidi –, in cui l'uso dell'induzione e dei suoi equivalenti in latino e francese (*deductio, illatio, enumeratio, dénombrement*), nonché il ricorso ai diversi modelli di ordine della conoscenza scientifica (*series, comparatio/comparaison, fable, hypothese, supposition*) sono iscritti dal Descartes filosofo nella complessa epistemologia della ricerca scientifica delle *Regulæ* e sono privilegiati dal Descartes scienziato come strumenti euristici nel *Traité de la Lumière*, nel *Discours* e nei primi capitoli della *Dioptrique* e delle *Météores*.

Centrale nel periodo «delle esperienze» del giovane Descartes, massicciamente presente nella corrispondenza, il tema della luce

in A. Robert, *Actes du 8° Colloque de Marseille, Centre méridional des Rencontres sur le XVII siècle*, 1979, pp. 189-198.

emerge fondamentale anche nell'elaborazione dell'epistemologia e nella redazione dei testi fra il 1619 e il 1637: esso si pone, infatti, a intersezione degli interessi dello scienziato, impegnato nello studio delle leggi fisiche del moto, e dell'attenzione dell'epistemologo per l'elaborazione di modelli esplicativi, tra deduzione, induzione e enumerazione esposti nei suoi testi: nelle *Regulæ*, in cui viene teorizzata per la prima volta l'unità di metodo dell'ordine, pur nella varietà delle sue applicazioni; nel *Traité de la Lumière* e negli *Essais*, in cui la riflessione sulle modalità induttive della scienza conduce ad una teoria della materia e all'uso dell'ipotesi.

La tesi si propone di esaminare tali nodi dell'opera scientifica di Descartes fino al *Discours*, investendo l'ordine cronologico dell'ordine dei problemi: dalle *Regulæ*, in cui una teoria dell'*enumeratio sive inductio* sottrae lo studio dei colori alle determinazioni dell'esperienza sensibile per iscriverli in una scienza delle proporzioni tra grandezze (Parte I); al *Traité de la Lumière*, in cui l'induzione giunge a delineare una teoria della materia e a scrivere una *favola* del mondo (Parte II); al *Discours* con gli *Essais*, in cui i precetti del *dénombrément*, della *revue* e della *comparaison* consentono di integrare nell'ordine della scienza i fenomeni della *Dioptrique* e la fisica particolare delle *Météores* (Parte III).

La prima parte della tesi prende avvio dagli studi del giovane Descartes e dal suo impegno nelle ricerche fisico-matematiche. Decisivo l'incontro con il matematico olandese Isaac Beeckman, avvenuto nel 1618, che introduce Descartes alla scienza e lo indirizza verso una concezione corpuscolare della materia abbozzata nelle note di idrostatica e di meccanica delle *Cogitationes privatae* e nei frammenti di *Physico-Mathematica*.

Lo studio sulla caduta dei corpi e le ricerche sul paradosso idrostatico del '19 approdano a due risultati scientifici principali, decisivi nelle prime indagini di fisica, stabili anche nelle opere successive: la determinazione dell'invarianza della quantità di movimento e la prima elaborazione della dottrina della *propensio ad*

motum dello studio sul paradosso idrostatico, che ritorneranno spiegazione dell'*action* e *inclination* della luce del *Traité de la Lumière*.

Il modello fisico-matematico dei primi studi cartesiani reagisce inoltre nella scoperta della legge del seno con cui Descartes risolve il problema dell'anaclastica, il primo importante esempio della teoria dell'ordine e della scoperta scientifica esposta nelle *Regulæ*. In esse, l'analisi della luce come *potentia naturalis* si dà in una teoria dell'ordine che consente di stabilire, attraverso lo strumento dell'*enumeratio sive inductio*, l'equivalenza concettuale di fenomeni diversi (colori, luce, magnetismo) sotto la nozione di natura semplice, autorizzandone la traduzione quantitativa.

Le *Regulæ* offrono al complesso itinerario intellettuale degli anni '20 una nuova *Mathesis*: l'interrogazione di Descartes verte sulle modalità di acquisizione di un sapere certo (*Regula II*); sulla natura e sulle condizioni della verità (*Regulæ III*); sullo statuto, infine, degli oggetti conosciuti, nature semplici o cause prime (*Regulæ V, VI, XII*), connesse secondo specifiche modalità di disposizione e di ordine: deduzione, induzione, serie, enumerazione completa o sufficiente (*Regulæ VI-VIII*).

È l'aspetto euristico della ricerca a sostenere di volta in volta la riconfigurazione cartesiana dell'ambito di indagine: all'ottica "incoativa" delle *Regulæ* – le note sui colori e lo studio della dell'anaclastica, riassunta nella *Regula VIII* –, subentra infatti nel *Traité de la Lumère* l'elaborazione di una teoria della materia che, nei primi cinque capitoli, utilizza l'induzione all'interno del progetto di una fisica generale. La seconda parte del nostro lavoro ne ricostruisce il percorso e le vicende storiche culminanti nella rinuncia, da parte di Descartes, a pubblicare il «suo Mondo» copernicano dopo aver appreso, nel 1633, della condanna di Galileo. Saranno le insistenze di Reneri e di Huygens a far risolvere il filosofo francese per la pubblicazione delle *Discours* e degli *Essais, enchantillons* del metodo, e non esposizione di una fisica completa che avrebbe implicato la questione dei fondamenti, dunque del copernicanesimo.

La terza parte della tesi affronta infine lo statuto delle *comparaisons* e del *dénombrément* che soddisfano, negli *Essais*, la stessa domanda di ordine posta dall'*enumeratio sive inductio* delle *Regulæ*. Un ordine contratto, negli *Essais*, nella presentazione dei risultati ottici e geometrici degli anni '30. Nel *Discours II* della *Dioptrique* l'analogia con fenomeni fisici congruenti (il movimento di una palla, il bastone del cieco, il filtro del tino) consente di pensare la luce all'interno di una teoria meccanica come movimento di corpuscoli luminosi; il ricorso all'esperimento del prisma completa nel *Discours VIII* delle *Météores* la spiegazione della produzione dei colori; l'induzione ripartisce in classi tutti i principali fenomeni areiformi.

Fecondità dell'induzione in una concreta pratica scientifica: completamento dell'ordine, recensione di dati, costruzione di classi di equivalenza concettuale. Descartes la chiama «a completare la scienza», che l'intuizione e la deduzione legano in catene necessarie e continue all'insegna dell'evidenza. Il caso della luce ci è sembrato particolarmente interessante da questo punto di vista, insieme saggio ed esempio di una applicazione metodica dell'induzione.

Del resto, la storiografia cartesiana non ha mancato di sottolineare il ruolo del metodo nella teoria e nella pratica della scoperta scientifica cartesiana. A seguito dei lavori pionieristici di Milhaud, Mouy, Boutroux, Brunschvicg, Koyré, Vuillemin, per citare appena alcuni, le analisi recenti di autori quali Rodis- Lewis, Sabra, Gabbey, Shapiro, Shea, Ariew, Clarke, Verbeek, Lojacono, tra gli altri, hanno promosso una riflessione sullo statuto dei modelli della conoscenza scientifica in Descartes che si affianca alla teoria canonica della lettura del metodo nell'ambito della metafisica e dell'egologia cartesiana.

Se è nota la critica di marca neo-idealista, espressa soprattutto da Gaston Bachelard, che attorno agli anni '30 del Novecento contestò apertamente il progetto cartesiano di una scienza fondata sulle nozioni più semplici, declassandole al rango di idee «dogmatiche» che la fisica contemporanea avrebbe dovuto sostituire con un'«epistemologia non

cartesiana»³, sviluppi storiografici più recenti hanno visto in Descartes lo scrupoloso osservatore dell'esperienza e il costruttore di modelli che, soprattutto in fisica, non contraddicono, ma integrano i principi primi con l'esplicazione ordinata dei fenomeni⁴.

L'opera di Descartes lo conferma, costantemente tesa tra i saggi di scienza e l'attenzione al metodo. Del resto, la pubblicazione unitaria del *Discours* e degli *Essais* non testimonia forse della ricchezza e della fecondità di questi scambi continui di determinazioni tra i risultati della scienza e della riflessione di metodo? Ma è anche la natura «responsoriale» del suo lavoro – riprendiamo letteralmente l'espressione di Jean-Luc Marion⁵ – che caratterizza la specificità (e la problematicità) della ricerca di Descartes sui temi della conoscenza scientifica e sui suoi modelli. La corrispondenza cartesiana, vero e proprio laboratorio di idee del filosofo, testimonia della ricchezza e dell'articolazione del dibattito: Mersenne e Huygens ne sono i principali animatori. A seguito della pubblicazione del *Discours* e degli *Essais*, Descartes apre con Mersenne, Vatier, Fromondus e Plempius una lunga discussione sulle forme della dimostrazione *a*

³ In particolare *La formation de l'esprit scientifique*, Vrin, Paris, 1938 e *Le Nouvel Esprit Scientifique*, Alcan, Paris 1934 (Presses Universitaires de France, Paris 1946).

⁴ Più precisamente, dimensione, unità, causa e funzione sono i termini di riferimento con cui Cassirer identifica l'entrata del pensiero cartesiano nella scienza moderna: «Dimensione e unità sono indicate come principi della grandezza in generale: ora va fissata in un nuovo concetto la possibilità di applicare questi principi all'oggetto della geometria. Sorge così il *concetto di misura* come mediazione fra le condizioni generali del porre grandezze e le determinazioni particolari dello spazio, Nella sua duplice natura logica caratteristica per cui sta in rapporto sia col pensiero puro sia col sensibile, la misura diviene il mezzo per ridurre a determinatezze puramente metodiche quelle determinatezze dello spazio che in un primo tempo appaiono solo sensibilmente. Qui il concetto di misura si approfondisce: non significa più semplicemente il mezzo per calcolare forme spaziali date, ma diviene un principio dello stesso formarle. Così ora non si parte più dalla figura sensibile compiuta della curva. Piuttosto, la curva viene *generata da movimenti*: la precisione concettuale di questa generazione risulta dall'esatta determinazione metrica dei movimenti. La misura è dunque lo strumento del pensiero per fissare la curva nella sua legge generativa». *Leibniz' System in seinen wissenschaftlichen Grundlagen*, Elwert, Marburg, 1902, trad. it. di G. A. De Toni, *Cartesio e Leibniz*, Laterza, Bari, 1986, p. 9.

⁵ J.-L. Marion, *Le statut originariamente responsorial des Meditations*, in J.-L. Marion (ed.), *Descartes. Objecter et répondre*, Paris, Puf, 1994, pp. 3-19.

priori/a posteriori in fisica; chiarisce a Fermat il significato dell'espressione «*inclination à se mouvoir*» della luce utilizzata nella *Dioptrique*; discute con Morin sulle leggi di rifrazione e sulla distinzione semantica fra i termini *prouver*, *expliquer*, *démontrer*.

Nella biografia intellettuale di Descartes, non meno che nelle sue opere, la teoria cartesiana del metodo e l'esercizio della scienza appaiono intimamente connessi, permeabili alle diverse istanze che la soluzione di problemi determinati pone allo scienziato e che l'elaborazione teorica sottopone al filosofo. Il metodo non si configura, insomma, come un sistema rigido, riconducibile e ricondotto all'ordine inossidabile delle ragioni, ma, piuttosto, come un *itinerario di ricerca*⁶, per usare l'espressione di Theo Verbeek. Un itinerario che si costruisce per tappe successive, in una cronologia complessa e nient'affatto lineare, si modifica anche in relazione alle condizioni differenti in cui si dà e si configura secondo modalità varie, articolandosi secondo procedure diverse: dalle prime esperienze fisico-matematiche al modello deduttivo, seriale, e induttivo delle *Regulæ*, dalle indagini sulla pressione e sulla gravità all'induzione degli elementi che compongono l'universo fisico del *Traité de la Lumière*, dai modelli esplicativi della *Dioptrique* alla classificazione su basi meccaniche delle *Météores*. In cui il ricorso a spiegazioni di carattere ipotetico per i fenomeni di ottica e di fisica particolare – «des suppositions», le chiama – mobilita la riflessione di Descartes sulla natura, sulle configurazioni e sui limiti del metodo nella ricerca scientifica, che esige una pluralità di modelli esplicativi, impone un ricorso all'esperienza, e richiede diverse immagini dell'ordine, adeguate ai vari campi di applicazione.

⁶ Assumiamo la connotazione del metodo come *itinerario*, facendo nostre le conclusioni di Th. Verbeek circa il carattere strettamente collaborativo che accompagna l'insorgenza dei temi e le proposte approntate da Descartes: «Enfin, il ne travaille jamais seul; en fait, les seules périodes pour lesquelles je ne suis pas arrivé à documenter la présence plus ou moins permanente d'un ami, sont celles de Santpoort (janvier 1639-mai 1640) et, à partir de mai 1643, a Egmond. L'écho de tout cela on le trouve dans le *Discours*, qu'on peut lire comme un hommage à trois amis néerlandais: Huygens pour la *Dioptrique*, Golius pour la *Géométrie*, Renier pour *Météores*. T. Verbeek, *Méthode: discussion ou itinéraire?*» in *Lecture cartesiane*, M. Spallanzani (ed.), Clueb, Bologna, 2003, p. 133.

Descartes lo scriveva a Mersenne il 27 maggio 1638, difendendo i risultati conseguiti nello studio della luce ed esposti nella *Dioptrique*: «Vous demandez si je tiens que ce que j'ai écrit de la réfraction soit démonstration; et je crois que oui, au moins autant qu'il est possible d'en donner en cette matière, sans avoir auparavant démontré les principes de la Physique par la Métaphysique [...]. Mais d'exiger de moi des démonstrations Géométriques en une matière qui depend de la Physique, c'est vouloir que je fasse des choses impossibles». Non solo: nella stessa lettera, Descartes sottolinea che vi sono solo due vie per confutare i risultati conseguiti in scienza, nessuna delle quali chiama minimamente in causa il problema dei fondamenti. Al contrario, sono la semplice esperienza (*par quelque expérience ou raison*) da un lato e la verifica del rapporto fra cause ed effetti dall'altro che permettono di provare «que les choses que j'ai supposées sont fausses; l'autre que ce que j'en déduis ne saurait en être déduit»⁷.

La scienza degli *Essais* sancisce allora l'abbandono della *Mathesis Universalis*? O, piuttosto, mettendola alla prova, non la ribadisce forse e non la conferma nel suo significato più autentico di «disciplina» dell'ordine?

⁷ «Pour ceux qui se contentent de dire – continua Descartes – qu'ils ne croient pas ce que j'ai écrit, à cause que je le déduis de certaines suppositions que je n'ai pas prouvées, ils ne savent pas ce qu'ils demandent, ni ce qu'ils doivent demander». Descartes a Mersenne, 27 maggio, 1638, *Correspondance*, in *Œuvres* publiée par C. Adam et P. Tannery, L. Cerf, 1897-1913, (A. T.), X, pp. 141-143. [Sarà questa l'edizione dell'opera cartesiana a cui faremo riferimento per le citazioni in nota].

PARTE PRIMA

Le Regulæ La teoria dell'*enumeratio sive inductio*

I

L'apprendistato olandese di Descartes (1618-1620)

- I) L'incontro di Descartes con Beeckman. Gli studi di fisico-matematica

Nel secolo XVII il passaggio dal mondo chiuso della Scolastica «all'universo della precisione»¹ culmina nell'elaborazione di una nuova scienza della misura e dell'ordine che offre una nuova intelligibilità del reale. «Meccanica» e «tecnica» sono i due poli entro i quali si produce quella «crisi d'estroversione»² che l'epistemologia kuhniana definisce come la rivoluzione scientifica dell'età moderna³.

¹ L'espressione è di A. Koyré che osserva: «nella visione del mondo della scienza antica è un errore e un controsenso applicare la matematica allo studio della natura. Nella natura non ci sono cerchi, ellissi, linee rette. È ridicolo voler misurare con esattezza le dimensioni di un'essere naturale [...]. C'è dovunque un margine di imprecisione, di *giuoco*, di *più o meno*, di pressappoco [...] Ora è attraverso lo strumento di misura che l'idea dell'esattezza prende possesso di questo mondo e che il mondo della precisione arriva a sostituirsi al mondo del pressappoco». *Du monde de «l'à-peu-près» à l'univers de la précision*, in *Etudes d'histoire de la pensée philosophique*, Armand Colin, Paris, 1961, trad. it. di P. Zambelli, *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*, Einaudi, Torino, 1967, p. 90.

² R. Lenoble, *Les origines de la pensée scientifique moderne*, Gallimard, Paris, 1957, trad. it. di G. Stabile, *Le origini del pensiero scientifico moderno*, Laterza, Roma-Bari, 1976, p. 4.

³ Kuhn scandisce la «rivoluzione scientifica» in due fasi: una prima fase, quella della scienza ancora immatura o *preparadigmatica*; una seconda, quella della *scienza matura*. Per Kuhn, la distinzione avviene sulla base dell'univocità e della consensualità della tradizione alla quale queste scienze fanno riferimento. La scienza «preparadigmatica» detiene anch'essa testi di riferimento, prassi e strumentazioni elaborate, complesse teorie; tuttavia, la concorrenza tra differenti scuole d'interpretazione, l'assenza di una forma d'autorità capace di indirizzare verso una visione univoca le ricerche, pongono ogni singolo membro della comunità nella

Tra continuità e rotture, eredità e rinnovamento, tradizione e nuovi paradigmi, nel periodo che va dalla fine del 1500 alla prima metà del 1600 la rivoluzione copernicana trasforma l'immagine dell'universo, il rapido progresso delle scienze investe le matematiche di un nuovo ruolo conoscitivo dei fenomeni fisici, la meccanica derivata da Archimede offre modelli inediti di investigazione e di trasformazione dei corpi⁴.

La scienza cartesiana si iscrive in questa temperie della rivoluzione scientifica, sensibile ai suoi interpreti e ai suoi libri, attenta ai suoi modelli e alle sue diverse epistemologie – si pensi all'influenza degli *Ad Vitellionem Paralipomena* kepleriani per lo studio della rifrazione e riflessione della luce, all'apprendistato di scienza fisico-matematica del giovane Descartes alla scuola di Beeckman, al ruolo esercitato da Galileo nell'elaborazione e nelle censure delle sue opere, alla collaborazione con gli scienziati olandesi e alle discussioni con i membri delle «accademie» francesi mediate dalla figura di Mersenne⁵. Se pure, infatti, la scienza cartesiana si

legittimità di ripensare il sistema dalle fondamenta. Scrive ad esempio Kuhn a proposito delle scuole di matrice aristotelica, platonica ed epicurea in competizione fra loro durante il periodo preparadigmatico dell'ottica: «Ciascuna delle rispettive scuole traeva forza dalla sua relazione con qualche metafisica particolare, e ciascuna metteva in rilievo, come osservazioni paradigmatiche, il particolare gruppo di fenomeni ottici che la sua teoria era maggiormente in grado di spiegare. Altre osservazioni venivano legate mediante elaborazioni *ad hoc*, oppure venivano lasciate in sospeso, considerandole problemi rilevanti da chiarire con una ricerca ulteriore». *The structure of Scientific Revolution*, The University of Chicago, 1962, (trad. it. di A. Carugo, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino, 1996), p. 36. Sociologi come Latour o Steven Shapin e Simon Shaffer propongono una fenomenologia dell'impresa scientifica dai contorni mai definitivamente fissati, ma storicamente rinvenibili (si pensi alle indagini di Shaffer sulla pneumatica del 1650-'70 e alle tecniche della sua riproduzione, nel caso di Boyle) nella trama di enunciati che dettano le condizioni di un nuovo *spazio di laboratorio*. Si vedano: B. Latour, S. Woolgar, *Laboratory Life: the Social Construction of Scientific Facts*, Beverly Hills, Sage Publications, London 1979, S. Shaffer, *Leviathan and the Air Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*, Princeton University Press, Oxford, 1985, trad. it. di R. Brigati, *Il Leviatano e la pompa ad aria: Hobbes, Boyle e la cultura dell'esperimento* La Nuova Italia, Firenze, 1994.

⁴ Cfr. D. C. Lindberg, *Theories of vision from al-Kindi to Kepler*, University of Chicago Press, Chicago, 1976.

⁵ A proposito della collocazione del *Discours* e degli *Essais* rispetto alle ricerche scientifiche di giovinezza G. Rodis-Lewis, nel suo *Descartes' life and the development of his philosophy*, [in J. Cottingham (ed.), *The Cambridge*

rivela debitrice per tanti aspetti alla tradizione, come Leibniz non mancherà di ricordare, se pure presenta risultati che la fisica newtoniana non mancherà di correggere, se pure certe sue schematizzazioni sono apparse «inattuali» ai teorici di una storia della scienza intesa come progresso di una ragione vittoriosa sui pregiudizi degli Antichi – una «metafisica del sistema della misura» ancora lontana dal sistema della misura, una fisica matematica senza matematica⁶, il «realismo ingenuo» delle proprietà spaziali del mondo dei vortici, l'impossibilità dell'applicazione delle leggi fisiche alla microfisica, non traducibile in relazioni macro-metriche – tuttavia non si possono negare né l'efficacia né la potenza del suo progetto di scienza unificata dell'ordine. Rivelazione di una notte d'autunno attraverso il sogno di un *Dictionnaire*, simbolo del legame fra tutte le conoscenze e dell'unione di Filosofia e Saggezza⁷, aspirazione del giovane soldato che a Breda si consacra alla ricerca della verità dopo l'incontro «per caso» con Beekman, *Mathesis Universalis* nelle *Regulæ* e fonte di ispirazione del lavoro scientifico, tale progetto sostiene già le prime ricerche di Descartes.

L'integrazione di una grande quantità di fenomeni in un numero limitato di modelli fisici ed epistemologici contraddistingue fin dagli inizi le aspirazioni cartesiane, quando il giovane allievo dei Gesuiti, dopo aver interrotto lo studio delle lettere e avendo deciso, secondo le parole del *Discours*, «di non andar cercando altra scienza se non

Companion to Descartes, Cambridge University Press, Cambridge, 1992, pp. 21-57] afferma: «the *Discours* was planned as a *preface* to the *Essays*, and took two or three months to write. The idea of such preface appears in a letter of November 1635 to Huygens, who was advising Descartes about his plans to publish. The preface would take the form of a *history of [his] mind* or intellectual biography – a project Descartes has already discussed with his friends in Paris».

⁶ P. Mouy, *Le Développement de la Physique Cartésienne, 1646-1712*, Arno Press, New York, 1981. Interpretazioni più recenti leggono tuttavia il cosiddetto *matematismo* cartesiano nell'accezione più vasta di un'idea di metodo, ispirata dall'ordine, che, nelle parole di M. Fichat, «produit un effet proprement épistémologique, par l'instauration de rapports nouveaux et d'une grande finesse entre description empirique et figuration géométrique». *Science et métaphysique dans Descartes et Leibniz*, Presses Universitaires de France, Paris, 1998.

⁷A. Baillet, *La Vie de Monsieur Descartes*, 2 voll., Daniel Horthemels, Paris, 1691 (rist. Slatkine Reprints, Genève, 1970), I, p. 84.

quella che avre[bbe] potuto trovare in [s]e stesso, o nel grande *libro del mondo*»⁸, elabora l'esigenza metodica di un approccio analitico unificato alle varie conoscenze come fondamento e orizzonte della scoperta scientifica. L'approdo al metodo, introdotto nella prima parte del *Discours* dalla biografia raccontata «comme en un tableau», è preparato da una visione matematica della fisica, che ispira già nel biennio 1619-1620 lo studio di vari soggetti, dalla legge sulla caduta dei gravi, alle cause della consonanza musicale: studi che, per esplicita ammissione del giovane filosofo, fortificano in modo decisivo il suo nuovo approccio matematico alla fisica, purificata dal bagaglio teorico della Scolastica⁹.

Baillet racconta con dovizia i particolari dell'incontro decisivo fra Descartes e Beeckman¹⁰, a cui Descartes stesso riconosce il ruolo di maestro di scienza. Sul finire del 1618, Descartes, giovane cadetto al servizio delle truppe di Maurizio di Nassau¹¹, incontra a Breda il filosofo e matematico olandese¹², che – scrive – lo sottrae alla vita

⁸ *Discorso sul Metodo*, A. T., VI, p. 10. Fra i moltissimi riferimenti bibliografici ricordiamo G. Cohen, *Écrivains français en Hollande dans la première moitié du XVII^e siècle*, Cahmpion, Paris, 1920. W. Doney, *Descartes: A Collection of Critical Essays*, Macmillan, London, 1968, pp. 369-386; G. Rodis Lewis, *L'Oeuvre de Descartes*, 2 voll., Vrin, Paris, 1971; *Descartes*, in *Contemporary philosophy*, ed. da R. Klibansky, La Nuova Italia, Firenze, 1969; *Descartes. Biographie*, Calmann-Lévy, Paris, 1995; H. Caton, *A Bibliography of Descartes Literature*, in *The Origin of Subjectivity, An Essay on Descartes* Yale, University Press, 1973, pp. 223-243; W. Doney, *Some recent works on Descartes. A Bibliography*, in M. Hooker, (ed.), *Descartes Critical and Interpretative Essays*, J. Hopkins University, Baltimore-London, 1978, pp. 299-312; G. Crapulli, *Introduzione a Descartes*, Laterza, Bari, 1988; E. Garin, *Vita ed opera di Cartesio*, Laterza Bari, 1967; W. R. Shea, *The Magic of Number and Motion The Scientific Career of R. Descartes*, Watson Publishing International Nantucket, 1991 (trad. it. di A. Lorio, *La Magia dei Numeri e il Moto. R. Descartes e la Scienza del Seicento*, Bollati Boringhieri, Torino, 1994).

⁹ Così Descartes parla di Beckman: «dicebat mihi se in arithmeticis et geometricis nihil amplius optare: id est, se tantum in iis his novem annis profecisse, quantum humanum ingenium capere possit». A. T., X, p. 332.

¹⁰ A. Baillet riporta l'inizio dell'amicizia fra i due filosofi alla soluzione di un problema matematico che Descartes fornisce a Beeckman a seguito di una passeggiata avvenuta nei pressi di Breda. *La vie de Monsieur Descartes*, I cit., pp. 42-43.

¹¹ A. Baillet, *La vie de monsieur Descartes*, I, cit., p. 42-43.

¹² Beeckman era nato a Middelburg il 10 dicembre 1588. Aveva studiato medicina all'Università di Leida ma si era trasferito a Caen nell'estate del 1618 per conseguire la laurea. Conseguì il baccalaureato e l'abilitazione in medicina il 18 agosto; il 6

«oziosa e confusa dell'esercito»¹³ e lo inizia alla scienza, in particolare ai problemi di meccanica, di teoria della musica, di idrostatica e di matematica, di cui il fisico olandese era studioso.

La corrispondenza con Beeckman¹⁴ inizia negli ultimi mesi del 1618 e testimonia dell'apprendistato scientifico di Descartes, dai primi tentativi di trattamento geometrico dei processi fisici – è il caso della determinazione della caduta dei gravi, della legge sulla pressione dei liquidi – alla ricerca dei medi proporzionali. Analisi geometrica e fisica convergono su due obiettivi che rimarranno al centro delle ricerche cartesiane anche successive: la definizione di un programma di ricerca fisico-matematico e la riflessione metodica sul problema della scoperta scientifica¹⁵. Descartes immagina una scienza

settembre riceve il dottorato, dopo aver promesso di non praticare a Rouen, Reims o Parigi. Non si sa perché fosse richiesta questa garanzia. Il documento rilasciato a Beeckman stabilisce con chiarezza che egli era abilitato a praticare e a insegnare la scienza medica «in tutto il mondo» (A. T., X, p. 30). La corrispondenza con Beeckman conduce ad un vero e proprio risveglio di Descartes alla scienza e alla matematica: «habe me Musarum ipsarum potius quam tui obliturum», confida Descartes a Beeckman, il 26 marzo, 1619, A. T., X, p. 153. A proposito della vita e dell'opera di Beeckman, si veda Klaas van Berkel, *Isaac Beeckman (1588-1637) en de Mechanisering van het Wereldbeeld*, Rodopi, Amsterdam, 1983; sul rapporto con Descartes, dello stesso autore *Descartes' debt to Beeckman. Inspiration, cooperation, conflict*, in *Descartes' Natural Philosophy*, S. Gaukroger, J. Schuster, J. Sutton, (ed.), Routledge, London, 2000, pp. 47-59.

¹³ A. Baillet, *La vie de monsieur Descartes*, I, p. 48. Cfr. anche *Compendium Musicae*, A. T., X, p. 141.

¹⁴ Nel diario di Beeckman rinvenuto da Cornelis de Waard il nome di Descartes compare per la prima volta in un'annotazione del 10 novembre 1618: *Journal tenu par Isaac Beeckman de 1604 a 1634*, C. De Waard (ed.), The Hague, 4 voll., 1939-1953, contenuto in A. T., X, p. 46.

¹⁵ Senza dubbio la distanza concettuale e cronologica che separa la *Scientia penitus nova* del marzo 1619 dal terzo libro della *Géométrie* rimane decisiva, analogamente a quella che divide la fisica-matematica dei primi anni rispetto al sistema del *Traité de la Lumière* e dei *Principes*. Non è possibile dare qui un resoconto esauriente della vastissima bibliografia sui rapporti tra le diverse fasi della ricerca cartesiana. Ci limiteremo a ricordare, oltre allo studio di H. J. M. Bos, *On the Representation of Curves in Descartes' Géométrie*, in *Archive for History of Exact Sciences* XXIV, 1981, pp. 295-338, alcuni testi che permettono ormai un'inquadratura soddisfacente dei primi esercizi del metodo. In particolare, sulla relazione fra *Regulae* e *Géométrie* cfr. T. Lenoir, *Descartes and the Geometrization of Thought: The Methodological Background of Descartes's Géométrie*, in *Historia Mathematica* VI, 1979, pp. 355-379. Va inoltre ricordato l'importante volume di J. Vuillemin che ha contribuito a ravvicinare temi filosofici e matematici nell'opera di Descartes: J. Vuillemin, *Mathématiques et métaphysique chez Descartes*, cit. Si ricordino inoltre: J. L. Coolidge, *A History of Geometrical Methods*, (reprint),

universale della proporzione, «per porre i fondamenti [della quale] – scriveva – il moto verrà rappresentato attraverso una linea o un parallelogramma o un parallelepipedo»¹⁶. Ne parla entusiasta a Beeckman e la definisce una *scientiam penitus novam* «con cui si possono risolvere in generale tutte le questioni che rimandano alla quantità, sia discreta che continua [...]. E penso che non si possa immaginare nessun problema che non si riesca a risolvere attraverso tali linee; anzi, spero di dimostrare quali questioni si possano risolvere in questo o in quel modo, e non in altro: tanto che non rimarrà quasi più nulla da inventare in geometria»¹⁷. Una *scientia penitus nova* della quantità¹⁸, capace dunque di risolvere tutti i problemi geometrici attraverso la costruzione sempre possibile di curve, e restituirne così una conoscenza completa e generale, fondata su un unico principio di intellegibilità, appunto, ma attraverso la determinazione precisa delle diverse condizioni di risoluzione¹⁹.

Le *Cogitationes privatae* di questi mesi – il titolo è di Foucher de Careil – quelle note cioè, del *premier Registre* che Leibniz²⁰ aveva ricopiato dai manoscritti di Descartes e che Baillet, sull'autorità di

New York, Dover Publication, 1963; G. Milhaud, *Descartes savant*, Alcan, Paris, 1921; G-G. Granger, *Essai d'une philosophie du style*, Paris, A. Colin, 1968; J. Dhombres, *Nombre, mesure et continu, épistémologie et histoire*, Paris, Nathan, 1978; J. Schuster, *Descartes' mathesis universalis; 1618-1628*, in *Descartes: Philosophy, Mathematics and Physics*, S. Gaukroger, (ed.), Harvester Press, Brighton, 1980, pp. 41-96.

¹⁶ Descartes, *Cogitationes privatae*, A. T., X p. 220.

¹⁷ Descartes a Beeckman, 26 marzo 1619, A. T., I, pp. 156-157.

¹⁸ Su questi primi studi di Descartes si vedano P. Costabel, *La mathématique de Descartes antérieure à la « Géométrie »*, in *Démarches originales de Descartes savant*, Paris, Vrin, 1982, pp. 27-37; T. Lenoir, *Descartes and the Geometrization of Thought*, cit., pp. 355-379.

¹⁹ Quel problema, cioè, della classificazione delle curve che verrà affrontato nella *Géométrie* non sulla precisione degli strumenti, come scriverà Descartes introducendo una nuova classificazione, radicalmente diversa da quella degli antichi, ma «sur la justesse du raisonnement». *Géométrie*, A. T., VI, p. 389.

²⁰ Le *Cogitationes privatae* sono un raccolta di note che risalgono agli anni 1619-1620. Furono pubblicate con questo titolo da L. A. Foucher de Careil nel primo volume delle *Oeuvres inédites de Descartes* (2 vol., Paris, A. Durand, 1859-1860), da una copia manoscritta di Leibniz del 1 giugno 1676.

Chanut, diceva esser state composte in gioventù²¹, pur nella loro natura ancora asistemica, sono la testimonianza della prima riflessione cartesiana sulla scienza e del suo esercizio in vari domini del sapere²². Studioso di matematica e padrone di una *scientia penitus nova* delle quantità, Descartes esordisce con una critica severa al sapere libresco²³ contrapponendo ad esso il modello della *catena scientiarum*, il modello, cioè, di un sapere generale tenuto insieme da un legame necessario e ordinato all'insegna della necessità intrinseca delle connessioni²⁴. Sin dai primi scritti, le matematiche acquistano un valore esemplare nella scienza, fornendo ordine e rigore²⁵. Certo, la loro applicazione, nei primi anni '20, rimane vincolata a saperi particolari (il peso dei corpi, la pressione dei liquidi, l'ottica). E tuttavia, la riduzione delle dimostrazioni fisiche a geometria, come la rappresentazione della caduta dei corpi attraverso gli schemi geometrici dei *Physico-Mathematica*, il collegamento tra algebra e geometria nella soluzione dei problemi geometrici esprimono già, nel primo scambio scientifico di Descartes con Beeckman, la tensione a «risolvere tutte le questioni che rimandano alla quantità, sia discreta che continua».

Fondamentale, in questo scambio di determinazioni tra i vari campi del sapere, appare, inoltre, l'introduzione in fisica del modello corpuscolare. La corrispondenza con Beeckman del 1619 avvia le prime elaborazioni fisico-matematiche cartesiane secondo un modello

²¹ A. Baillet *La Vie de Monsieur Descartes I*, cit., p. 51 : «le principale de ces fragments et le premier de ceux qui se trouvoient dans le *Registre* étoit un recueil de *Considerations Mathematiques*».

²² Sul pensiero di Descartes in questo periodo ricordiamo A. Bortolotti, *Saggi sulla formazione del pensiero di Descartes*, Olschki, Firenze, 1983; M. Spallanzani, *Diventare filosofo*, Alinea, Firenze, 1999; S. Gaukroger, *Descartes. An Intellectual Biography*, Clarendon Press, Oxford, 1995; J. Sirven, *Les années d'apprentissage de Descartes*, Imprimerie Coopérative de l'Ouest, Albi, 1928; A. Tillmann, *L'itinéraire du jeune Descartes*, Champion, Paris, 1976;

²³ *Cogitationes privatae*, A. T., X, p. 213.

²⁴ *Discours*, II, A. T., VI, p. 17. L'influenza dell'unità del sapere nelle prime riflessioni cartesiane è sostenuta da J.-L. Marion, *La pensée rêve-t-elle? Les trois songes ou l'éveil du philosophe*, in J.-L. Marion (ed.), *Questions cartésiennes*, Presses Universitaires de France, Paris, 1991, p. 13 segg.

²⁵ *Cogitationes privatae* A. T., X, p. 215; *Opuscules de 1619-1621. Studium Bonae mentis*, p. 191.

«micro-meccanico» che, avvalendosi di un nuovo uso delle figure e dell'immaginazione scientifica, riconduce i fenomeni macroscopici della fisica alle loro determinazioni microscopiche²⁶. Una corrispondenza densa e importante, che prolunga la collaborazione dei due scienziati anche dopo la partenza di Beeckman per Middelbourg, agli inizi del 1619, e prosegue fino al viaggio in Germania di Descartes in aprile²⁷. A partire dal 1629, tuttavia, ogni contatto fra i due è spezzato. Il fatto è noto: Beeckman rivendica la paternità delle scoperte del giovane e geniale allievo in fisica e nella teoria della musica²⁸. La reazione di Descartes è particolarmente aspra: Beeckman è definito in modo sprezzante come uno di quegli uomini «che cercano di acquisire una reputazione»²⁹ a spese d'altri.

La rottura fra i due filosofi ha indotto molti commentatori a sottovalutare il ruolo esercitato da Beeckman su Descartes, relegandolo a semplice causa occasionale degli inizi della carriera di studio del filosofo. Là dove le biografie cartesiane recenti tendono a valorizzare l'incontro avvenuto a Breda: come quella di Geneviève Rodis-Lewis che lo definisce un «risveglio»³⁰ di Descartes alla scienza; o come quella di Steven Gaukroger che sottolinea il forte debito con Beeckman dei primissimi scritti di Descartes – *Olimpica, Praeambula ed Experimenta* – tutti datati 1619: quasi testi analoghi ed ispirati al *Journal* di Beeckman³¹.

²⁶ J. A., Schuster, *Descartes and the Scientific Revolution. 1618-1634*, Princeton University, Ph.D Thesis, 1977, I, p. 94.

²⁷ Le ultime lettere datano a partire dal 29 aprile, 1619, A. T., X, p. 164.

²⁸ Beeckman a Mersenne, metà di marzo, 1629, in *Correspondance du P. Marin Mersenne*, vol. II, C. De Waard et alii, (éd.), 17 voll., Puf, CNRS, Paris, 1932-1988, p. 218.

²⁹ Descartes a Mersenne, prima metà di giugno, 1637, A. T., I, p. 375.

³⁰ G. Rodis-Lewis, *Descartes*, Calmann-Lévy, Paris, 1995, pp. 52-53 : «d'un côté, on trouve, à l'intérieur de la couverture, la date du 1 Janvier 1619 et, en face, le titre *Parnassus*. La passion de Descartes pour la poésie lui faisait référer à une inspiration analogue toutes ces savantes recherches qu'il partageait avec Beeckman [...]. Beeckman offrait à Descartes ce registre élégant pour qu'il y notât, comme lui le faisait dans son *Journal*, ses réflexions scientifiques».

³¹ Gaukroger, *Descartes. An intellectual biography*, cit., p. 223: «far from plagiarizing Descartes' work, as Descartes claims, Beeckman was in fact extremely scrupulous and modest about recording his results [...]. There can be no doubt at all that Descartes was very indebted to Beeckman, and not only in the specific

Insomma, se i risultati scientifici del matematico olandese non sono certo confrontabili con quelli di Descartes, l'influenza di Beeckman su di lui si rivela complessa e decisiva³². La questione non consiste ovviamente nel decidere se e in quale misura Descartes abbia tratto le sue prime idee di scienza dal *Journal* dell'amico; certo è che la discussione sul peso dei corpi e sulle leggi del moto mostrano somiglianze di intuizioni e di protocolli dimostrativi³³.

Il *Journal* di Beeckman, la raccolta di note eterogenee pubblicata da De Waard in quattro volumi, testimonia dei vasti interessi dello scienziato: l'embriologia, la meccanica celeste, la logica, la matematica applicata. Esso si sottrae al genere canonico di saggio di filosofia naturale, presentando piuttosto i caratteri di un diario di lavoro redatto da uno scienziato nel corso della ricerca. Nell'apparente dispersione del *Journal* tuttavia, fra le varie note, emerge una seria riflessione sulle relazioni fra conoscenza scientifica e arti meccaniche, in cui una teoria corpuscolare della materia, fondata sui principi della perfetta rigidità degli atomi e della

orientation of his work but right down to details of its presentation, which also derive from Beeckman. By the end of 1629, Descartes had demanded his *Compendium Musicae* back from Beeckman and had cut off correspondence with him. Here matters rested until the middle of 1630, when Mersenne paid a visit to the Netherlands. While there Beeckman showed him his *Journal*, and Mersenne realized that Beeckman did indeed deserve the credit for a number of advances he had attributed to Descartes. Beeckman subsequently wrote to Descartes pointing out that Mersenne had spent days reading his *Journal* and had learned that some views he had ascribed to Descartes, had in fact been first developed by Beeckman».

³² A. Koyré, *Etudes galiléennes*, Hermann, Paris, 1966 (trad. it. di M. Torrini, *Studi galileiani*, Einaudi, Torino, 1976, p. 107): «Beeckman, ci se ne rende conto ora, merita pienamente l'appellativo di *vir ingeniosissimus* di cui l'aveva gratificato Descartes; e, quel che più importa, ci appare ormai come un personaggio di primo piano nella storia dell'evoluzione delle idee scientifiche; infine, la sua influenza su Descartes sembra esser stata ben più profonda di quanto non si sia potuto supporre fino ad oggi; in particolare, parecchie fra le leggi del moto e dell'urto formulate da Descartes nei suoi *Principi* hanno il loro modello in quelle che aveva stabilito Beeckman (*Correspondance du Père Marin Mersenne*, cit., pp. 633 segg.); inoltre, erudito e ben informato sulla letteratura scientifica dell'epoca, egli ha, senza dubbio, trasmesso a Descartes la conoscenza di opere che questi non aveva letto».

³³ Si veda, in particolare, lo scambio epistolare di Descartes con Mersenne ed Huygens della fine degli anni '30: Descartes a Huygens, 5 ottobre, 1637, A. T., I, pp. 435-447; Descartes a Mersenne, 13 luglio 1638, A. T., II, pp. 222-245; 12 settembre, 1638, A. T., II, pp. 352-362.

conservazione della quantità di movimento, si coniuga con le istanze di una fisica matematica, nella prospettiva di un sapere pratico³⁴. Queste ultime implicano la perfetta rigidità degli atomi e il principio della conservazione della quantità di movimento. L'urto fra corpi può essere descritto allora come il funzionamento della bilancia³⁵.

Anche Descartes, nei suoi primi studi di scienze³⁶, promuove una simile circolarità virtuosa fra costrutti teorici – principi primi del

³⁴ I contatti fra Beeckman, il filosofo ramista R. Snell e suo figlio Willebrord risalgono al periodo compreso fra il 1607 e il 1610, durante gli studi di teologia, lettere e filosofia a Leida. Sulle influenze della cultura riformata e della logica Seicentesca nel matematicismo di Beeckman, cfr. R. Hooykaas, *Science and Religion in the 17th century; Isaac Beeckman (1588-1637)* in *Free University Quarterly*, 1, 1951, pp. 169-183; A. Koyré, *Studi galileiani*, cit.; R. Lenoble, *Mersenne ou La Naissance du Mécanisme*, Vrin, Paris, 1943; R. Pintard, *Le Libertinage Érudite dans la première moitié du XVII siècle*, Slatkine, Paris, 1983.

³⁵ *Journal*, A. T., X, p. 265-266: «Quod quiescebat movebitur cum moto hoc pacto: *Si utrumque est aequalis corporeitatis, utrumque movebitur duplo tardiùs quàm motum movebatur*. Cum enim tot partes insunt quiescenti ac moto, et motum aequalem progressum illi adferit est cum idem impetus debet sustinere necesse est tanto etiam tardiùs procedere: id enim in omnibus machinis animadvertit: ut *duplex pondus, aequali vi sublatur, etiam duplo tardiùs ascendat quam prius pondus* [Corsivo nel testo]». Un secondo esempio di collisione avviene quando due corpi uguali e perfettamente rigidi, muovendosi ad uguali velocità, ma in direzione contraria e non potendo rimbalzare o deformarsi annullano reciprocamente il loro effetto senza lasciare residui significativi di moto da redistribuire. Il caso simmetrico di una compensazione fra due corpi di uguali quantità di moto viene risolto mediante il riferimento alla condizione di equilibrio fra macchine semplici. Tale modello è attestato dal *Journal* in una nota al commento di un passo del *Traité de l'Harmonie universelle* di Mersenne (*vitesse ou tardivité du mouvement cause de tout ce qui se fait par bilances*): «cujus rei ratio aptissime reddi potest per ea, quae paulo ante scripsi de motu. Ex ijs enim sequitur globum duplo graviorem, id est duplo plus corporeitatis habentem, sed duplo etiam tardiorem occurrentem, in vacuo ab eo sisti, id est utrumque quiescere. Dictum est enim corporeitatem et motum inter se reciprocari. Sic etiam ratiocinandum de bilance». *Journal*, vol. I, p. 266.

³⁶ Si veda la storiografia che da Koyré a Denissof, da Kemp Smith a Clarke, passando attraverso i lavori sulla fisica e sull'ottica cartesiana di Damerow, Garber, Maull, Sabra, fino alle ricostruzioni del dibattito scientifico nel diciassettesimo secolo nei lavori di Dibon, Thijssen-Schoute, Dijksterhuis fino alle indagini più recenti di Gaukroger e Shea, ha avuto il merito di riscoprire un Descartes aperto all'esperienza. Un'esperienza che «la storiografia settecentesca aveva nettamente distinto dalla sua filosofia, magnificando quella e liquidando questa», riassunta poi, dalla corrente storiografica francese dell'inizio di secolo scorso, dentro la rigida griglia di un sistema affatto a *priori* e per lo più tutto spostato sugli ultimi anni della carriera cartesiana. Un pensiero scientifico che si iscrive nei «punti più sensibili e in qualche modo più interni delle dottrine di Descartes – che risale – lo sviluppo dell'albero della filosofia nelle sue parti più nodose o, forse, ancora troppo ruvide». M. Spallanzani, *Introduzione a Letture cartesiane*, cit., p. 15.

movimento – e macchine semplici, le stesse che ricorreranno nell’analogia con la bilancia, proposta nella *Regula IX*. L’istanza è analoga: la ricerca di una spiegazione di fenomeni anche diversi a partire da un’unica causa. «Guarderò allora una bilancia (*intuebor libram*) – afferma Descartes – nella quale lo stesso peso nell’unico e medesimo istante solleva uno dei piatti, e abbassa l’altro, e cose del genere»³⁷. L’analogia dei procedimenti scientifici con le soluzioni offerte dalle arti meccaniche ritorna anche nella *Regula X*. Le arti, infatti non procedono a caso, ma seguendo determinati precetti. Così, secondo l’istanza dell’ordine, «non ci si deve occupare subito di cose difficilissime ed ardue, ma che prima bisogna sciogliere le difficoltà delle arti meno importanti e più semplici e soprattutto di quelle nelle quali maggiormente regna l’ordine»³⁸.

L’interesse di Descartes – e qui risiede, soprattutto dopo il 1619, la principale distanza rispetto a Beeckman – è ispirato, tuttavia, ad una concezione più «tecnologica» che tecnica, che sancisce il primato della teoria³⁹. È l’istanza dell’ordine, non la necessità dell’invenzione di macchine che sorregge il progetto cartesiano della *Mathesis*

³⁷ *Regulae IX*, A. T., X, p. 403.

³⁸ *Regulae X*, A. T., X, p. 404. Laporte evidenzia la preminenza del carattere pratico del metodo cartesiano sull’aspetto teorico, rilevandone ad un tempo l’ispirazione analitica ed inventiva: «Qui veut percevoir d’un seul coup d’œil un grand nombre de figures ne discerne rien nettement en aucune d’elles: de même on se condamne à la confusion en s’appliquant d’un seul acte de pensée à trop d’idées à la fois. Imitons plutôt ces artisans qui, travaillant à des choses minutieuses, acquièrent, à force de diriger attentivement, leur regard sur chaque point pris un à un [...] Ainsi l’art de la tapisserie, de la broderie, de la dentelle, ou bien encore ces jeux consistant en combinaisons des nombres et autres opérations arithmétiques». Laporte, *Le rationalisme de Descartes*, Presses Universitaires de France, 1950, Paris, pp. 30-31. G. Gaston-Granger elenca, fra le caratteristiche principali del concetto di *metodo* la stessa capacità di raffigurazione spaziale dei problemi individuata come «capacità di discernere punti singolari nel tessuto dell’azione e nel suo contesto». *Enciclopedia Einaudi*, voce *Metodo*, vol 9, a cura di R. Romano, Einaudi, Torino, 1980, p. 240.

³⁹ A. Koyré, *Studi galileiani*, cit., p. 127: «[Descartes] esprime con perfetta chiarezza tutto ciò che non era che oscuramente adombrato e implicitamente contenuto nel pensiero di un Beeckman e di un Galileo. Ma, cosa curiosa, questa stessa rivoluzione intellettuale fa perdere a Descartes tutte le acquisizioni concrete della “nuova scienza”. [...]. La fisica di Descartes, così come ce la presentano i *Principia*, non contiene più leggi matematicamente esprimibili. Infatti è così poco matematica quanto quella di Aristotele (Corsivo nostro). E per quanto concerne il problema della caduta dei gravi, i *Principia* lo passano sotto silenzio».

Universalis e che media dalla matematica il modello di una conoscenza non soltanto utile, ma anche certa. È l'aspirazione all'unità delle scienze che sancisce il definitivo distacco della filosofia di Descartes rispetto alla molteplicità disordinata delle ricerche di Beeckman .

Le *Cogitationes* e le note di *Physico-Mathematica* non offrono certo una compiuta teoria dei rapporti fra le quantità. Ma due problemi specifici – la caduta dei gravi e il paradosso idrostatico – mettono già alla prova la teoria dell'ordine e indicano già, in modo quasi esemplare, quella ricerca della catena delle scienze che prelude alla loro unificazione nella *Mathesis Universalis*.

II) La descrizione matematica della caduta dei gravi.

I Physico-Mathematica e le Cogitationes Privatae

Una delle ricerche più estese e documentate condotte da Descartes insieme a Beeckman è quella sulla caduta dei gravi, problema centrale della meccanica classica. Tale studio rivela già la presenza di alcuni temi portanti del metodo e della fisica cartesiana successiva: primo fra tutti la riduzione dei corpi a delle grandezze inserite in una «geometria concreta» e in una fisica del continuo, comandata da un'esigenza di precisione assoluta.

È il *Journal* di Beeckman ad introdurre il problema¹, cui rispondono le note cartesiane che vanno sotto il titolo di *Physico-Mathematica* e alcune pagine delle *Cogitationes privatae*. Come in un dialogo di due scienziati al lavoro in una collaborazione ricca di spunti, negli anni stessi in cui Galileo ne formula la legge matematica, Beeckman pone a Descartes il problema della caduta dei corpi come problema degli incrementi della velocità: «perché la velocità di un corpo che cade nel vuoto è destinata progressivamente a crescere»². Per parte sua, lo scienziato olandese propone una spiegazione generale del fenomeno: la caduta dei corpi è l'effetto dell'attrazione terrestre e della legge d'inerzia che porta i corpi a perseverare nel loro stato. Beeckman pensa infatti la caduta nei termini di un'applicazione ripetuta della forza attrattiva³ che «componere» applicazioni istantanee e successive di moto⁴, assumendo come implicita la proporzionalità fra

¹ *Lapis cadens in vacuo cur semper celerius cadat (XI); Lapis cadentis tempus supputatum (XI bis)*, *Journal*, A. T., X, Fol. 105verso-106recto, A. T., X, pp. 58-61.

² Le *Cogitationes* riprendono la domanda, chiedendo qual è lo spazio che un corpo che cade percorre in un'ora quando si sa quanto ne percorre in due. A. T., X, p. 75 segg.

³ Beeckman riferisce la forza attrattiva a «corporei»: «Si igitur descensus lapidis sia per distincta intervalla trahente terra per corporeos spiritus». *Lapis cadentis tempus supputatum*, *Journal*, A. T., X, p. 61.

⁴ *Lapis cadentis tempus supputatum*, *Journal*, A. T., X, pp. 59-61. La spiegazione di Beeckman è la seguente: nella distanza percorsa dal punto *A* al punto *B* tale influsso, ripetuto *momento* per *momento*, “impressiona” il corpo comunicandogli un certo grado di movimento. Il termine “momento” connota i vari istanti di tempo

spazio attraversato e somma della quantità di movimento posseduta dal corpo: tale somma si incrementa, dipendendo sia dal movimento conservato nell'unità di tempo precedente che dall'incremento di moto sopraggiunto negli intervalli successivi. Da qui l'attenzione per il rapporto fra gli spazi attraversati da un corpo che cade e il tempo impiegato a percorrerli, esprimibile attraverso un rapporto fra numeri interi. In sostanza, Beeckman è interessato alla correlazione fra le quantità implicate – lo spazio e il tempo –, legate come sono da un rapporto di proporzionalità. Tale relazione spazio-temporale costituisce la premessa alla domanda posta a Descartes: conoscere qual è lo spazio percorso in un'ora da un corpo che cade, quando si sa quanto spazio percorre in due ore.

La geometrizzazione della caduta dei gravi proposta da Beeckman semplifica il problema soffermandosi sulla nozione di moto inerziale come *causa* dell'incremento del moto. La dimostrazione è offerta da una rappresentazione geometrica del problema, che consente di visualizzare il rapporto tra lo spazio percorso in un'ora e quello attraversato in due ore come il rapporto fra l'incremento del tempo sulla linea AC (fig. 1, nota 5) e l'aumento di velocità lungo l'asse orizzontale CB ⁵. Questa costruzione è la stessa che permette a

suscettibile di essere sommati come unità uniformi. L'espressione letterale "secundo momento [...] superadditur motus novus tractionis" esprime piuttosto l'idea di una *ripresa* dell'azione e della sua continuità nel tempo.

⁵ *Lapis cadentis tempus supputatum*, *Journal*, A. T., X, pp. 59-61. L'area $ADEF$ (fig. 1) rappresenta per Beeckman la distanza percorsa in un'ora, $ACBGEF$ quella percorsa in due ore. Se dividiamo le due ore in otto intervalli di tempo più piccoli, lo spazio attraversato sarà rappresentato da aree più piccole a cominciare da $AIRS$. I triangoli k, l, m, n, o, p, q, t , sopra la diagonale AB sono quantità spaziali minime. Assumendo la progressione aritmetica più semplice, Beeckman suggerisce una serie aritmetica di numeri naturali 1, 2, 3... per gli spazi attraversati in tempi successivi.

verticale *ab* (fig. 3, nota 9) e la velocità su quello orizzontale⁹. Agli occhi di Descartes, la velocità (*celeritas*) è sinonimo di forza (*vis*)¹⁰. In ciò consiste la differenza principale rispetto al puro matematismo di Beeckman: Descartes vuole offrire una giustificazione dinamica del fenomeno della caduta e lo fa interpretando l'aumento della velocità di un corpo come aumento della sua *forza interna*¹¹. Da Newton in avanti sappiamo che la forza è proporzionale all'accelerazione, non alla velocità, e conosciamo questa legge nella forma $F=ma$. Ma nel 1618 Descartes intende ancora la velocità come una forza¹², seguendo in questo la teoria medievale dell'*impetus* come una forza interna al corpo, che fornisce ad esso un movimento più rapido. La gravità (vale a dire il peso), è, secondo questa interpretazione, una proprietà intrinseca che, in ogni istante di caduta, spinge il corpo verso il basso. Nella figura 3 (nota 9), le linee orizzontali *de*, *fg*, *hi*, *bc* rappresentano

nec quid deperdit ab illa celeritate quae illi impressa est priori attractione. Quod enim in vacuo movetur semper moveri existimabat. Queritur quo tempore tale spatium percurrat».

⁹ *Physico-Mathematica*, A. T., X, pp. 75-77:

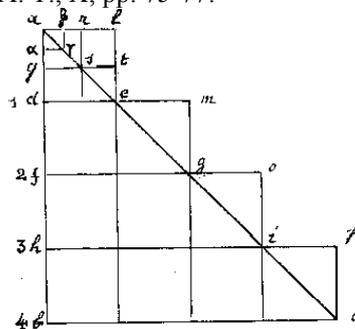


Figura 3

¹⁰ Nelle parole di A. Koyré, *Studi galileiani*, cit., p. 118: «Il movimento, entità paradossale, che è uno stato del mobile e che, nondimeno, passa da un mobile all'altro, che rappresenta il cambiamento e che, nello stesso tempo, rimane uguale a sé stessa, sembra a Descartes un essere ibrido; e volontariamente quanto istintivamente egli sostituisce tale nozione con quelle, più concrete – e più chiare, più facilmente *immaginabili* – di forza motrice da un lato, di traiettoria dall'altra».

¹¹ Sul concetto di *vis* come forza interna al corpo nei primi esperimenti cartesiani di fisica si veda A. Koyré, *Studi galileiani*, cit., p. 114.

¹² La forza costante di cui parla Descartes non può ancora essere messa in relazione con l'accelerazione. La velocità si spiega come un aumento di quella *forza interna* che penetra all'interno del corpo e, non molto diversamente dalle teorie mediavali dell'*impetus*, consente ad esso un movimento più rapido (*celeritas* come sinonimo di *vis*) o un cambiamento di stato.

quindi l'incremento di velocità, ma si tratta di una velocità dotata di una componente dinamica interna che non è più considerata nei testi moderni di fisica¹³. Poiché l'area $fbcg$ è tre volte l'area afg (fig. 3, nota 9) il tratto fb verrà attraversato con tripla velocità¹⁴.

La rappresentazione di Beeckman del movimento accelerato si basa sul parallelismo fra spazi attraversati in momenti consecutivi e una serie di numeri interi. Soprattutto il principio d'inerzia è costitutivo della nuova visione per cui, nel vuoto, un corpo che ha iniziato a muoversi persevera nel suo stato senza alcun ricorso a forze *interne* che lo conservino. Il linguaggio adottato da Descartes dimostra una maggiore preoccupazione alle *cause* del movimento rispetto alle semplici relazioni spazio-temporali da esse derivabili. Descartes insiste infatti sull'utilizzo del termine *vis* inteso come forza continuamente rinnovata e causa, ad ogni istante, di *minimum motus*¹⁵: nel secondo istante di caduta si produrrà uno spazio doppio, nel terzo, lo spazio doppio si mantiene, ma se ne aggiunge un altro, diventando così triplo rispetto al primo («pergit ea vis quae erat in primo minimo et alia nova accedit illi aequalis»). Formalmente, non vi è alcuna differenza fra il problema di Descartes e quello di Beeckman: che si tratti di forze, spazi, o velocità, viene calcolata la variazione di una grandezza che aumenta in rapporto al tempo. Descartes, tuttavia, assume la velocità

¹³ Nelle parole di A. Koyré, *Studi galileiani*, cit., p. 117: «Descartes immagina che se il corpo che cade accelera il proprio movimento, ciò è dovuto al fatto che il corpo è attratto con maggior forza dalla terra alla fine del suo movimento che all'inizio o, per dirla con le sue parole, perché la forza di attrazione della terra produce nella pietra una forza motrice che va progressivamente crescendo: in tal modo somma le forze agenti non semplicemente le velocità».

¹⁴ *Physico-Mathematica*, A. T., X, pp. 75-77: «Mediam vero partem gb triplo celerius pertransiri a lapide, quam alfa media pars ag , quia triplo majori vi a terra trahitur: spatium enim $fgbc$ triplum est spatii afg , ut facile probatur. Et sic proportionem dicendum de caeteris partibus».

¹⁵ Il momento indivisibile è in questo senso una velocità *istantanea*, il *minimum*. G. Milhaud, *Descartes savant*, cit., p. 33: «Nicole Oresme utilisait, pour étudier la variation d'une qualité, un système de coordonnées rectangulaires, longueur et latitude. La figure triangulaire, quand il s'agissait d'une qualité uniformément variée, servait à mesurer la variation totale de l'intensité de la qualité et Mr. Duhem a montré (*Etudes sur Léonard de Vinci*, 3^e série, ch. XXXI) comment cette tradition avait pu se continuer à travers l'école d'Oxford et celle de Paris jusqu'à Galilée lui-même qui, en fait, avait esquissé des 1604 une démonstration semblable à celle de Descartes pour la chute des corps».

come prodotto di una forza costante che, affiancata alla reintroduzione dell'*impetus* o agente-motore interno, rende possibile la determinazione cartesiana «triangolare» del moto, nonché la sostituzione del rapporto formulato da Beeckman fra spazio e tempo (*momenta spatii*) nella nozione di *minima motus*. In questo modo, Descartes tenta di tenere insieme causalità fisica ed analisi matematica, traducendo un cambiamento fisico che avviene nel tempo nella sua misurazione spaziale. La dialettica fra tempo e spazio si consuma fra il meccanismo fisico dell'accelerazione (la successione progressiva dell'*impetus* nel tempo) e la trasposizione di tale successione nell'analisi matematica del moto. Di certo, tale spiegazione è ancora lontana dalla scienza moderna del movimento, assunto come fenomeno di cui non si interrogano le cause o la natura intrinseca. Nel 1618, la spiegazione cartesiana del moto intreccia concetti diversi – *traiettoria velocità, impetus* – all'interno di una spazializzazione geometrica che integra una spiegazione causale di tipo fisico alla misurazione matematica delle distanze percorse da un corpo in caduta.

In tal senso, secondo Koyré, Descartes si approssima in questi primi studi a quella «geometrizzazione ad oltranza» di cui le ricerche del *Traité de la Lumière* e dei *Principia* porranno e definiranno la legittimità. Fra la metà degli anni '20 e gli anni '30, la teoria cartesiana della luce avrà intanto eliminato la nozione residuale dell'*impetus*, sostituendola ad una rappresentazione puramente geometrica dello spazio¹⁶. La dottrina delle nature semplici, il confronto fra quantità fisiche omogenee esposto nelle *Regulae*¹⁷, nonché le nuove acquisizioni fisiche degli anni '30 completano l'iniziale scienza delle quantità: la fisica generale che avrebbe dovuto costituire il *Traité de la Lumière* del 1633, e che confluirà nei *Principia* del '44, sostituisce alla nozione di *vis* interna ai corpi e all'idea di una *tendenza rettilinea* al movimento¹⁸, contenute nello studio sui gravi e nelle note

¹⁶ *Dioptrique*, II, A. T., VI., pp. 94-105.

¹⁷ Il riferimento va in particolare alle modalità di rappresentazione dei colori e delle grandezze nelle *Regulae XII* e *XIV*, A. T., X, pp. 413-414; 438-453.

¹⁸ Il principio del moto in linea retta che Descartes è il primo a concepire ed enunciare in maniera corretta in realtà viene espresso già in una lettera a Mersenne

sull'idrostatica del 1619, il principio della conservazione dello stato di un corpo come risultato dell'equiparazione ontologica di moto e quiete¹⁹, nonché la distinzione fra il moto circolare prodotto dall'urto e la tendenza rettilinea al moto²⁰.

Allo studio cartesiano del 1618 sul problema della caduta rimane il merito di unire una rappresentazione geometrica del moto al tentativo di penetrarne le cause fisiche, completando così la descrizione matematica offerta da Beeckman²¹. Su queste basi si apre,

del 18 dicembre 1629 (in *Correspondance*, Ch. Adam, G. Milhaud (ed.), Alcan, Paris, 8 voll., 1936 [A. M.], t. 1 p. 98), poi nella terza legge del *Traité de la Lumière* in cui si afferma chiaramente che «ciascuna delle parti di un corpo tende sempre a continuare il proprio moto secondo una linea retta» e infine nella seconda parte dei *Principia* (art. 37). Una lettera ad Constantin Huygens del 18 febbraio 1643 enuncerà in modo unificato la legge: «ogni parte della materia persiste nello stesso stato fino a che l'urto delle altre non la costringa a mutarlo». Descartes a Huygens, 18 febbraio 1643, A. M., t. 5, p. 259. Sulla differenza fra Descartes e Beeckman rispetto alla nozione di moto circolare e moto rettilineo si veda A. Gabbey, *New Doctrines of motion*, cit., p. 663: «for Beeckman, for whom circular motion was as natural to bodies as rectilinear motion, there were two inertial principles: perpetual motion in a circle and perpetual motion in a straight line (in the absence of impediments in both cases). In his *De motu impresso a motore translato epistolae duae* (1642) Gassendi stated clearly, and for the first time in print, that a body moving in a vacuum will continue its motion perpetually with a constant speed and in a straight line, but it cannot be claimed that Galileo, Beeckman, or Gassendi understood the significance or meaning of the inertial principle as stated in differing forms and applied (in differing ways) by Descartes, Huygens, Leibniz, and Newton».

¹⁹ Nei *Principia*, due tipi di spiegazione entrano infatti in gioco: la natura della materia e la causa del movimento. II, 36-64 A. T., VIII. Su questi temi vedi, M. Gueroult, *Metaphysique et physique de la Force chez Descartes et Malebranche*, in *Études sur Descartes, Spinoza, Malebranche et Leibniz*, Hildesheim, 1970, pp. 85-121; H. Catoron, *L'idée de la force mécanique dans le système de Descartes*, in *Révue Philosophique*, 94, 1922, pp. 243-247, 483-511. Per le *Meditazioni*: M. Gueroult, *Descartes selon l'ordre de raisons, II*, Aubier, Paris, 1953, pp. 7-61.

²⁰ Si veda *Principia*, II, 37, 43, 55 A. T., VIII; A. Koyré *Studi galileiani*, cit., p. 331.

²¹ Un passo dei *Physico-Mathematica* riprende tuttavia l'approccio matematico di Beeckman. Si presti attenzione alla legge: in ogni istante una nuova forza aggiunta (creata) si conserva, producendo un incremento del moto nel tempo. Segue la rappresentazione di una piramide triangolare: «pyramis sopra basim triangularem» la cui altezza e sezione orizzontale sono funzioni rispettivamente del tempo e dei *punctii*, o quantità di moto minimo, sempre più estesi: «alter vero potest haec quaestio proponi difficilius, hoc pacto. Imaginetur lapis in puncto *a* manere, spatium inter *a* et *b* vacuum; iamque primum, verbi gratia, hodie hora nona Deus creet in *b* vim attractivam lapidis et singulis postea momentis novam et novam vim creet, quae aequalis sit illi quam primo momento creavit; quae iuncta cum vi ante creata fortius lapidem trahat et fortius iterum, quia in vacuo quod semel

nel 1619, lo studio del paradosso idrostatico, vera piattaforma dell'incontro fra matematica, fisica e geometria.

motum est semper movetur; tandemque lapis, qui erat in a , perveniat ad b hodie hora decima. Si petatur quanto tempore primam mediam partem spatii confecerit, nempe ag , et quanto reliquam: respondeo lapidem descendisse per lineam ag tempore $1/8$ horae; per spatium autem gb $7/8$ horae. Tunc enim debet fieri pyramis sopra basim triangularem, cuius altitudo sit ab quae quocunque pacto dividatur una cum tota pyramide per lineas transversas aequae distantes ab horizonte. Tanto celerius lapis inferiores partes lineae ab percurret, quanto majoribus insunt totium pyramidis sectionibus». *Physico-Mathematica*, A. T., X, pp. 77-78. Il tempo di caduta lungo la prima metà della distanza sta al tempo di caduta della seconda metà in proporzione inversa rispetto al movimento totale. Il confronto tra i volumi della metà superiore e inferiore della piramide, rispettivamente $1/8$ e $7/8$ del volume totale, fornisce il rapporto tra i tempi di caduta, dunque la distanza percorsa da ag e gb .

III) I primi principi della dinamica e la «propensio ad motum» dei corpi. I *Physico-Mathematica* e la nota sul paradosso idrostatico

La corrispondenza fra Descartes e Beeckman riguardante il problema dell'idrostatica costituisce un testo esemplare per comprendere l'elaborazione del primo modello cartesiano fisico-matematico¹. Presentando i risultati ottenuti durante il primo apprendistato scientifico di Descartes, il manoscritto sull'idrostatica espone anche modalità argomentative che si riveleranno centrali per la successiva scienza cartesiana della natura. Particolare importanza riveste la distinzione tra movimento e tendenza al movimento («propensio ad motum»), nozione cardine per la definizione della luce nel sistema meccanico del *Traité de la Lumière*.

Il manoscritto sull'idrostatica, contenuto nei *Physico-Mathematica*, data intorno alla fine del 1618 ed è verosimilmente antecedente alla partenza di Beeckman da Breda, quando Descartes sta lavorando ed espandendo i suoi interessi di filosofia naturale. Dalle *Cogitationes privatae*² sappiamo che lo spunto per la discussione sulla pressione dei liquidi nasce dalla lettura di Beeckman dell'opera di Stevin che, nel suo *De Beghinselen des Waterwichts* (1608), aveva compreso il rapporto fra la pressione esercitata da un fluido e la sua altezza: la forza che un liquido esercita sul fondo di un recipiente in

¹ G. Milhaud dedica tre pagine alla trattazione del problema idrostatico, lasciando a lato la questione dei modelli meccanicisti in esso implicati per concentrarsi sull'aspetto retorico (sillogistico) della soluzione finale fornita da Descartes: «le travail a l'aspect d'un traité complet présenté dans l'ordre qu'affectionnent les geometres: quelque principes sont posés d'abord comme postulats ou définitions, puis les propositions sont énoncées et démontrées, l'argumentation prenant sans cesse la forme syllogistique». *Descartes savant*, cit., p. 34. G. Rodis-Lewis non è di diverso avviso nell'indirizzare la sua attenzione sullo stile sillogistico della dimostrazione, debole difesa, peraltro, di una soluzione sbagliata, poiché centrata, come vedremo, sulla dimostrazione della pressione interna come causa del moto verso il basso: «la rigueur formelle de l'expose est remarquable: comme dans ses discussions avec ses professeurs, il conduit l'argumentation syllogistique à partir de définitions précises [...]». *L'Œuvre de Descartes*, cit., pp. 30-31.

² *Cogitationes privatae*, A. T., X, p. 228.

cui è contenuto è uguale a quella esercitata dal peso di una colonna di quel liquido avente per base l'area del fondo e per altezza l'altezza del liquido³.

La questione principale che Descartes intende risolvere è la chiarificazione del concetto di pressione, generalmente indicato come un modo dell'«avere peso». La *gravitas* dipende dalla quantità di materia e dalla velocità iniziale raggiunte del corpo: tenendo presente la divisione del moto in stati momentanei, influenzata, come ha dimostrato Milhaud, dall'interpretazione di Beeckman del meccanismo delle bilance in condizioni di equilibrio⁴, Descartes definisce l'«avere peso» (*gravitare*) come: «la forza da cui un corpo è spinto al primo istante di movimento, non la forza che spinge verso il basso per la durata dell'intero movimento, e che può essere molto differente»⁵. Nei *Physico-Mathematica* Descartes afferma chiaramente che «l'avere peso non si considera a partire dal movimento, ma a partire dall'inclinazione a scendere nell'ultimo istante prima del movimento, in cui non c'è ancora velocità in atto»⁶. Avere peso significa dunque per Descartes movimento virtuale, velocità nascente che precede l'effettivo attuarsi del movimento. Questa proprietà dipende dalla quantità di materia, ma anche dalla velocità iniziale che si immagina venga raggiunta all'inizio del moto⁷. Sulla base di queste definizioni,

³ L'argomentazione di Stevin procede dal livello macroscopico di grossi pesi e volumi dimostrati matematicamente in condizioni di equilibrio statico. Descartes cita direttamente Stevin nelle *Cogitationes*: «Petiit e Stevino Isaacus Middelburgensis quomodo aqua in fundo vasis *b* [...]». A. T., X, p. 228.

⁴ Si veda la lettura di G. Milhaud, *Descartes savant*, cit., p. 34: «Descartes donne assez nettement l'impression qu'il voit le problème de la comparaison des pesanteurs à travers celui de l'équilibre des machines. D'une part, en effet, c'est le premier déclenchement instantané qui lui importe, et, d'autre part il va d'emblée à la, considération du produit de la masse par la vitesse, se rangeant à la tradition aristotélicienne – tradition qu'il reniera plus tard quand il voudra donner la théorie définitive des machines, mais qui en somme se retrouvera toujours dans la notion fondamentale de sa Physique générale, je veux dire dans celle de la quantité de mouvement».

⁵ *Physico-Mathematica*, A. T., X, p. 68. Nelle parole delle *Cogitationes privatae*: «in ultimo instanti ante motum». A. T., X, p. 228.

⁶ *Physico-Mathematica*, A. T., X, p. 68.

⁷ *Physico-Mathematica*, A. T., X, p. 68: «si unus aquae atomus descensus sit duplo celerius quam duo alij atomi, ille solus aequae gravitabit atque duo alij».

Descartes procede nella dimostrazione del fenomeno della pressione. Peso e gravità sono ridotti alla forza meccanica esercitata da una particella nel suo *propendere* al moto in discesa.

La dimostrazione cartesiana è complessa: i quattro contenitori *A*, *B*, *C*, e *D* nella figura 3 hanno la stessa altezza, la stessa larghezza alla base, lo stesso peso se vuoti:

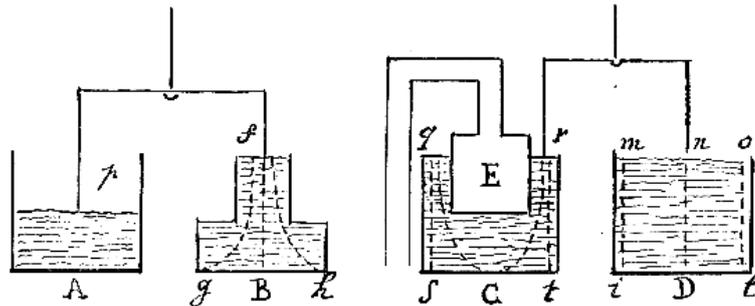


Figura 3

Il contenitore *B* viene riempito fino all'orlo e in *A* viene versata la stessa quantità di acqua così che, una volta sospesi ad una bilancia di braccia uguali, si equilibrano. Anche i vasi *C* e *D* sono riempiti per tutta la loro capacità. Descartes vuol dimostrare che la pressione esercitata in *B*, e *D* è la stessa. Individuati i punti *g*, *B*, *h* in *B* e *i*, *D*, *l* in *D*, rispettivamente sul fondo dei contenitori *B* e *D*, viene misurata la forza o tendenza a scendere verso questi punti da parte di alcune componenti verticali, linee d'acqua, *fg*, *fh*, *fB* nel vaso *B*, *nD* nel vaso *D*, «che si immaginano – afferma Descartes – della stessa lunghezza». Se osserviamo il grafico (fig. 3) è in realtà evidente che le linee *fg* e *fh* sono più lunghe di *fB* o *nD*. Nell'analisi di Descartes, gocce d'acqua di dimensioni e peso identiche cadono ad ogni modo con identica velocità («res graves aequali vi premunt omnia circumquaque corpora»)⁸. La velocità è quindi letta come una dimensione istantanea

⁸ *Physico-Mathematica*, A. T., X, p. 70-71: «probandum autem est solum punctum *f* aequali vi premere tria puncta *g*, *B*, *h*, atque tria distincta *m*, *n*, *o*, premunt alia tria *i*, *D*, *l*. Quod sit hoc syllogismo. Res graves aequali vi premunt omnia circumquaque corpora, quibus expulsis aequae facile inferiorem locum occuparent. Atqui solum punctum *f* aequae facile occuparet inferiorem locum, si posset expellere tria puncta *g*, *B*, *h*, atque tria puncta *m*, *n*, *o*, si expellerent alia tria

della forza, assimilazione, questa, resa attraverso «un'immaginabile inizio della velocità»⁹. L'esempio fornito da Descartes è quello della triplice forza che si origina dal punto f secondo le linee discendenti in g , B e h (fig. 3)¹⁰. Segue la distinzione fra movimento e tendenza al movimento dei corpi (*propensio ad motum*). Dato che l'acqua nel punto f ha a disposizione tre punti attraverso i quali scorrere (g , B , h), mentre l'acqua ai punti m , n , o , ne ha solo uno (i , D , l), segue che f ha una tendenza tripla (*ad triplicem celeritatem propendere*)¹¹. La *propensio ad motum* non va però intesa come la traduzione di alcune inclinazioni potenziali al moto in movimenti reali: la linea f si dirama piuttosto nelle attuali direzioni di caduta delle tre linee d'acqua. Pressoché tutti gli studi cartesiani successivi di fisica ottica implicheranno la distinzione fra tendenza istantanea e cambiamento reale, misurato in punti consecutivi di spazio.

Lo scritto sull'idrostatica rivela così alcuni degli approcci fondamentali di Descartes alla meccanica: nel 1619 Descartes

puncta i , D , l . Ergo solum punctum f aequali vi premit tria simul puncta g , B , h , atque tria puma distincta m , n , o , premunt alia tria i , D , l ».

⁹ *Physico-Mathematica*, A. T., X, pp. p. 68: «in illo motus principio imaginabili, notandum etiam initium imaginabile celeritatis, qua partes corporis gravitantis descendunt».

¹⁰ *Physico-Mathematica*, A. T., X, p. 71 : «imagentur omnia inferiora puncta g , B , h , i , D , l , eodem momento aperiri vi gravitationis corporum suprapositorum: certe eodem instanti concipiendum erit solum punctum f triplo celerius moveri quam unumquodque ex punctis m , n , o . Illi enim tria eodem momento loca erunt explenda, quo momento unum tantum cuilibet ex punctis m , n , o , erit occupandum. Ergo vis qua solum punctum f premit inferiora, aequalis est vi trium simul punctorum m, n, o . Una tamen obiectio proponi potest, meo iudicio non contemnenda, et cuius solutio superiora confirmabit. Quae tamen omnia corpora aequalis magnitudinis et gravitatis, si deorsum serantur, habent certum quemdam aequalem celeritatis modum, quem non excedunt, nisi ab aliqua vi extraneà impellantur. Ergo male assumitur, in superioribus, punctum f propendere ut triplo celerius moveatur quàm unum quodlibet ex punctis m , n , o , cum a nulla vi externa dici possit illud impelli».

¹¹ *Physico-Mathematica*, A. T., X, p. 71 : «ita tamen ad obiectionem respondeo. Antecedens est verissimum ; falso autem ex eo deducitur, punctum f non posse ad triplicem celeritatem propendere. Duo enim diversa sunt in ratione ponderum, et valde distinguenda, nempe propensionem ad motum et motum ipsum; in propensione enim ad motum, nulla habenda est ratio celeritatis, sed tantum in motu ipso. Corpora enim qui deorsum tendunt, non propendent ut hac vel illa. Celeritate ad inferiorem locum moveantur, sed ut quàm citissime potest eò perveniant. Unde sit ut punctum f possit habere triplicem propensionem, cum sint tria puncta per quae possit descendere; puncta autem m , n , o , unicam tantum, cum sint tantum una puncta per quae possint moveri».

apprende che generalizzazioni fisiche, espresse in termini corpuscolari, richiedono non solo un'interpretazione matematica, che le *Regulæ* tradurranno in una scienza generale delle proporzioni fra grandezze; la ricerca delle cause fisiche di un fenomeno è altrettanto rilevante ai fini della sua spiegazione. La combinazione di matematica e fisica nell'analisi della pressione culmina così nella scoperta di una duplice determinazione del movimento. Pur essendo implicata all'interno di un ancora ambiguo concetto di *vis*, come forza interna ai corpi, e resa figurativamente attraverso il tracciamento di linee geometriche arbitrarie, la distinzione fra movimento e tendenza al movimento estratta dallo studio del paradosso idrostatico si rivelerà fondamentale per le opere cartesiane della maturità. Come vedremo, nella *Dioptrique* Descartes affermerà che la propagazione istantanea della luce diventa intelligibile solo intendendola nei termini di una tendenza o inclinazione al moto.

II

Modello seriale e riduzione della complessità

I) Evidenza e *intuitus*

Il paradigma dei raggi del sole, la cui luce rimane invariata ed uniforme a dispetto della molteplicità degli oggetti che illumina, introduce nelle *Regulae* il lessico cartesiano della conoscenza intellettuale. E si potrebbe dire che, nella loro complessità e articolazione, le *Regulae* sciolgono la metafora, chiarendo le condizioni della visibilità chiara ed immediata di tutte le cose che si riferiscono alla *bona mens*¹.

Le prime sei regole offrono infatti:

- a) l'affermazione del primato dell'*humana sapientia* sulle cose, contro le tradizioni filosofiche del passato (*Regula II*);
- b) la riflessione sulle condizioni della conoscenza intellettuale (*Regula III*);
- c) l'idea di una *Mathesis Universalis* come scienza universale dell'ordine e della misura (*Regula IV*);
- d) una teoria dell'ordine come disposizione delle verità secondo l'analisi (*Regula V*);
- e) il modello della concatenazione seriale delle nature più semplici (*Regula VI*).

La seconda parte del testo introduce diversi esercizi metodici – in particolare la rappresentazione dei colori (*Regula XII*), la proporzione fra grandezze (*Regula XIV*) e gli studi di ottica (*Regula VIII*) – destinati a verificare la teoria dell'ordine e ad integrarla in un metodo

¹ «La lumière naturelle ou intuitus mentis». Descartes a Mersenne, 16 ottobre, 1639, A. T., II, p. 599.

induttivo che riduce ogni grandezza alla classe d'appartenenza concettuale corrispondente, rendendo così effettiva la serie, e permette di paragonare grandezze equivalenti per scoprire le proprietà non ancora note: nella *Regula VIII* l'azione della luce.

Sulla presenza chiara e distinta dell'idea alla mente Descartes fonda la certezza della scienza² che l'unità del pensiero salda nella catena delle evidenze: la ricerca della verità è tutta a disposizione della *bona mens*. L'unità della scienza, fondata sull'unità dell'*humana sapientia* (*Regula I*), e definita dall'unica esperienza vera e certa dell'evidenza (*Regula II*), si traduce nella figura di una *connexio scientiarum* alla quale conferisce stabilità e fondamento. Tutte le scienze dipendono infatti dal metodo come esercizio ordinato della *bona mens*, *semper una & eadem*, che le fa dipendere le une dalle altre, disponendole secondo gradi crescenti di complessità: essendo le scienze *cognitiones certas & evidentes*, esse rinviano le une alle altre secondo un ordine che trova fondamento nei due unici momenti passibili dell'evidenza: *per evidentem intuitum et necessariam deductionem*³. L'intuizione coglie immediatamente i principi primi con evidenza e certezza; la deduzione deriva da essi la serie delle conclusioni all'insegna di una certezza prolungata che riduce la *deductio* all'*intuitus* ed esclude le dedolezze della memoria⁴, avvalendosi dell'enumerazione sufficiente e ordinata come suo complemento ed ausilio⁵. *Intuitus* e *deductio* soddisfano così il criterio

² La *Regula II* fonda il modello della certezza: «circa illa tantum objecta oportet versari, ad quorum certam & indubitam cognitionem nostra ingenia videntur sufficere; De omnibus ergo quae sunt ejusmodi probabiles opiniones, non perfectam scientiam videmur posse acquirere». A. T., X, pp. 362-363; *Discours*, A. T., VI, p. 19.

³ *Regula XII*, A. T., X, p. 425.

⁴ *Regulae III*, A. T., X, p. 370. Importante, dunque, il ruolo della memoria nella *Mathesis Universalis*, poiché attraverso di essa ricordiamo le connessioni colte attraverso la deduzione («singulos proximis a primo ad ultimum adherentes», *Regulae III*, p. 370). La memoria è tuttavia labile, richiedendo il soccorso continuo dell'immaginazione (*Regulae VII*, p. 388). Essa andrà inoltre alleviata, designando in modo abbreviato i dati del problema, ovvero, come vedremo nella prossima sezione, sostituendo delle *brevissimas notas* alle *integrae figurae* dell'immaginazione (*Regulae XVI*, pp. 454-455).

⁵ *Regulae VII*, A. T., X, pp. 387-388.

dell'evidenza grazie alla messa in ordine delle nozioni (*in ordine disponere*, prescriverà la *Regula V*), di cui il metodo fornisce le regole: «la riduzione delle proposizioni più involute e oscure ad altre più semplici», che l'*intuitus* apprende nell'istantaneità del lume naturale, e la connessione delle conoscenze nella serie e nei legami – *serie & nexum* –, instaurati dall'ordine della deduzione.

L'*intuitus* esprime l'apprensione evidente delle verità più semplici da cui la catena delle conoscenze più complesse viene dedotta in modo necessario. La *Regula III* offre una caratterizzazione dell'*intuitus* per via negativa: «per intuito non intendo la mutevole attestazione dei sensi (*fluctuantem sensuum fidem*) né il giudizio fallace di un'immaginazione che non sa comporre (*vel male componentis imaginationis iudicium fallax*)»⁶. La definizione implica un insieme importante di condizioni epistemologiche. Perfettamente evidente e priva di ogni temporalità⁷, l'intuizione intellettuale non rinvia a dati sensibili e non attiene alla memoria o all'immaginazione: nessuna connivenza con l'intuizione sensibile della tradizione, come Descartes afferma, privilegiando l'etimologia del termine *intuitus*⁸. L'evidenza dell'intuizione intellettuale la preserva dalla mutevole attestazione dei sensi così come dalle lacune della memoria e dai giudizi fallaci dell'immaginazione che istituisce collegamenti indebiti. Benché la *Regula XII* offra le condizioni di un corretto uso scientifico dell'immaginazione come ausilio della matematica – per esempio ai

⁶ *Regulae III*, A. T., X, p. 368. Si veda anche *Discours*, A. T., III, VI, p. 33 : «les choses que nous concevons fort clairement & fort distinctement».

⁷ Contraendo il movimento successivo delle deduzioni, «mi sembra – dirà Descartes – di intuire il mio oggetto tutto insieme». [*rem tota simul videar intueri*]. *Regulae VIII*, A. T., X, p. 388. Vedi anche *Regulae VIII*, A. T., X, 394: «respectiva; atqui de rebus tantum purè simplicibus» e *Regulae XII*, A. T., X, p. 423: «ubi notandum est, intellectum a nullo unquam decipi posse, si praecise tantum intueatur rem sibi objectam».

⁸ *Regula III*, A. T., X, p. 369: «caeterum ne qui forte moveantur vocis intuitus novo usu, aliarumque, quas eodem modo in sequentibus cogar a vulgari significatione remove [...], sed me tantum advertere, quid singula verba Latine significant ut, quoties propria desunt, illa transferam ad meum sensum, quae mihi videntur aptissima».

fini di una messa in rapporto fra le grandezze⁹ – la concezione cartesiana della verità esclude il valore euristico di tale facoltà, non ammettendo una teoria dei gradi della conoscenza: non vi è stazione intermedia fra l'evidenza della visione intellettuale e le approssimazioni dell'immaginazione, fra la conoscenza razionale e la conoscenza empirica.

Nel *Discours*, il lessico dell'intuizione e della deduzione delle *Regulae* è sostituito da quello dell'idea *chiara e distinta*¹⁰. Ma la sostituzione è soltanto terminologica: chiarezza e distinzione sono i caratteri dell'indubitabilità, cioè dell'evidenza, associata da Descartes al campo semantico della vista¹¹. La mente giunge ad una conoscenza

⁹ «Nam cum intellectus moveri possit ab imaginatione, vel contra agere in illam; itero imaginatio possit agere in sensus per vim motricem illos applicando ad objecta, vel contra ipsi in illam, in qua scilicet corporum imagines depingunt». *Regulae XII*, A. T., X, p. 417. I rapporti estesi, espressi quantitativamente dalla geometria, sono naturalmente mediati dall'utilizzo dei simboli immaginativi. Come afferma Vuillemin, lo stesso concetto di immagine spaziale in matematica ha un ruolo essenzialmente intuitivo tanto che «il convien alors de reconnaître à l'image spatiale en mathématiques un rôle essentiellement symbolique et intuitif. Comme l'a montré l'étude della représentation riemannienne des fonctions d'une variable complexe, l'intuition répond moins à une image qu'à une loi de construction des images». J. Vuillemin, *La philosophie de l'algèbre*, Presses Universitaires de France, 1962, Paris, p. 478.

¹⁰ «Quid sit perceptio clara, quid distincta», nei termini del paragrafo 45 del Libro I dei *Principia Philosophiae* (A. T., VIII, p. 21-22)

Sulla definizione cartesiana della chiarezza e della si vedano gli studi di: A. Gewirth, *Clearness and Distinctness in Descartes*, «Philosophy», 18 (1943), pp. 17-36 (ripreso in J. Cottingham, *Descartes*, Oxford, 1998, pp. 79-100); H. Frankfurt, *Demons, Dreamers and Madmen. The Defense of Reason's Descartes's Meditations*, Indianapolis, 1970 (trad. fr. *Démons, rêveurs et fous. La défense de la raison dans les Méditations de Descartes*, Paris, 1989); J. Ashworth, *Descartes's Theory of Clear and Distinct Ideas*, in R. J. Butler, «Cartesian Studies», Oxford, 1972, pp. 89-105; P. Markie, *Clear and Distinct Perception and Metaphysical Certainty*, in «Mind», 88 (1979), pp. 97-104; D. Kambouchner, *Remarques sur la définition cartésienne de la clarté et de la distinction*, in «Les facultés de l'âme à l'âge classique», Publications de la Sorbonne, 2006.

¹¹ «Quicumque ita in tenebris ambulare assuescunt, adeò debilitant oculorum aciem, ut postea lucem apertam ferre non possint», *Regulae IV*, A. T., X, p. 371; «tenebra clariores habent quàm lucem», *Regulae IX*, A. T., X, p. 401; «saepe litterati tam ingeniosi esse solent, ut invenerint modum caecutiendi etiam in illis quae per se evidentia sunt», *Regulae XII*, A. T., X, 426; «non ex magnis & obscuris rebus, sed ex facilibus tantum & magis obvius, scientias quantumlibet occultas esse deducendas», *Regulae IX*, A. T., X, 402; «confidentiores quidem conjecturas suas tanquam veras demonstrationes asserere sibi permittunt, atque in rebus, quas prorsus ignorant, obscuras saepe veritates quasi per nebulam se videre praesagiunt», *Regulae XII*, A. T., X, p. 428; «Saepe litterati tam acutis utuntur

certa e indubitabile quando l'idea è presente nella sua evidenza «agli occhi della mente» (*oculi mentis*): chiara nei suoi elementi semplici senza ombre e netta nelle sue articolazioni di esclusione.

La visione dell'intelletto è del resto esplicitamente paragonata da Descartes a quella dell'occhio (*oculorum comparatione*)¹². Presenza alla mente dell'idea chiara e distinta, come nella visione degli occhi, ma anche come nel tatto che «penetra nell'intima verità delle cose»¹³. L'intuizione offre un contatto immediato della *mens pura* con l'oggetto della scienza: «*mente attingere*»¹⁴, «*toucher de la pensée*»¹⁵.

distinctionibus, ut lumen naturale dissipent, & tenebras inveniant etiam in illis quae à rusticis nunquam ignorantur», *Regulae XIV*, A. T., X, p. 442. La dialettica chiaro-distinto/confuso ricorre in tutte le declinazioni della visione: «que, si nous en avons assez souvent qui contiennent la fausseté, ce ne peut être que de celles, qui ont quelque chose de confus & obscur, a cause qu'en cela elles participent du neant, c'est-a-dire, qu'elles sont en nous ainsi confuses, qu'a cause que nous ne sommes pas tous parfait». *Discours*, IV, A. T., VI, p. 38. Ritroviamo la stessa distinzione nella *Dioptrique* fra immagini «fort confuses et imparfaites» ed altre «fort distinctes», *Dioptrique*, V, A. T., VI, p. 126. A sua volta, la *Géométrie* parla della necessità di «se démêler de la confusion de toutes ces figures», *Géométrie*, I, A. T., VI, p. 382. Nelle *Regulae* appare ugualmente la coppia concettuale «distinctissime/obscuris»: *Regulae IX*, A. T., X, p. 402; «occultum/distinctissimè», *Regulae X*, A. T., X, p. 404; «distinte exposuisse/id quod initio confuse», *Regulae XII*, A. T., X, p. 425; «distincte videt/confuso ingenio est», *Regulae IX*, A. T., X, p. 401.

¹² «Oportet ingenij aciem ad res minimas & maximè faciles totam convertere»; «distinctè & perspicuè intueri»; «et quidem, quomodo mentis intuitu sit utendum, vel exipsâ oculorum comparatione cognoscimus», *Regulae IX*, A. T., X, p. 400; «il est impossible de voir plus d'un seul objet a la fois distinctement», *Dioptrique*, VII, A. T., VI, p. 163. Laporte sottolinea il legame fra intuizione, evidenza e metafora oculare: «nous avons vu comment Descartes rapproche l'évidence ou clarté intuitive propre aux idées de la vision oculaire. Cfr. par exemple les *Principes* I, 45: «j'appelle *claire* celle (la connaissance) qui est présente et manifeste à un esprit attentif; de même que nous disons voir clairement les objets, alors qu'étant présents ils agissent assez fort, et que nos yeux sont disposés à les regarder». J. Laporte, *Le rationalisme de Descartes*, cit., p. 50.

¹³ *Regulae X*, A. T., X, p. 405: «ad intimam rerum veritatem semper penetrare».

¹⁴ Le *Regulae* offrono un ampio lessico della verità come *tocco*: *id ipsum quod intuemur, sive attingimus cogitando; mente attingimus* (*Regula XII*, A. T., X, p. 420); *ab intellectu attinguntur* (*Regula VIII*, A. T., X, p. 399). La *Regula XII*, A. T., X, p. 420, preciserà il lessico della vista e del toccare con la mente: «fieri enim potest ut illa quæ revera cognoscimus, putemus nos ignorare, nempe si in illis præter id ipsum quod intuemur, sive quod attingimus cogitando, aliquid aliud nobis occultum inesse suspicemur, atque hæc nostra cogitatio sit falsa».

¹⁵ Descartes a Mersenne, 27 maggio, 1630, A. T., I, p. 152: «comprendre, c'est embrasser de la pensée, mais pour savoir une chose, il suffit de la toucher de la pensée». Nella lettera a Silhon del marzo o aprile 1648 (A. T., V, p. 137), Descartes parlerà del *cogito* come esempio privilegiato di percezione chiara, che la mente vede, sente e tocca con il pensiero. Si veda anche Descartes a Hyperaspistes, agosto,

Metaforizzata dal lessico della visione e dello sguardo attento sull'oggetto «facile e semplice», l'esperienza dell'*intuitus* consegna all'evidenza tutte le operazioni intellettuali della mente, ma si configura anche come l'ultimo atto che certifica, nell'ordine della scoperta, il lavoro euristico dell'*ingenium* nella sua dinamica ordinata. In questo caso, l'*intuitus* è il termine ultimo della concatenazione deduttiva (*deductio*). Il rapido movimento del pensiero offre così all'intuizione delle componenti più semplici un ordine di relazioni; la *deductio* non è una facoltà né un criterio logico, ma il connettore indispensabile dell'inferenza, contrariamente a chi pensasse «di raggiungere con un solo salto la parte più alta di un edificio, o non tenendo conto dei gradini della scala destinati a questo uso, o non avendoli notati. Così – prosegue Descartes – fanno tutti quei Filosofi che, trascurando le esperienze, stimano che la verità scaturisca dal loro cervello, come Minerva da quello di Giove»¹⁶.

La lettera inviata a Mersenne il 16 ottobre 1639, in cui viene discusso il *De Veritate* di Herbert de Cherbury, conferma l'autosufficienza del lume naturale e l'irrilevanza di prove logiche rispetto alla natura «trascendentalmente chiara» della verità:

Et pour le general du livre [l'auteur] tient un chemin fort différent de celui que j'ai suivi. Il examine ce que c'est que la Vérité ; et pour moi, je n'en ai jamais douté, me semblant que c'est une notion si transcendentement claire, qu'il est impossible de l'ignorer : en effet, on a bien des moyens pour examiner une balance avant que de s'en servir, mais on n'en aurait point pour apprendre ce que c'est que la vérité, si on ne la connaissait de nature. Car quelle raison aurions nous de consentir à ce qui nous l'apprendrait, si nous ne savions qu'il fût vrai, c'est-à-dire, si nous ne connaissons la vérité ? [...] On ne peut donner aucune définition de logique qui aide à connaître sa nature. Et je crois le même de plusieurs autres choses, qui sont fort simples et se connaissent naturellement, comme sont la figure, la grandeur, le mouvement, le lieu,

1641, A. T., III, p. 430: «ut etiam in visu major perfectio est, cum singulas objecti particulas accuratè distinguit, quam cum omnes simul instar unius tantum advertit».

¹⁶ *Regulae V*, A. T., X, p. 380.

le temps etc. [...] L'auteur prend pour règle de ses vérité le consentement universel ; pour moi, je n'ai pour règle des miennes que la lumière naturelle¹⁷.

L'*intuitus* coglie i termini più semplici con evidenza assoluta; la *deductio* prolunga questa evidenza nella concatenazione ininterrotta e necessaria delle ragioni che raggiunge anche le conclusioni più distanti («non aliter quam alicujus catenae extremum»).

La *Regula III* aggiunge a questa coppia una teoria dell'ordine che la *Regula IV* formula nella sua complessità ponendo la necessità del metodo già nel suo titolo: *Necessaria est Methodus ad rerum veritatem investigandam*. Il criterio dell'ordine, essenza di questa disciplina («tota methodus consistit in ordine et dispositione») non è il frutto del caso né il risultato di una logica, ma redige a norma l'esercizio del semplice lume naturale¹⁸. Molto netta, la *Regula IV* afferma che «è di gran lunga preferibile non pensare mai a cercare la verità di qualcosa, piuttosto che farlo senza metodo»:

se il metodo spiega però rettamente in qual modo si deve usare l'intuito della mente per non cadere nell'errore contrario al vero e in qual modo si devono trovare le deduzioni per pervenire alla conoscenza di tutte le cose, allora mi sembra che non si richieda altro perché essa sia completa, in quanto, come già è

¹⁷ Descartes a Mersenne, 16 ottobre, 1639, A. T., II, pp. 596-597. Nelle parole di H. H. Joachim, il «segreto del metodo» non è altro che questo insieme di dipendenze e implicazioni elementari: «conceivability means for us *systematic coherence*, and is the determining characteristic of a significant whole [...]. Any element of a whole shares in this characteristic to a greater or less degree i.e. is more or less "conceivable" in proportion as the whole, with its determinate inner articulation, shines more or less clearly through that element; or in proportion as the element, in manifesting itself, manifests also with more or less clearness and fullness the remaining elements in their reciprocal adjustment [...]. Thus, the ideal of knowledge for Descartes is a coherent system of truths, where each truth is apprehended in its logical position [...]. Knowledge of the whole and knowledge of the parts involve one other [...]. Nor is the passage from immature to full knowledge the addition of perfect knowledge, bit to bit. The passage is not an increase by aggregation, but a growth by expansion from within». *The nature of the truth*, Greenwood Press, New York, 1969, pp. 67-68, 72, 102.

¹⁸ *Regulae IV*, A. T., X, p. 373.

stato detto, non può esservi alcuna scienza se non per intuito della mente o per deduzione¹⁹.

Posta a completamento della scienza (*ad scientiae complementum*), l'*enumeratio sive inductio* ridurrà infine il particolare nelle classi concettuali instaurate dall'ordine.

Nella *Regula III*, la discesa dall'evidenza delle verità intuitive²⁰ alla necessità della loro concatenazione è espressa dall'immagine della *catena*²¹. La *Regula VI* pone una connessione intermedia fra le conclusioni²² che l'abilità naturale della mente – l'*habitus* della mente –, passa in rassegna contraendole come in una visione prolungata, in modo da mostrare «i termini della difficoltà così nudi e puri che, anche senza omettere nulla di utile, non vi si troverà mai nulla di superfluo e che occupi invano la capacità dell'ingegno, quando la mente dovrà abbracciare molte cose in una volta»²³.

Intuitus et deductio: «hae duae viae sunt ad scientiam certissime», conclude Descartes nella *Regula III*, enunciando così sia le condizioni dell'esperienza certa – *clare & evidenter* – sia le operazioni intellettuali che la realizzano: l'*intuitus*, che coglie i principi primi o nature semplici (*per intuitum tantum*); la *deductio*, che collega tutte le conclusioni che discendono dal principio²⁴. Presenza

¹⁹ *Regulae IV*, A. T., X, pp. 371-372.

²⁰ *Regulae III, VII*, A. T., X, pp. 387; 370

²¹ «Aliquis longa catena», *Regula III*, A. T., X, p. 369. Robinet stabilisce un interessante parallelismo fra i termini *vinculus* e *catena* nelle *Regulae* come coppia concettuale antitetica alla logica formale: «les *vincula* sont propres aux syllogismes (389.13), en eux se concentrent les *formar disserendi* en tant qu'intervenant *vi formae* (406.3). Rien ne saurait inciter a traduire *vinculum* par *chaîne*, car c'est renvoyer a *catena* dont l'usage a un sens tres positif en methode serielle. c) L'espace n'est pas pour autant totalement barré du côté des syllogismes, d'abord parce que rien n'est dit des syllogismes nécessaires, ensuite parce que ces *vincula* gardent un usage admissible et peuvent être *tout-à-fait propres a d'autres usages* (365.9)». A. Robinet, *Aux sources de l'esprit cartésien. L'axe la Ramée-Descartes de la dialectique de 1555 aux Regule*, Vrin, Paris, 1996, pp. 191-192.

²² «Concatenatio intermediarium conclusionum». A. T., 388, p. 13

²³ *Regulae XVI*, A. T., X, p. 455.

²⁴ «& contra remota conclusiones non nisi per deductionem». *Regulae III*, A. T., X, 369-370.

evidente e contatto immediato della verità qualificano non solo gli oggetti più semplici, ma anche la loro successione ordinata nella deduzione, quasi un'intuizione prolungata²⁵. La relazione fra intuizione e deduzione²⁶ si prolunga sul versante semantico dell'*attentio* che sa coltivare le virtù intellettuali della «perspicacias & sagacitas»²⁷: la prima vede con chiarezza i dati dell'intuizione; la seconda li seleziona e li dispone in connessioni ordinate. Se la *Regula II* equipara la certezza dell'intuizione intellettuale ad una visione intellettuale pura, le *Regulae III, V, VI, VII, XII* estendono tale evidenza alla composizione ordinate delle conoscenze più complesse²⁸. Istantaneità e successione sono tenute insieme da un solo sguardo prolungato d'evidenza che percorre tutti i termini della serie. L'ininterrotta catena d'inferenze è istituita dall'intuizione dei principi e dalla deduzione necessaria e ordinata delle conoscenze connesse, ma essa è consentita e garantita dalla classificazione e dalla enumerazione di tutti gli elementi²⁹. *Ad complementum scientiæ*, scrive Descartes.

Descartes propone dunque un metodo *ingenitus* alla mente che si avvale del criterio dell'evidenza, garantendone le condizioni in una *Mathesis* dell'*ordo* e della *dispositio* di tutto il sapere. Un metodo che è insieme il cammino da seguire per giungere alla conoscenza completa di tutte le cose di cui lo spirito umano è capace – «omnia cogitationis motu percorrere & quamplurima simul intueri»³⁰ –, e lo strumento per incrementare le scienze *longe solidius & clarius*,

²⁵ «Per continuum & nullibi interruptum cogitationis motum singula perspicue intuentis». *Regulae III*, A. T., X, p. 369.

²⁶ «Simplex illatio», *Regulae XII*, A. T., X, p. 429.

²⁷ *Regulae IX*, A. T., X, p. 400.

²⁸ «Dicimus nihil nos unquam intelligere praeter istas naturas simplices, & quamdam illa inter se mixturam sive compositionem» *Regulae XII*, A. T., X, p. 423.

²⁹ «Ut plurimum, ad certas classes reducentur, ex quibus vel unicam exactè videre sufficiet, vel ex singulis aliquid, vel quasdam potius quàm caeteras, vel saltem nihil unquam bis frustra percurremus; quod adeò juvat, ut saepe multa propter ordinem benè institutum brevi tempore & facili negotio peragantur, quae primâ fronte videbantur immensa». *Regulae VII*, A.T., t. 10, 391. L'enumerazione è, in questo senso, il *termine medio* tra la funzione prima del ragionamento – l'intuizione – e la sua applicazione a problemi concreti.

³⁰ *Regulae XVI*, A. T., X, p. 455.

attraverso una teoria della chiarezza e distinzione che diverrà, nelle *Regulæ VI, VII, VIII, XII e XIV*, scienza generale dell'ordine e della comparazione di tutte le grandezze.

II) Dalle matematiche alla *Mathesis Universalis*

Il modello è quello delle matematiche. La matematica è infatti l'unica disciplina capace di affinare ed educare la ragione grazie alla semplicità del suo oggetto e all'evidenza delle sue dimostrazioni. L'identificazione della saggezza (*bona mens*) con le scienze – «*scientiae omnes nihil aliud sunt quam humana sapientia*» – rinvia ad una *connexio scientiarum* che riprende dal modello matematico l'evidenza delle proprie catene dimostrative. Nelle *Regulae* essa diviene la base di un progetto più ampio di riforma del sapere, incentrato sull'evidenza dei rapporti e delle proporzioni contenute in ogni singola scienza.

L'idea della *Mathesis Universalis* è essenziale nelle *Regulae*. Fondata su pochi precetti di facile applicazione, ma suscettibile di essere estesa a tutte le conoscenze, la *Mathesis* cartesiana è costituita da nozioni pure, colte intuitivamente («*naturae simplices*»). Si tratta di una *Mathesis Universalis*¹, secondo l'espressione di Descartes, che recupera un nome antico² per definire la nuova scienza dell'ordine e della misura («*circa ordinem et mensuram*»)³. La *Mathesis* di

¹ *Regula IV*, A. T., X, p. 378.

² La collocazione precisa delle possibili fonti cartesiane del concetto di *Mathesis* complessa: nella *Regula IV* Descartes non fa alcun riferimento esplicito, a parte l'evocazione dei nomi di Pappo e Diofanto, al lungo dibattito apertosi nel XVII secolo sulla nozione di *Mathesis*. Una nozione che ha origini antiche, di cui Aristotele aveva stabilito la consistenza in nozioni comuni e assiomi, derivati essenzialmente dalla geometria, ma applicabili ad ogni sorta di quantità, in analogia alla teoria delle proporzioni di Euclide. Cfr. Proclo, *Commento al I Libro degli Elementi di Euclide, Prologo, Parte I*, Cap. 3, trad. it. di M. Timpanaro Cardini, Giardini Editori e Stampatori, Pisa, 1989, p. 30. Nella tradizione neoplatonica, Proclo, nel Libro I del suo *Commento al primo libro degli Elementi di Euclide*, tratta infatti di una «matematica generale» che precede l'aritmetica e la geometria, declinandosi nei campi dell'astronomia, della meccanica e dell'ottica: Proclo, *Commento*, cit., *Prologo, Parte I*, Cap. 7, p. 39.

³ *Regula IV*, A. T., X, p. 378. Tale sintagma presenta alcune varianti: *ordo vel mensura* (*ibid.*); *iidem explicant, modo ordinem, modo mensuram* (*Regula XVI*, p. 457); *nempe ad ordinem, vel ad mensuram* (*Regula XIV*, p. 451). Laddove le *Regulae V-VII* sono consacrate ad una teoria dell'ordine, l'esame della misura è introdotto dalla *Regula XIV*. Si vedano gli studi di: J.-M. Beyssade, *Descartes au fil de l'ordre*, cit., p. 315 segg.; J.-L. Marion (ed.), *R. Descartes, Règles utiles et*

Descartes non è legata a nessun contenuto particolare, bensì ai «rapports ou proportions»⁴ dettati dall'ordine e dalla misura, che risiedono naturalmente nell'intelletto umano – «in solo intellectu», afferma la *Regula VIII*⁵ – e che riportano a criteri chiari ed evidenti ogni conoscenza, disponendone i termini in ragione della loro «complessità relativa», ovvero a partire dall'ordine che conosce le cose più semplici, risalendo per gradi fino alle più complesse, e derivando la possibilità di quest'ultime dalla necessità delle prime. Tale metodo non si confonde più con la molteplicità delle discipline matematiche, sviluppate dai contemporanei⁶ di Descartes: essi ne avevano estratto i contenuti dalle vestigia dell'algebra antica⁷, complicandoli in un *corpus* di dimostrazioni, figure e numeri che

claires pour la direction de l'esprit en la recherche de la verité, ed. par J. L. Marion, avec des notes mathématiques de P. Costabel, Martinus Nijhoff, The Hague, Netherlands, 1977, cit., p. 160. M. Spallanzani, *Descartes et les figures de la Verité*, in *Poétique de la Pensée, Études sur l'âge classique et le siècle philosophique. En hommage à J. Dagen*, B. Guion, M. S. Seguin, S. Menant, P. Sellier, (ed.), Champion, Paris, 2006, p. 907.

⁴ Descartes, *Discours de la Méthode*, A. T., VI, p. 20.

⁵ *Regulae VIII*, A. T., X, p. 396.

⁶ Nella generazione immediatamente precedente a Descartes, Adriano Romano aveva avanzato una concezione della matematica universale. Ciò ha indotto alcuni interpreti ad individuare Adriano Romano la possibile fonte per la genesi del concetto di *Mathesis* in Descartes si veda Jaques Brunshwig, nota 3 alla traduzione di Alquié, *Descartes, Œuvres*, I, F. Alquié (ed.), Garnier, Paris, 1963, p. 98. Adriano Romano sviluppa infatti in dettaglio l'idea di *Mathesis Universalis* nella seconda parte del suo *Apologia pro Archimede* (1597). Cfr. G. Crapulli, *Mathesis universalis, genesi di un'idea nel XVI secolo*, Edizioni dell'Ateneo, Roma, 1969.

⁷ Descartes entra verosimilmente in contatto con i testi della tradizione attraverso la mediazione di padre François, insegnante a La Flèche, formatosi nel Collegio Romano dove i *Commentari* di Proclo erano sicuramente noti. È Sirven a rilevare la presenza di tale concezione nell'*Arithmétique* di padre François, professore di Descartes a La Flèche: *Les années d'apprentissage de Descartes*, cit., p. 234. Sulla formazione matematica cartesiana si veda anche G. Rodis Lewis, *Descartes et les mathématiques au collège*, in *Le Discours et sa méthode*, Paris, 1987, pp. 187-211. I lavori dei vari geometri e algebristi antichi, da Euclide ad Apollonio sino a Proclo erano raccolti nella *Collezione* di Pappo redatta nel terzo secolo dopo Cristo: «En 1588 a paru la traduction par Commandin de la collection Pappus, qui, sous une forme un peu désordonné faisait connaître une foule de problèmes traités par les Anciens: trisection de l'angle, construction de deux moyennes proportionnelles etc.». G. Milhaud, *Descartes savant*, cit., p. 45. Compito dello scienziato è precisamente liberare le fonti antiche dallo strato di errori e confusioni del tempo per riportarle alla purezza dell'ordine e della misura. Si veda anche M. Spallanzani, *Descartes et les figures de la Verité*, cit., pp. 908-909.

appare, agli occhi di Descartes, confuso nelle sue procedure, inesplicabile nel suo linguaggio, superfluo ai fini dell'accrescimento del lume naturale. Nella *Regula IV*, l'interdipendenza di tutte le operazioni matematiche sancisce l'unità di tutto il sapere: geometrico, algebrico, fisico, al di là delle speculazioni della tradizione⁸. Le ultime *Regulæ* forniscono infine una cornice algebrica all'analisi che risponde alle esigenze di un programma filosofico più ampio, basato sulla connessione di tutte le discipline.

La *Mathesis* delle *Regulæ* è inoltre diversa dalla scienza generale delle quantità che il giovane Descartes aveva intuito nel 1619 come *scientia penitus nova* e connesso alle procedure geometriche e alle esperienze fisico-matematiche compiute con Beeckman⁹. Le prime note di scienza di Descartes, risalenti al 1619 e contenute nelle *Cogitationes Privatae* e negli opuscoli che portano il nome di *Physico-Mathematica*¹⁰, denotano in effetti l'interesse verso l'esercizio della matematica come una propedeutica alla ricerca della verità e un metodo privilegiato della scoperta scientifica: la biografia ritrova qui gli interessi di scienza. Nella carriera del giovane filosofo si annuncia

⁸ Mentre l'uniformità della certezza matematica non risponde mai in Descartes a principi metafisici o a regole formali del ragionamento (cfr. J.-L. Marion, *Sur l'Ontologie grise de Descartes*, Vrin, Paris, 1975, p. 35), la *Metafisica* aristotelica si concentra infatti nel dimostrare la possibile coordinazione fra metafisica e scienza come parti dell'inchiesta «sull'essere in quanto tale». *Met.*, I, 1005a, cit., p. 270. Analogamente, in Proclo la matematica è al servizio dei domini più alti della filosofia e teologia: «dunque è da supporre che l'anima è generatrice delle specie e dei rapporti matematici [...]. E dicono che l'universale è migliore del particolare per la dimostrazione». Proclo, *Commento, Prologo, Parte I*, Cap. 6, cit., p. 34-35.

⁹ L'attenzione a sciogliere la filosofia naturale dai vincoli tradizionali di tipo qualitativo a vantaggio di criteri strettamente quantitativi sarà confermata dalla fisica degli anni trenta e quaranta. Esemplare, da questo punto di vista la lettera di Descartes a Mersenne (11 marzo, 1640, A. T., III, p. 36): «il n'y a point de quantité qui ne soit divisible en une infinité de parties: et la force, le mouvement, la percussion etc. sont des espèces de quantité». Descartes a Mersenne, 11 marzo, 1640, A. T., III, p. 36.

¹⁰ Si tratta di scritti del giovane Descartes, composti fra il 1618 e il 1620. Nei capitoli precedenti, essi sono stati messi in relazione alle esperienze di fisica e matematica sul moto dei corpi e sulle leggi della pressione. Per la collocazione storica di questi testi rispetto alla biografia di Descartes si veda A. Baillet, *La Vie de Monsieur Descartes*, cit., I, p. 51. Fra le biografie più recenti ricordiamo G. Rodis Lewis, *L'Œuvre de Descartes*, cit., pp. 28-31.

infatti un'attitudine metodica che privilegia l'istanza dell'ordine nelle ricerche e trasgredisce le discipline tradizionali in nome d'un progetto di unificazione dei domini matematici e fisici: «une science toute nouvelle», come Descartes la definisce nella lettera a Beeckman del 26 marzo 1619¹¹. Il problema della caduta dei gravi, le note sul paradosso idrostatico di Stevin, la ricerca dei medi proporzionali: tutti questi studi sono affrontati da Descartes a partire dai «fondamenti della meccanica»¹² di Beeckman che ispirano la nuova fisica matematica; l'alleanza tra geometria ed algebra offre già da ora elementi per la costruzione geometrica delle soluzioni di equazioni cubiche tramite linee rette, curve o immaginarie che Descartes esporrà compiutamente nella *Géométrie*, ma che introduce già nel 1619, utilizzando i nuovi compassi di sua stessa invenzione. L'integrazione fra operazioni aritmetiche e operazioni geometriche consente infatti di liberare l'algebra dal sovraccarico dei simboli tradizionali e di riformare la geometria euclidea attraverso la conversione delle figure in linee e la traduzione delle linee in caratteri algebrici. Da questa semplificazione si delinea una nuova scienza delle proporzioni che le *Regulae* eleveranno ad un metodo generale della conoscenza, riflesso nell'unità di tutto il sapere.

L'idea di applicare una scienza universale della proporzione «in quolibet genere quantitatis» è dunque presente fin dalle prime riflessioni scientifiche cartesiane. Le *Cogitationes* del 1619, opera scritta in gioventù¹³, testimoniano del cammino di «verità e di invenzione»¹⁴ del giovane Descartes che, ricorda lui stesso, amava reiventare «le ingegnose invenzioni» di altri, utilizzando «regole certe»¹⁵.

¹¹ Descartes a Beeckman, 26 marzo, 1619, A. T., I, p. 156.

¹² *Physico-Mathematica*, A. T., X, p. 67.

¹³ A. Baillet, *La Vie de Monsieur Descartes*, I cit., p. 51.

¹⁴ *Cogitationes Privatae*, A. T., X, p. 214

¹⁵ *Ibid.* Questo precetto sarà ribadito in una lettera a Beeckman, là dove Descartes, per difendere l'originalità del proprio lavoro negli studi di algebra e di musica contro le pretese di paternità accampate dall'amico olandese, teorizza compiutamente la natura autoreferenziale della scienza e la certezza delle sue dimostrazioni. La certezza della dimostrazione non teme, nelle parole di Descartes, né *emuli*, né *ladri*: Descartes a Beeckman, 17 ottobre, 1630, pp. 159-160.

Fra le innovazioni più importanti su cui si sofferma l'attenzione del giovane Descartes vi sono varie *Considérations Mathématiques*¹⁶ quali la sezione dell'angolo in un numero qualunque di parti e la costruzione geometrica delle soluzioni di equazioni cubiche attraverso linee rette, curve o «immaginarie» che Descartes, ricorrendo alla notazione cossica ripresa da Clavius, ottiene utilizzando nuovi compassi¹⁷ di sua invenzione e proponendo una sorta di nuova classificazione delle curve stesse¹⁸: tutti esercizi volti ad unificare i due domini distinti dell'algebra e della geometria, traslando la chiarezza della raffigurazione geometrica alla precisione dell'algebra e sostanziando di un contenuto rappresentativo il formalismo algebrico.

Come si evince dalle *Cogitationes* del '19, l'elaborazione del compasso è ispirata in particolare dalla ricerca dei medi proporzionali, e nasce a margine della discussione sulle modalità per stabilire toni uguali in musica. Nel *Compendium Musicae*, opera giovanile che sarà al centro del dibattito fra Descartes, Mersenne e Beeckman¹⁹, Descartes affronta il problema della legge sulla consonanza musicale e cita il nome del musicologo italiano Gioseffo Zarlino (1517-1590), le cui *Istituzioni armoniche* e *Dimostrazioni armoniche* riscuotevano, fra gli esperti dell'epoca, notevoli consensi²⁰.

¹⁶ A. Baillet, *La Vie de Monsieur Descartes*, I cit., p. 51.

¹⁷ Descartes a Beeckman, Breda, 23 aprile 1619, cit., p. 163.

¹⁸ Per la classificazione delle curve si veda W. Shea, *The Magic of Numbers and Motion. The Scientific Career of René Descartes*, cit., pp. 58-67.

¹⁹ Sulle ricerche cartesiane in musica e sul loro rapporto con la scienza del tempo si veda H. F. Cohen, *Quantifying Music. The Science of Music at the First Stage of the Scientific Revolution*, Reidel, Dordrecht, 1984, in particolare pp. 78-85.

²⁰ *Cogitationes privatae*, A. T., X, pp. 238-39. Il problema della consonanza in musica era stato risolto da Zarlino tramite l'utilizzo di uno strumento inventato da Erastotene nel III secolo a. C., noto come mesolabio. Il mesolabio viene descritto *Istituzioni harmoniche*, Venezia 1558 (2°ed. 1562, 3° ed. 1573), pp. 113-14, e nelle *Dimostrazioni harmoniche*, Venezia 1571, pp. 163-68. Descartes era certamente al corrente dei lavori di Zarlino poiché nel *Compendium musicae* scrive: «Quod fiet optime per quondam tonorum ordines, semper in perfectissimam consonantiam definentes, quos practici cadentis vocant. Harum autem cadentiarum omnes species fufe Zarlino enumerat; idem etiam habet tabulas generales, in quibus explicat, quae consonantiae post quamlibet aliam in tota cantilena possint poni». A. T., X, pp. 133-134. Partendo dall'assunto secondo cui un'ottava è caratterizzata dal rapporto $\frac{1}{2}$ ed è composta di dodici semitoni, si potrà trovare ogni singolo intervallo considerando undici medi proporzionali tra i valori

Ma l'applicazione più importante del compasso consiste nella soluzione del problema della trisezione dell'angolo, esposta nella lettera a Beeckman del 26 marzo 1619 e nelle *Cogitationes privatae*²¹, che Descartes attua avvalendosi della raffigurazione di aste mobili incernierate tra loro, suscettibili di rotazione (fig. 1):

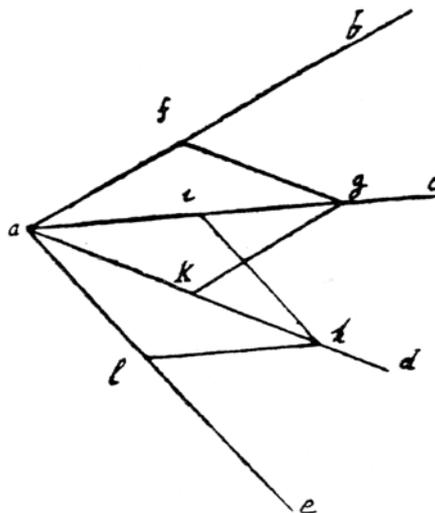


Figura 1²²

1 e 2 o tra 1 e $\frac{1}{2}$ (Per la dimostrazione del problema e il confronto del mesolabio di Erastotene e il compasso cartesiano si veda la ricostruzione di W. Shea, *La Magia dei Numeri e il Moto*, cit., pp. 82-105)

²¹ Le *Cogitationes privatae* mostrano infatti un numero interessante di utilizzi del compasso per trovare sezioni coniche, cilindriche o per altre applicazioni. Si vedano le ricostruzioni di: G. Milhaud, *Descartes savant*, cit., pp. 37-46; J. Sirven, *Les annés d'apprentissage de Descartes*, cit., pp. 46-106; P. Costabel, *Démarches originales de Descartes savant*, Vrin, Paris, 1982, pp. 49-52; É. Barbin, *Descartes et les mathématiques*, in É. Barbin, M. Caveing, *Les Philosophes et les mathématiques*, Ellipses, Paris, 1996, pp. 43-65; S. Gaukroger, *Descartes. An intellectual biography*, cit., pp. 89-134.

²² *Cogitationes privatae* A. T., X, pp. 240-241. Per la ricostruzione dei passaggi dimostrativi si veda G. Milhaud, *Descartes savant*, cit., pp. 39-40: «un angle est aisément divisé en trois parties égales par un compas à quatre branches construit de telle manière que les trois angles formés par elles restent toujours égaux, quelle que soit l'ouverture qu'on donne aux branches extrêmes. Il suffit pour cela que les quatre longueurs a b, a e, a d, a g, étant égales et les tiges b c, c d, e f, f g, pouvant tourner autour des points b, d, e, g, et se coupant deux à deux sur les branches internes du compas, soient aussi égales aux premières longueurs». La consapevolezza che la rappresentazione delle radici di un'equazione cubica o biquadratica sia equivalente alla trisezione dell'angolo e alla duplicazione del cubo indica il comun denominatore delle due ricerche. Il merito della scoperta va a Viète che ne aveva consegnato i risultati nel suo *Supplementum geometricae*

L'uso del compasso per ottenere medi proporzionali, applicato successivamente nella *Géométrie* alla rappresentazione algebrica delle curve²³, traduce l'ordine come messa in ordine e apre a quella visione operativa che, emersa da un particolare ambito di ricerca, diventa metodo generale di ricerca in campi molto più vasti²⁴. Lo affermerà esplicitamente Descartes nella lettera a Mersenne del 1636²⁵, presentando la *Géométrie* come «une partie de ma Methode»: «je tâche à donner une façon générale pour résoudre tous les Problèmes». Ogni curva può essere rappresentata attraverso equazioni algebriche:

(1593). Cfr. C. B. Boyer, *History of Analytic Geometry*, Princeton, New York, 1988, p. 64.

²³ Il libro terzo della *Géométrie* opera compiutamente la traduzione delle figure in linee e delle linee in caratteri algebrici al fine di scoprire e risolvere le equazioni di terzo grado: *Géométrie*, III, A. T., VI, p. 443. C. B. Boyer definisce la geometria analitica di Descartes un'applicazione dell'algebra alla geometria, di cui la teoria delle curve è l'esempio particolare: *History of Analytic Geometry*, cit., pp. 216-217. P. Costabel, a commento di un passo della *Regula VI*, ricostruisce la riforma cartesiana dell'algebra e della geometria, collegandola direttamente alla pratica seriale delle *Regulæ*: «Dans sa célèbre lettre à Beeckman du 26 mars 1619, où il trace le plan de son ambitieuse entreprise mathématique, il fait état de sa découverte de la solution des équations du 3ème degré et de l'usage de nouveaux compas. Or ces compas, décrits dans la *Géométrie* au *Livre II* (A. T. VI 391), réalisent la composition d'autant de proportions égales que l'on veut et apparaissent comme l'instrument apte à résoudre les problèmes, direct et inverse, posés dans la *Règle VI* [...]. Le fait le plus précis est fourni par Beeckman dans les pages de son *Journal* datées du 1er février 1629 (voir A. T., X, pp. 341-342). A cette date Beeckman recopie mot à mot comme venant de Paris, une démonstration de la construction de deux moyennes proportionnelles au moyen d'une parabole et d'un cercle, et il rapporte explicitement à Descartes l'invention de la construction». P. Costabel, *Reglès*, cit., p. 310. La distinzione cartesiana fra curve «geometriche» e curve «meccaniche» serve inoltre a dedurre una seconda distinzione fra spirale e quadratrice che verrà applicata da Descartes alla risoluzione dei problemi di moto, forze e intensità. A questo proposito si veda J. Vuillemin, *Mathématiques et métaphysique chez Descartes*, Vrin, Paris 1960, pp. 79-98; 35-55. Sulla liberalizzazione delle procedure matematiche nel secolo diciassettesimo e la classificazione cartesiana, vedi H. J. M. Bos, *Arguments on motivation in the rise and decline of a mathematical Theory: the «Construction of equations», 1637 – ca. 1750*, in *Archive for History of the Exact Sciences*, XXX, (1984), pp. 331-380.

²⁴ Nelle parole di D. Lachterman, *The Ethics of Geometry*, Routledge, New York / London, 1989, p. 193: «the outward motions by which admissible curves can be traced or conceived are so many allegories or metaphors of inward cognitive movements performed with the same or even greater attention to exactness and orderliness of execution».

²⁵ Descartes a Mersenne, marzo, 1636, A. T. I, pp. 339-340.

«mi pare molto chiaro – afferma Descartes – che, assumendo, come si è soliti fare, per Geometrico ciò che è preciso ed esatto, e per Meccanico quel che non lo è, non debbano esserne escluse le linee più composte a preferenza delle più semplici, purché sia possibile immaginarle descritte da un movimento continuo»²⁶. La soluzione di problemi geometrici per mezzo della rotazione di figure mostra il carattere *costruttivistico* del metodo che lega i passaggi della dimostrazione secondo un ordine pensato a partire dalle istanze del problema stesso: *ex arbitrio*, nei termini delle *Regulæ*, in cui il legame – *nexus* – e la concatenazione – *contextus* – delle evidenze offrono le figure dell'ordine e della disposizione degli oggetti del pensiero costituiti dalle operazioni naturali della *bona mens*.

Oltre che lo statuto, Descartes riforma così anche il linguaggio della geometria: «non c'è bisogno di tracciare in questo modo linee sulla carta; basta designarle con certe lettere, ogni linea con una sua lettera». Questo nuovo uso della simbologia matematica, di cui Descartes appare pienamente consapevole fin dal 1619²⁷, quando scriveva a Beeckman di una «scientiam penitus novam» capace di risolvere tutti i problemi «in quolibet genere quantitatis, tam continui quam discreti», è esposto compiutamente per la prima volta nella *Regula XVIII*, in cui il giovane filosofo attende ad una semplificazione e ad una formalizzazione del linguaggio matematico, che, sostituendo

²⁶ *Géométrie*, II, A. T., VI, p. 390.

²⁷ Descartes a Beeckman, 26 marzo, 1619, A. T., X, p. 157: «et certe, ut tibi nude aperiam quid moliar, non Lullii Artem brevem, sed scientiam penitus novam i tradere cupio, qua generaliter solvi possint quaestiones omnes, quae in quolibet genere quantitatis, tam continui quam discreti, possunt proponi. Sed unaquaeque juxta suam naturam: ut enim in arithmetica quaedam quaestiones numeris rationalibus absolvuntur, alii tantum numeris surdis, aliae denique imaginari quidem possunt, sed non solvi: ita me demonstraturum spero, in quantitate continua, quaedam problemata absolvi posse cum solis lineis rectis vel circularibus; alia solvi non posse, nisi cum aliis lineis curvis, sed qui ex unico motu oriuntur, ideoque per novos circinos duci possunt, quos non minus certos existimo et Geometricos, quam communis quo ducuntur circuli; alfa denique solei non posse, nisi per lineas curvas ex diversis motibus cibi invicem non subordinatis generatas, qui certe imaginariae tantum sunt: talis est linea quadratrix, satis vulgata».

le lettere alle figure, ne facilita la memoria e ne intensifica la comprensione²⁸:

Quelle cose poi che non richiedono un'attenzione presente della mente, anche se necessarie alla conclusione, è preferibile che vengano designate per mezzo di cifre molto brevi piuttosto che per mezzo di figure intere: così infatti la memoria non potrà ingannarsi, né tuttavia il pensiero intanto si distrarrà a trattenerle, mentre si applica a dedurne altre²⁹.

L'algebrizzazione delle procedure matematiche, esposta nelle *Regulae XIV, XVI, XVIII*, esibisce «attraverso certi passaggi la mutua dipendenza dei termini gli uni dagli altri»³⁰. Una dipendenza che nasce dal carattere proporzionale della scienza stessa ed è sostenuta dall'ausilio dall'immaginazione³¹:

Si deve anche osservare che per numero dei rapporti si devono intendere quelle proporzioni che si susseguono in ordine continuo. Dunque si deve notare soprattutto che la radice, il quadrato, il cubo, ecc., non sono altro che grandezze in proporzione continua³².

²⁸ *Regulae XVIII*, A. T., X, pp. 465-466; *Regulae XVIII*, p. 467.

²⁹ *Regulae XVI*, A. T., X, p. 454.

³⁰ *Regulae XVII*, A. T., X, p. 460.

³¹ «Quae verò praesentem mentis attentionem non requirunt, etiamsi ad conclusionem necessaria sint, illa melius est per brevissimas notas designare quàm per integras figuras [...]. Caeterùm, quia non plures quàm duas dimensiones diversas, ex innumeris quae in phantasia nostra pingi possunt, uno & eodem, sive oculorum, sive mentis intuitu contemplandas esse diximus: operae pretium est omnes alias ita retinere, vt facilè occurrant quoties vsus exigit» *Regulae XVI*, A. T., X, p. 454.

³² *Regulae XVI*, A. T., X, p. 457. Per «rapporto» si intendono le proporzioni geometriche necessarie a definire la quantità data: «idque methodo tam certà, ut hoc pacto tutè asseramus, illas nullâ industriâ ad simpliciores terminos reduci potuisse» (*Regulae XVII*, A. T., X, p. 459); «en quelle sorte elles (sc. lignes connues et inconnues) dépenent mutuellement les unes des autres, jusques à ce qu'on ait trouvé le moyen d'exprimer une même quantité en deux façon: ce qui se nomme une Equation». (*Géométrie*, II, A. T., VI, p. 372, 17-20); «que je dis quelque chose en général de la nature des Equations: c'est-à-dire des sommes composées de plusieurs termes, partie connus et partie inconnus, dont les uns sont égaux aux autres, ou plutôt, qui, considérés tous ensemble, sont égaux à rien» (*ibid.*, p. 444, 13-17). Si veda lo studio di J. Vuillemin, *Mathématiques et Métaphysique chez Descartes*, cit., pp. 80-84.

La notazione algebrica soccorre alla matematica, semplificando i dati del problema. Un matematico alle prese con l'ipotenusa di un triangolo retto dai lati di lunghezza 9 e 12, può tradurre i rispettivi dati in: quadrato di a , quadrato di b , somma dei quadrati ed estrazione della radice:

Perché tutte queste cose siano più chiare, si deve osservare in primo luogo che i calcolatori sono soliti indicare le singole grandezze mediante più unità o con qualche numero, mentre noi in questo luogo facciamo astrazione dagli stessi numeri, come poc'anzi dalle figure della Geometria o da qualunque altra cosa³³.

La notazione esponenziale consente infine di mostrare «i termini della difficoltà così puri e nudi che, anche senza omettere nulla di utile, non vi si troverà mai nulla di superfluo e che occupi invano la capacità dell'ingegno, quando la mente dovrà abbracciare molte cose in una volta»³⁴. Le matematiche, purificate dal loro sovraccarico di simboli e figure, offrono un fondo metodico comune, che la determinazione dell'ordine rende finalmente universalizzabile. Là dove, invece, la cosiddetta «matematica volgare» è irrimediabilmente contrassegnata da uno statuto quanto mai fragile ed incerto e da un'assenza di metodo³⁵: «infatti nulla è più inutile dell'occuparsi di nudi numeri e di figure immaginarie sì da sembrare di voler appagarsi della conoscenza di tali quisquiglie e di applicarsi a queste dimostrazioni superficiali che spesso vengono trovate più per caso che per arte [...] sì che ci disabituiamo in qualche modo ad usare la stessa ragione»³⁶. Vani sono gli sforzi e gli errori che una mole disorganizzata di studi accresce: «così operano – continua Descartes – quasi tutti i Chimici, molti Geometri, non pochi Filosofi: in verità

³³ *Regulae XVI*, A. T., X, p. 456.

³⁴ *Regulae XVI*, A. T., X, p. 455.

³⁵ Descartes parla di dimostrazioni «*quae casu saepius quam arte inveniuntur, et magis ad oculos et imaginationem pertinent quam ad intellectum*». *Regulae IV*, A. T., X, p. 375.

³⁶ *Regulae IV*, A. T., X, p. 375.

non nego che a volte divaghino con tanto successo da trovare qualcosa di vero»³⁷.

Ma se la tradizione matematica è messa sotto accusa a causa di uno statuto incerto e per la confusione delle sue procedure, una nuova teoria dell'aritmetica e della geometria, rinsaldata nel suo metodo e distinta nelle sue applicazioni, è chiamata ad assolvere a un compito nuovo: essa infatti offre il modello ad una nuova *Mathesis Universalis* in quanto strumento di un sapere illimitato e condizione prima per conseguire i gradi più elevati della Saggezza (*humana universalis sapientia*). La nuova geometria algebrica, «liberata finalmente dai molteplici numeri e dalle inesplicabili figure sotto i quali è sepolta»³⁸, non contiene forse proprio i fondamenti della vera *Mathesis*?³⁹ La riforma dell'algebra e della geometria, iniziata nel '19 e completata dalla *Géométrie*, accompagna infatti la fondazione di una disciplina analitica più vasta che ispira tutte le *Regulæ* come teoria del metodo universale (*Regula IV*): la scienza dei «rapporti o proporzioni»⁴⁰, che guarda all'algebra e all'analisi geometrica come *involutro matematico*⁴¹ per una certa *altra disciplina*, scienza dei numeri e delle figure.

Ma non basta: a differenza della *scientia penitus nova*, intuita in gioventù nella corrispondenza con Beeckman e riportata nelle

³⁷ *Regulæ IV*, A. T., X, p. 371.

³⁸ *Regulæ IV*, A. T., X, pp. 374-376.

³⁹ Crapulli, analizzando le determinazioni che di volta in volta il concetto di *Mathesis Universalis* assume nel pensiero di Aristotele, Euclide, Proclo, la definisce come una disciplina formatasi lungo il XVI secolo «comune alle scienze matematiche, in primo luogo all'aritmetica e alla geometria, che tratta della natura, dei principi e delle proprietà comuni [...]. La natura comune è la quantità, la «quantitas abstracta» matematica, la proprietà fondamentale è l'essere uguale o disuguale, in base a questa proprietà le quantità si relazionano fra loro in rapporti semplici (λόγοι, «rationes», secondo alcuni anche «proportiones»), e rapporti di rapporti o proporzioni (ἀναλογίαι «proportiones», «proportionalitates»), caratterizzati a loro volta da proprietà traducibili in teoremi e problemi, che con i principi dei concetti fondamentali, definizioni, assiomi, postulati, danno luogo ad una dottrina unitaria, che entra a far parte della trattazione della *Mathesis Universalis*». *Mathesis universalis*, cit., p. 54.

⁴⁰ *Discours*, II, A. T., VI, p. 20.

⁴¹ «Integumentum, verum dixi». *Regula IV*, A. T., X, p. 374.

*Cogitationes Privatae*⁴², la *Mathesis* esposta nelle *Regulae*⁴³ propone una teoria della riduzione all'ordine che supera il regionalismo delle applicazioni particolari e scrive lo scambio fra algebra e geometria come applicazione di un metodo più vasto, produttore di certezza universale. Se pure, infatti, le ultime regole tornano sulla matematica come disciplina d'elezione dell'applicazione del metodo, la *Mathesis* la trascende nell'universalità della sua natura e della sua funzione, rivelando il «segreto dell'arte» come scoperta delle relazioni di intelligibilità fra gli oggetti del pensiero, secondo i criteri dell'ordine e della misura:

Tale disciplina – continua la *Regula IV* – deve contenere i primi rudimenti della ragione umana e deve estendersi alle verità che si possono trar fuori da qualsiasi soggetto; e, a dirla apertamente, io sono persuaso che essa sia più importante di ogni altra cognizione a noi data umanamente, essendo quella che è fonte di tutte le altre. Involucro ho detto, poi, non perché io voglia coprire ed avvolgere questa dottrina per tenere lontano il volgo, ma piuttosto con l'intenzione di vestirla ed adornarla in maniera che essa possa riuscire più gradita all'umana intelligenza⁴⁴.

Da materia della filosofia⁴⁵, la *Mathesis* diviene la pre-condizione stessa di ogni scienza delle grandezze. Il lume naturale

⁴² *Cogitationes Privatae*, A. T., x, p. 220.

⁴³ *Regulae IV*, A. T., X, pp. 375-379. La collocazione precisa delle possibili fonti cartesiane del concetto di *Mathesis* è nondimeno complessa: nella *Regula IV* Descartes non fa alcun riferimento esplicito, a parte l'evocazione dei nomi di Pappo e Diofanto, al lungo dibattito apertosi nel XVII secolo sulla nozione di *Mathesis*.

⁴⁴ *Regulae IV*, A. T., X, 374. E. J. Dijksterhuis giunge ad identificare la *Mathesis Universalis* ad un'ideale di matematizzazione scientifica di cui la *La Géométrie* sarebbe l'esempio e il modello di realizzazione: *The Mechanization of the World Picture*, Oxford, University Press, 1961 trad. it. a cura di *Il meccanicismo e l'immagine del mondo*, Milano, Feltrinelli, 1971, pp. 542-543.

⁴⁵ Come afferma Crapulli, l'affermazione della *Mathesis Universalis* si fa strada molto lentamente, oscillando fra l'appartenenza generica all'insieme delle matematiche, *Mathesis Universa*, ed un nucleo più specifico. «nel *Commento*, Proclo si sofferma più volte, trattando delle discipline matematiche, sul concetto di una natura comune, senza darle tuttavia una precisa caratterizzazione in senso matematico e tanto meno identificandola con la quantità». *Mathesis universalis*, cit., p. 25.

coglie la concatenazione ordinata dei rapporti fra termini, sostituendo alle regole della logica formale i *frutti spontanei* di verità impressi nella mente. Subordinata alla sola luce della ragione e lontana da qualsiasi logica astratta, la *Mathesis* cartesiana è *ars inveniendi* e guida della ragione umana nella scoperta della verità. Algebra e Geometria «non sono niente altro che frutti spontanei, nati dai principi di questo metodo che sono naturalmente in noi; non mi meraviglio che (tali frutti) fino ad oggi siano maturati intorno agli oggetti semplicissimi di queste arti più felicemente che nelle altre, nelle quali maggiori ostacoli di solito li soffocano, dove però, tuttavia, se coltivati con grandissima cura, potranno senza dubbio giungere a maturazione perfetta»⁴⁶.

Una *Mathesis* che non si confonde più con la matematica comune, né con una scienza particolare dei numeri e delle figure, costruiti attraverso l'astrazione. Una, fra le indefinite applicazioni che ritrovano nella determinazione dell'ordine e della misura il segno indefettibile della *bona mens*, la *Mathesis* cartesiana privilegia l'oggetto del pensiero – *objectum*⁴⁷ – all'istanza della cosa, perché «l'ordre des choses – come dirà Descartes a Mersenne nel 1639 – est reconduit à celui des raisons»⁴⁸.

⁴⁶ *Regulae IV*, A. T., X, p. 373. Descartes conclude giustificando l'utilizzo degli esempi tratti dalla matematica, utilizzati a suo parere in modo diverso rispetto alla soluzione dei problemi futili e di poco valore per cui di solito vengono impiegati: «inania problemata, quibus Logistae vel Geometrae otiosi ludere consueverunt». *Regulae IV*, A. T., X, p. 373. Le condizioni di un così vasto programma si riferiscono ad un ideale di generalizzazione analitica ispirato dalla tradizione degli antichi algebristi come Pappo o Proclo, capace di unificare le diverse specializzazioni del sapere.

⁴⁷ *Regula XII*, A. T., X, p. 418 : «dicimus igitur primo, aliter spectandas esse res singulas in ordine ad cognitionem nostram, quam si de ijdem loquamur prout revera existunt». E, ancora : «res illas, quæ respectu nostri intellectus simplices dicuntur». (p. 419).

⁴⁸ Descartes a Mersenne, 16 ottobre, 1639, A. T., II, p. 597.

III) La teoria della *natura simplex*. Dai *genera entium* alla serie

Istantaneità ed evidenza sono i criteri che caratterizzano, nelle *Regulae*, la verità dell'apprensione intellettuale; la luce naturale dell'intelletto coordina la costruzione deduttiva delle ragioni a partire dagli elementi primi, contraendo le conoscenze più complesse in una connessione ordinata.

Applicati ai vari campi del sapere, i due requisiti fondamentali del metodo – semplicità e relazione – producono un duplice effetto: a) la riduzione dei problemi alla ricerca di una «proporzionalità continua» fra termini; b) il rifiuto della predicazione categoriale aristotelica, basata sulla definizione dell'essenza della cosa. La *Regula XIV* sostituisce infatti il procedimento dimostrativo tradizionale alla ricerca della relazione fra grandezze che partecipano in grado maggiore o minore alla medesima natura, la natura semplice essendo la classe di equivalenza concettuale di più cose. Così, sostenuta dall'induzione che ne costruisce la nozione chiara e distinta, l'intuizione intellettuale coglie le nature semplici. Descartes ne elenca tre tipi: quelle che sono «puramente intellettuali», come la cognizione, il dubbio, l'ignoranza, la volizione; quelle che sono «puramente materiali», come la figura, l'estensione, il movimento; quelle, infine, che sono comuni sia a quelle intellettuali che a quelle materiali, come l'esistenza, l'unità, la durata, nonché i principi di identità – «quelle cose che sono identiche a una terza cosa, sono identiche fra loro» – o di privazione, come il nulla, l'istante, la quiete¹. Secondo Descartes, «le nature semplici sono tutte note di per sé e non contengono mai alcun elemento di falsità»².

Nella *Regula XII* Descartes chiarisce la teoria attraverso l'esame della nozione di corpo esteso, definito da figura ed estensione: qualità che non sono astratte per induzione dai vari corpi, né che sono

¹ *Regula XII*, A. T., X, pp. 419-420.

² *Regula XII*, A. T., X, p. 427.

fisicamente separabili da esso, ma che sono chiarite e distinte (*distincta*) per l'intelletto che ne coglie l'evidenza e li certifica nell'esperienza. Nozioni prime, Descartes le chiama nature semplici non in quanto atomi materiali o principi di ontologia, ma in quanto la loro nozione è tanto perspicua e distinta da non poter essere ulteriormente riducibile dalla mente in elementi più semplici: tali sono la figura, l'estensione, il movimento etc., semplici «rispetto al nostro intelletto»³.

Diciamo dunque in primo luogo che le cose in quanto singole, quando sono ordinate alla nostra conoscenza, debbono essere considerate diversamente da quando parliamo delle stesse in quanto esistono realmente. Se per esempio, consideriamo un corpo esteso e fornito di figura, riconosceremo certamente che esso, come cosa, è alcunché di uno e semplice; infatti sotto questo riguardo non potrebbe dirsi che sia composto di natura corporea, di estensione, di figura, in quanto queste parti non sono mai esistite distinte l'una dall'altra; ma rispetto al nostro intelletto lo chiamiamo un qualcosa composto di quelle tre nature, perché le abbiamo concepite una per una, separatamente, prima di poter giudicare che tutte e tre si trovano ad un tempo in un solo e medesimo oggetto⁴.

La recensione cartesiana delle nature semplici non è per nulla arbitraria, pur essendo originale: non è infatti un regesto di universali, né un elenco di categorie dell'essere. Descartes non le classifica certo sulla base di considerazioni ontologiche, come nel caso dei *generi* e delle *specie* di Aristotele, che, anzi, rifiuta esplicitamente, ma in virtù dell'evidenza che le connota: l'evidenza istantanea dell'intuizione per le nature semplici⁵, l'evidenza prolungata della deduzione per le loro connessioni. Le nature semplici e le loro connessioni non si danno,

³ *Regulae XII*, A. T., X, p. 422: «*quae respectu intellectus nostri simplices dicuntur*».

⁴ *Regulae XII*, A. T., X, p. 418.

⁵ «*propositiones simplices intueri/distincte concipere*» (*Regulae XI*, A. T., X, p. 407); «*ad propositiones simplices distincte intuendas*» (*Regulae XII*, A. T., X, 410); «*in solo intuitu rerum, sive simplicium, falsitatem esse non posse*» (*Regulae XIII*, A. T., X, 432); «*per simplicem & purum unius rei solitariae intuitum*» (*Regulae XIV*, A. T., X, p. 440); «*quae respectu intellectus nostri simplices dicuntur*» (*Regulae XII*, A. T., X, p. 422).

infatti, al termine di un processo discorsivo, o come apprensione di ontologia, ma si presentano come nozioni evidenti all'*acies mentis* che ne coglie le connessioni intrinseche all'insegna dell'evidenza. In questo senso, l'epistemologia cartesiana apprende il suo oggetto *interamente* (*Regulae III, V, VI, XII, XIII*) e non *discorsivamente*, alla maniera sillogistica⁶: «non occorre produrre nessuno sforzo per conoscere queste nature semplici – scrive Descartes –, perché sono abbastanza note di per sé, ma solo per separarle l'una dall'altra e per intuirle separatamente una per una, fissandovi l'acutezza della mente (*mentis acie intuendi*)»⁷. Esse sono evidenti di per sé in un'intuizione istantanea, mentre la connessione fra di esse si dà in per deduzione⁸ all'insegna della perfetta visibilità: dalla condensazione delle singolarità alla loro composizione «in modo da raccogliere dai giudizi sulle singole parti alcunché di unico»⁹.

⁶ Come afferma Joachim nel suo *The nature of the truth*, cit., p. 102: «la seconda verità (mediata), quando il movimento della mente è finito, viene colta essa stessa immediatamente, cioè diviene un'intuizione (per esempio, *Regulae, III, XI*). Nei casi più complessi, l'inferenza presuppone un raggruppamento ordinato di molte evidenze, da cui la presa di possesso della verità mediata *deve* in ultimo emergere. A questo raggruppamento preparatorio Descartes dà il nome di *induzione, o enumerazione*; e, a volte, estende questi termini all'inferenza come insieme (*Regulae, VIII, XI-XII*). Ma anche qui il carattere logico dell'inferenza rimane lo stesso. La deduzione, o *induzione, e enumerazione*, è sempre il movimento illativo da un contenuto, o contenuti appresi intuitivamente, a un altro contenuto, che consegue al primo per una necessità logica diretta».

⁷ *Regulae XII*, A. T., X, p. 425.

⁸ La conoscenza aritmetica offre l'esempio di tale linearità sequenziale nel caso di $2 + 2 = 3 + 1$ da $2 + 2 = 4$ e $3 + 1 = 4$: «At verò haec intuitus evidentia & certitudo, non ad solas enuntiationes, sed etiam ad quoslibet discursus requiritur. Nam, exempli gratià, sit haec consequentia: 2 & 2 efficiunt idem quod 3 & 1; non modò intuendum est 2 & 2 efficere 4, & 3 & 1 efficere quoque 4, sed insuper ex his duabus propositionibus tertiam illam necessariò concludi. Hinc jam dubium esse potest, quare, praeter intuitum, hic alium adjunximus cognoscendi modum, qui fit per *deductionem*: per quam intelligimus, illud omne quod ex quibusdam alijs certò cognitis necessariò concluditur». *Regulae III*, A. T., X, p. 369; «Notandum paucas esse duntaxat naturas puras & simplices, quas primò & per se, non dependenter ab alijs vllis, sed vel in ipsis experimentis, vel lumine quodam in nobis insito, licet intueri; atque has dicimus diligenter esse observandas: sunt enim eadem, quas in vnàquàque serie maximè simplices appellamus». *Regulae VI*, p. 383.

⁹ *Regulae XI*, A. T., X, p. 408. La divisione continua dunque la sua regressione fino a che il criterio della distinzione lo richieda: «omnem humanam scientiam in hoc vno consistere, ut distinctè videamus, quomodo naturae istae simplices ad compositionem aliarum rerum simul concurrant». *Regulae XII*, p. 427.

La teoria diventa metodo, allorché essa consente di legare le nature semplici in catene, dagli elementi più semplici alle nozioni più complesse. Nella scienza, infatti, la composizione ordinata degli «atomi di pensiero»¹⁰ presenta, nelle deduzioni più semplici, una connessione immediata¹¹, il nesso tra il semplice e il complesso

¹⁰ Cfr. L. J. Beck, *The method of Descartes. A study of the Regulae*. Oxford University Press, London, 1952, pp. 78-79: «it is not the doctrine of Descartes that simple natures are apprehended as actually separate; they are apprehended as essentially distinct [...]. The «atom of evidence», then, which was borrowed from Hamelin's phrase, must be understood as simple, only in so far as it is the *minimum conoscibile* for the knowing mind, but as *minimum conoscibile* it is a whole of the nexus and what is connected».

¹¹ La fisica moderna viene in aiuto nella comprensione di tale definizione di semplicità come campo di relazioni quando la trasferisce nella moderna concezione di atomo. Cfr. G. Bachelard, *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*, Presses Universitaires de France, Paris, 1951, p. 79 : «les notions géométriques sont d'autant plus opérantes qu'on s'élève davantage dans les ordres de composition [...]. Les structures un peu complexes deviennent paradoxalement mieux connues que les structures plus simples. Le *simple* est automatiquement une partie de structure». L'idea di una trasparenza e di una disponibilità immediate dell'oggetto al soggetto conoscente non sono soddisfatte però, agli occhi di Bachelard, dalle prime due regole cartesiane dell'evidenza e dell'analisi. Ogni visione dei fenomeni è una visione organica, organizzata e in continua trasformazione. Una visione intuizionistica del dato immediato oscurerebbe la complessa trama di relazioni che la scienza moderna pone tra pensiero ed esperienza: «La simplicité ne sera plus, comme le pose l'épistémologie cartésienne, la qualité intrinsèque d'une notion, mais seulement une propriété extrinsèque et relative, contemporaine de l'application, saisie dans une relation particulière [...]. En réalité, il n'y a pas de phénomènes simples; le phénomène est un tissu de relations [...]. L'application est complication [...]. Les idées simples ne sont point la base définitive de la connaissance; elles apparaîtront par la suite dans un tout autre aspect quand on les placera dans une perspective de simplification». G. Bachelard, *Le nouvel esprit scientifique*, Alcan, Paris, 1934, pp. 26-27. Secondo Marion, tuttavia, l'epistemologia moderna porta alle estreme conseguenze un concetto di semplicità come rete dei dati più semplici già ricondotto da Descartes ad un *processo di semplificazione*: «Et, bien sûr, en ce sens, l'analyse qu'on a cru devoir attribuer à une *épistémologie non-cartésienne*, pour laquelle « d'une manière générale le simple est toujours le simplifié; il ne saurait être pensé correctement qu'en tant qu'il apparaît comme le produit d'un processus de simplification » (cfr. G. Bachelard, *Le Nouvel Esprit Scientifique*, cit., p. 53) n'affaiblit absolument pas l'analyse de la simplicité par les *Regulae*. Au contraire, elle en constitue un des meilleurs commentaires, comparable, en cela, à certaines formules de Bergson sur la «simplicité provisoire des unités», simplicité qui reste entièrement dépendante de la pensée; car «l'unité est irréductible quand on la pense», et alors seulement (cf. Bergson, *Essai sur les données immédiates de la conscience*, [I] 62-63)». *Règles utiles et claires pour la direction de l'esprit en la recherche de la vérité*, ed. par J.-L. Marion, avec des notes mathématiques de P. Costabel, Martinus Nijhoff, The Hague, Netherlands, 1977, p. 240.

operando su dati autoevidenti e immediatamente perspicui. Descartes ne fornisce alcuni esempi: «ognuno può intuire con la mente che egli esiste, che pensa; che il triangolo è delimitato soltanto da tre linee; che la sfera è delimitata da una sola superficie e cose del genere»¹². Ma la necessità di tale articolazione investe anche le nozioni «più involute», concatenate secondo gradi crescenti di complessità, di cui è necessario cogliere con chiarezza il legame¹³, in modo da averne una conoscenza esaustiva¹⁴:

Per distinguere le cose più semplici da quelle più involute e per investigarle con ordine, si deve, in ogni serie di cose in cui abbiamo dedotto un certo numero di verità direttamente le une dalle altre, osservare quale sia la cosa più semplice, e in quale modo tutte le cose restanti se ne allontanino di più, o di meno, o in misura uguale¹⁵.

Nella scienza, la semplicità, requisito dell'idea chiara, da *primum* logico si rovescia così nel risultato di un processo di semplificazione che presuppone la reciprocità delle relazioni a partire dalla messa in equivalenza («*illas inter se comparamus*») dei termini più semplici – *absolutum, quasi independens, causa, simplex, universale, unum, aequale, simile, rectum, etc.*, – riferiti «alla natura pura e semplice» con i termini derivati – *respectivum, dependens, effectum, compositum, particolare, multa, inaequale, dissimile, obliquum* – i quali denotano oggetti più complessi che partecipano «certamente della medesima natura o, per lo meno, di alcunché tratto da essa, secondo cui si può riferire all'assoluto ed esserne dedotto secondo una certa serie». Nella *Regula VI*, la distinzione fra semplice

¹² *Regulae III*, A. T., X, p. 368.

¹³ «Postquam aliquot propositiones simplices sumus intuiti, – utile est – plura simul, quantum fieri potest, distinctè concipere : ita enim & cognitio nostra longè certior fit, & maximè augetur ingenij capacitas». *Regulae XI*, A. T., X, p. 407.

¹⁴ *Regulae XII*, A. T., X, p. 420: «evidens est nos falli, si quando aliquam ex naturis istis simplicibus à nobis totam non cognosci judicemus; nam si de illâ vel minimum quid mente attingamus, quod profectò necessarium est, cùm de eâdem nos aliquid judicare supponatur, ex hoc ipso concludendum est, nos totam illam cognoscere».

¹⁵ *Regulae VI*, A. T., X, p. 381.

e complesso riflette il sistema di mediazioni cognitive che colloca i vari termini nel movimento ininterrotto della deduzione. Tale modello regolativo della conoscenza, che discende «a facillioribus ad difficiliora», riconosce un legame di reciproca dipendenza fra termini semplici (*absoluta*) e termini relativi o complessi (*respectiva*). È l'ordine della visione intellettuale (*spectare*)¹⁶ che assegna i gradi di subordinazione delle varie conoscenze («quo plures subordinatos continent») rispetto alla natura più semplice:

questa regola ci avverte che tutte le relazioni devono esser distinte e che il loro reciproco nesso e il loro ordine naturale deve esser osservato in modo che dall'ultima, passando per tutte le altre, possiamo pervenire a ciò che è massimamente assoluto¹⁷.

La visione intellettuale (*inspectio mentis*), e non la natura degli esseri, disloca i termini assoluti e relativi nella serie ordinata, distinguendo ciò che è dipendente, effetto, composto, relativo, da ciò che precede nell'ordine della conoscenza, assoluto, causa, semplice, primo. Questo il vero segreto dell'arte, che «consiste nell'osservare con diligenza ciò che tra tutti i termini è massimamente assoluto»:

Infatti, alcuni sono senza dubbio più assoluti di altri da un punto di vista, ma, considerati da un altro, sono più relativi: come l'universale è senza dubbio più assoluto del particolare, perché ha una natura più semplice, ma nello stesso tempo può esser detto più relativo perché la sua esistenza dipende dagli individui, e così di seguito. Allo stesso modo certi termini a volte sono senz'altro più assoluti di altri, ma non ancora, tuttavia, più assoluti di tutti: così, se consideriamo gli

¹⁶ «Ubi non illarum naturas solitarias spectamus, sed illas inter se comparamus, ut unae ex alijs cognoscantur, dici posse vel absolutas vel respectivas». *Regulae VI*, A. T., X, p. 381. I termini «spectata», «respectiva», «respectivum» rimandano alla natura *relazionale* dell'ordine istituito dalla visione. Come sottolinea H. Caton: «the simples are the primordial stuff from which knowledge, or objects, are built up. Since they are first without qualification, they have no cause, nor any explanation, and in this sense they are «a-logical». But when the elements or simples are mixed together, they compose *complexes* that admit of explanation». *The Origin*, cit., p. 46.

¹⁷ *Regulae VI*, A. T., X, pp. 381-382.

individui, la specie è termine assoluto; se consideriamo il genere è termine relativo; tra le cose misurabili l'estensione è qualcosa di assoluto, ma tra le estensioni è la lunghezza etc. [...]. Allo stesso modo, infine, poiché si comprenda meglio che noi qui esaminiamo la serie delle cose da conoscere, e non la natura di ciascuna, abbiamo enumerato di proposito tra le cose assolute la causa, l'eguale, per quanto la loro natura sia in realtà di relazione: infatti per i filosofi la causa e l'effetto sono correlativi; ma se qui invero ricerchiamo quale sia l'effetto, è necessario conoscere prima la causa e non il contrario¹⁸.

La *Regula VI* ricongiunge così i due estremi dell'istantaneità intuitiva da un lato e del movimento del pensiero dall'altro¹⁹.

In questa transizione tra l'evidenza istantanea dell'idea semplice e l'evidenza prolungata della catena deduttiva si colloca il modello comparativo cartesiano come metodo di conoscenza scientifica che consente di ridurre la soluzione di problemi diversi allo studio dei rapporti ordinati tra grandezze. Nelle *Regulæ*, Descartes presenta vari esempi, coerenti a tale programma: dalla ricerca dei medi proporzionali in matematica, alla rappresentazione dei colori in fisica, fino allo studio dell'anaclastica nell'ottica geometrica, che egli espone nella *Regula VIII*. In ognuno di questi ambiti il progetto è il medesimo: la scienza delle proporzioni si impegna nella ricerca degli elementi più semplici («simplicissimae naturae et per se cognitae»²⁰), utili alla soluzione dei problemi, tali cioè da consentire l'ordinamento dei termini complessi in una serie di connessioni necessarie e continue²¹.

L'imperativo dell'ordine, che regola le relazioni tra i termini in

¹⁸ *Regulae VI*, A. T., X, pp. 382-383.

¹⁹ «motus cogitationis», «transire», *Regula XI*, A. T., X, p. 409; «percurrere», *ibid.*

²⁰ *Regulae VIII*, A. T., X, p. 399.

²¹ «Celles-ci – afferma Y. Belaval – sont des rapports entre idées et ne doivent pas leur certitude à des principes rationnels qui détermineraient *a priori* ces rapports, mais à la présence des idées elles-mêmes, c'est-à-dire, ici, les objets mathématiques» *Leibniz critique de Descartes*, Gallimard, Paris, 1960, p. 39. «S'étudiant à l'arithmétique et la géométrie – continua Belaval – l'esprit demeure présent à lui-même et sa certitude peut être entière. Il voit ce qu'il pense et comment il le pense. Il pense nombres et figures [...]. La connaissance sensible est fondée sur l'intuition de l'étendue mathématique; cette intuition peut donc, sans cesser d'être rationnelle, fournir une aide psychologique». *ibid.*, pp. 39-41.

base al criterio della semplicità e della complicazione *rispettiva*, «va seguito da chi sta per affrontare la conoscenza delle cose, non meno di quanto Teseo, quando stava per affrontare il Labirinto doveva seguire il filo»²².

Il modello cartesiano della concatenazione seriale elimina così la distinzione aristotelica di primo-assoluto (ουσία, substantia) / secondo-relativo²³, privilegiando una teoria dell'*assoluto-relativo*²⁴, basata sul modello della catena delle conoscenze e riferita al termine più semplice (*maximum absolutum; natura simplex*) della disposizione seriale. Alle operazioni dell'astrazione tradizionale, che giunge all'essenza della cosa attraverso l'induzione dal particolare, subentrano quelle della semplificazione, del concatenamento e della comparazione²⁵. Partendo dalle relazioni istituite dall'ordine, la «certezza prolungata» della concatenazione d'evidenze diviene l'ausilio della scienza «sia per intuire in modo distinto le proposizioni semplici, sia per confrontare correttamente le cose ricercate con quelle

²² *Regulae V*, A. T., X, pp. 379-380.

²³ Nelle parole di J.-L. Marion, *Sur l'Ontologie grise* cit., p. 132: «*Natura* ne désigne plus seulement la *physis* de telle chose individuelle [*Règle VI*, 381, 19; 383, 3, 4, 11 = 422, 16; 427, 11, 25; voir *Règle VIII*, 393, 18, 19]; mais des éléments logiques, auxquels elle se réduit, en application du schéma corrélatif *natura* simple permettant la reconstitution. *Res* désigne, autant que la chose irréductiblement donnée l'élément que *I'ego* se choisit et construit comme son objet privilégié; c'est autant que la «chose» constatée, l'objet reconstitué. *Simplex*, enfin, prend une signification radicalement nouvelle: non pas la simplicité que délimite la «nature solitaire», qui se laisse définir par l'essence où elle se résorbe, mais le résultat d'un *processus de simplification*. En effet, (418, 13 - 419, 5), la simplicité des choses à connaître ne suppose absolument aucun élément préexistant, parce quelle s'obtient au terme d'une réduction, qui ne progresse qu'en élaborant simultanément les termes de sa simplicité». Per ciò che riguarda il concetto di natura come campo di relazioni, Whitehead pone la categoria di relazione in un'indubitabile posizione prioritaria rispetto a quella di semplicità: «an object is situated in those events or in that stream of events of which expresses the character. It is the purpose of science to trace the laws which govern the appearance of objects in the various events in which they are found or situated». A. N. Whitehead, *The Concept of Nature*, cit., p. 169.

²⁴ L'espressione è di J.-L. Marion che parla di «absolus parfaitement relatifs». *Sur l'Ontologie grise*, cit., p. 95. Si veda anche M. Spallanzani, *Descartes et les figures de la Vérité*, cit., p. 912.

²⁵ *Regulae VI, VII, XII, XIV-XVI*, A. T., X.

conosciute onde riconoscerle, sia per trovare quelle che devono essere collegate tra di loro»²⁶.

Descartes rifiuta la modalità fondazionalistica aristotelica di classificazione delle proprietà e dei principi. Abbandonando la domanda circa la natura (λόγος) di qualcosa come oggetto della sostanza (ουσία) che lo definisce²⁷, Descartes assume la nozione di natura semplice come il termine primo della serie, ovvero «ciò che contiene in sé la natura pura e semplice intorno alla quale si discute» (*maximum absolutum*). Le *Regulæ* investono quindi i termini della tradizione (assoluto/relativo, primo/secondo nell'ordine dell'essere) di un nuovo significato²⁸: la soluzione di un problema è «perfetta» quando la serie ha un ordine, vale a dire quando si può passare, come nel caso della progressione aritmetica, da un termine all'altro secondo un «movimento continuo e ininterrotto del pensiero» fondato su un unico, indivisibile atto della mente. Il principio della serie, fondato sulla relazione fra i termini che partecipano alla stessa natura in simile, identico o egual grado, produce un modo specifico di comparazione, il cui vantaggio rispetto alla deduzione da principi universali consiste nella perfetta reversibilità fra *absolutum* e *respectivum* che rovescia la gerarchia tradizionale fra ordine della natura e ordine del pensiero. La composizione non dipende, infatti, da alcun genere ontologico, ma è

²⁶ *Regula XII*, A. T., X, p. 410.

²⁷ Quest'ultima possiede in Aristotele due aspetti o tendenze principali: da un lato conduce verso la cosa concreta, considerata nel suo carattere individuale (un particolare uomo); dall'altro definisce ciò a cui si deve la ragione dell'esistenza di qualcosa, la sua essenza: «La sostanza è quella detta nel senso più proprio e in senso primario e principalmente, la quale né si dice di qualche soggetto né è in qualche soggetto. Invece sono dette sostanze seconde le specie nelle quali esistono quelle che vengon dette sostanze in senso primario; queste ed i generi di queste specie. Ad esempio, un certo uomo esiste nella specie *uomo*, e genere di questa specie è *animale*. Queste, dunque, sono dette sostanze seconde: ad esempio, *uomo e animale*». *Cat.* V, 2a, 11-19. Il procedere dall'εἶδος più basso (*infima species*) ai generi più alti è esposto alla luce della maggiore o minore comunanza con la sostanza prima (*Met* VII, 1, 1028a 29-b2). Ricercare l'essenza è il compito primario della scienza e delle categorie: cfr. *Cat.* V, 2b 15-22; 3b 3-6. Sull'idea di sostanza come nozione prioritaria per le rispettive posizioni fra generi, specie e particolari, si veda W. D. Ross, *Aristotle*, Methuen, London, 1960.

²⁸ «res omnes per quasdam series posse disponi, non quidem in quantum ad aliquod genus entis referent, sed in quantum unae ex alijs cognosci possunt». *Regula VI*, A. T., X, p. 381.

tutta istituita dalle operazioni della mente: come nella matematica, in cui la relazione fra triangolo, linea retta ed angolo non si esprime in termini di genere e differenze specifiche, ma in termini di implicazioni necessarie. Il nuovo concetto cartesiano di *natura simplex* rifiuta così la duplicità interna alla scienza aristotelico-scolastica fra ordine dell'essere e ordine del pensiero che la forma dimostrativa *par excellence*, il sillogismo, traduce nella sequenza dimostrativa di premesse e conclusioni²⁹: la comparazione cartesiana fra grandezze secondo un'unità di misura dipende dal solo ordine gnoseologico che, istituendo i rapporti tra semplice e complesso *respectu nostri intellectus*, abbandona il primato dell'essere *sub specie substantiae*³⁰ e le «categorie dei Filosofi», come le chiama Descartes.

Si potrebbe leggere il primato della visione intellettuale a partire dall'abbandono dell'ontologia aristotelica, secondo l'interpretazione offerta da da Jean-Luc Marion³¹. Ma è certo che, nelle *Regulae*, la critica all'ontologia si accompagna anche ad un'innovazione propriamente metodica, ricca di feconde applicazioni nel campo della scienza: il paradigma conoscitivo della *Mathesis*, che offre alla scienza le figurazioni della serie e della catena, sostituisce al problema ontologico delle categorie lo schema operativo e la funzionalità contestuale dell'ordine. Descartes lo ribadirà nella lettera a Plempius³²

²⁹ La conoscenza dimostrativa è contrassegnata, secondo Aristotele, dal rapporto universale fra premesse e conclusioni che attraverso il termine medio veicolano la spiegazione, il *perché* (το διότι) della cosa. Cfr. *An. Post.*, I, 2, 71b 31-32; I, 4, 73b 18-20, 25-27. L'επαγωγή, come forma rovesciata di dimostrazione, rende ancora più netta la subordinazione fondamentale delle conclusioni alle premesse; l'induzione porta all'evidenza le seconde per mezzo delle prime. *An. Post.*, I, 2, 71b 20-25.

³⁰ Aristotele enumera quattro categorie esplicative della nozione di sostanza: essenza (είναι), universale (τὸ καθόλου), genere (γένος) o soggetto (υποκειμενον). Il termine universale (τὸ καθόλου) spiega i particolari: *Topici (Top.)* VIII, 14, 164a 8-11; *Metafisica (Met.)*, XIII, 1086b 20-23; I, 9, 991a20-21; 991b2-3.

³¹ J.-L. Marion, *Sur l'Ontologie grise*, cit.

³² Plempius, medico nederlandese cattolico, conosce Descartes agli inizi degli anni trenta ed è il primo a ricevere tre esemplari del *Discours* e degli *Essais* che invia rispettivamente al Gesuita F. Fournet e a Froidmont, teologo, matematico e fisico fiammingo: «Recepi igitur tamen tria exemplaria commentariorum [ossia il *Discours* e gli *Essais*] et unum mihi retinui, alterum domino Fromodo tradidi, tertium ad P. Fournet trasmisi eadem die qua recepi, atque hactenus ego et Fromondus legendo, voluendo, expendendo libro occupati fuimus». Plempius a Descartes, 15 settembre, 1637, A. T., I, p. 399. Fromondus avanzerà alcune

del 20 dicembre 1637, là dove, difendendo lo statuto ipotetico della scienza degli *Essais*, dimostra l'intelligibilità non astratta e la fecondità del modello della concatenazione che parte dagli assiomi («illa axiomata quibus Geometrarum demonstrationes nituntur»), o verità *a priori* (*principia; praemissae*)³³ fino alle conseguenze più lontane. Il lessico dell'assioma e del principio non differisce da quello della natura semplice, permettendo la medesima deduzione di conseguenze valide a partire dalla causa più semplice in tutti i campi: dalla fisica, alla geometria alla matematica³⁴.

Tre esempi illustrano, nella *Regula VI*, l'ordine seriale della scienza: 1) la serie dei termini in progressione geometrica (*continue proportionales*); 2) la ricerca dei medi proporzionali; 3) il calcolo di più medi proporzionali, essendo gli estremi già conosciuti.

Individuare i termini più semplici di una questione e distinguerli da quelli più complessi: «questo, di certo, è il più grande segreto che si possa avere per acquisire la buona scienza» – dichiara Descartes a Mersenne nel 1629³⁵. La serie numerica della *Regula VI*, su cui si soffermerà la nostra attenzione nel prossimo capitolo, è uno degli esempi più importanti del metodo poiché ne rivela la natura essenzialmente proporzionale, l'unica capace di ridurre l'ordine delle cose all'ordine delle ragioni.

obiezioni [Fromondus a Plempius, 13 settembre, 1637, A. T., I, pp. 402-409] seguite dalla replica di Descartes a Plempius, 3 ottobre, 1637, A. T., I, pp. 412-431.

³³ Descartes a Plempius, 20 dicembre, 1637, A. T., I, p. 476.

³⁴ Un modello conoscitivo, questo, che molti interpreti considerano *a priori* rispetto alle garanzie che servono nelle *Regulae* e nel *Discours* per definire la cornice e le condizioni fondative della conoscenza; *a posteriori*, rispetto alle ipotesi, alle tecniche induttive e agli elementi sperimentalmente convalidati che confermano la causa quando si passa alla reale pratica scientifica. Fra gli esponenti principali ricordiamo: A. I. Sabra, *Theories of Light from Descartes to Newton*, Oldbourne Book, Co. LTD, London, 1967; G. Rodis Lewis, *Descartes et le rationalisme*, Presses Universitaires de France, 1992; L. J. Beck, *The method of Descartes*, cit.

³⁵ Descartes a Mersenne, 20 novembre, 1629, A. T., I, pp. 78-81.

IV) La scienza delle proporzioni

Ordine (*ordo*) e misura (*mensura*) consentono nelle *Regulae* l'istituzione dei rapporti fra grandezze, dando consistenza operativa alla *mathesis Universalis*¹, una e universale nei diversi campi del sapere. L'ordine costituisce il segreto del metodo (*artis secretum*): un segreto che non nasconde, ma al contrario porta alla massima evidenza le relazioni che intercorrono fra gli oggetti della scienza. Come nella metafora del filo di Teseo (*Thesei filum labyrinthum*)², il metodo consente di ritrovarsi nel labirinto delle conoscenze, ricercando gli elementi più semplici e risalendo da questi in modo graduale, sino a comporre una sequenza ordinata di evidenze. L'unità delle scienze, presentata nella *Regula IV*, assume le figure di una connessione (*connexio*) e di un concatenamento (*vinculus, catena*) che assicurano la coesione della conoscenza, garantendone la validità.

L'ordine definisce una scienza non più subordinata allo statuto ontologico dell'essere e dell'essenza: le *naturae purae & simplices* delle *Regulae VI* e *XII*, termini primi delle varie catene, sono gli oggetti d'elezione della conoscenza chiara e distinta (*tam perspicua est & tam distincta; magis distincte cognititas*)³. Del resto, l'ordine è anche una messa in ordine delle conoscenze a partire dalle più semplici: la chiarezza e la distinzione, caratteri primi dell'evidenza, rimandano così anche ad un metodo della chiarificazione e della distinzione. Il *Discours* ne darà una trattazione rapida nel precetto dell'analisi e della sintesi, le *Regulae* ne approfondiscono lo statuto epistemologico e le modalità operative nella *Regula V*. In essa, l'analisi viene definita come l'operazione che consente di ridurre un problema

¹ Per uno studio della nozione di ordine e del suo rapporto alla misura si veda Equipe Descartes, «Contribution à la sémantèse d'ordre/ordo chez Descartes», *ORDO. Atti del II° Colloquio Internazionale del Lessico Intellettuale Europeo*, Roma, 1979.

² *Regulae V*, A. T., X, p. 380.

³ *Regulae XII*, A. T., X, p. 418. *Regulae II*, p. 362: «ad quorum certam & indubitatum cognitionem nostra ingenia videntur sufficere». Il lessico della chiarezza e distinzione sarà evocato anche dal *Discours* (II, A. T., VI, p. 21).

complesso ai suoi atomi di evidenza; la sintesi come la ricostruzione ordinata dei passaggi dell'analisi nella direzione inversa, dal più semplice al più complesso («ex omnium simplicissimarum intuitu ad aliarum omnium cognitionem per eosdem gradus ascendere tentemus»):

Tutto il metodo consiste nell'ordine e nella disposizione di quelle cose alle quali deve essere rivolta l'acutezza della mente, per scoprire qualche verità. E lo avremo osservato con esattezza, se ridurremo gradualmente le proposizioni involute e oscure ad altre più semplici, e in seguito, con l'intuizione delle più semplici di tutte, tenderemo di salire per gradi alla conoscenza di tutte le altre⁴.

⁴ *Regulae V*, A. T., X, p. 379. Si veda anche *Regulae XIII*, A. T., X, p. 281: «si quaestionem perfectè intelligamus, ella est ab oramai superfluo conceptu abstrabenda, ad simplicissimam revocanda, & in quàm minimas partes cum enumeratione dividenda». Come afferma N. Grimaldi: «alors que l'ordre synthétique est constitutif de la réalité, l'ordre analytique s'emploie donc seulement à la reconstituer. Le premier fonde une logique de la production; le second fonde une logique de la reproduction [...]. Le premier procède réflexivement, inférant nécessairement ses théorèmes des premiers principes, intuitions originaires. Le second ne peut procéder que par analogie dans la supposition des causes et par expérience pour en vérifier l'hypothèse». *L'expérience de la pensée*, Vrin, Paris, 1978, p. 121. La *Géométrie* non farà altro che riflettere la caratteristica fondamentale del metodo analitico riducendo un problema alla sua forma più semplice: A. T., VI, p. 475, 3-21. La *Regula XXI* prescrive una via molto simile: «si plures sint ejusmodi aequationes, sunt omnes ad vnicam reducendae, nempe ad illam cujus termini pauciores gradus occupabunt in serie magnitudinum continuè proportionalium, secundum quam ijdem ordine disponendi». *Regulae XXI*, A. T., t. 10, p. 469.

Così, se l'analisi è la «vera via»⁵ della scoperta scientifica, consentendo di raggiungere nuove cognizioni nei vari campi del sapere attraverso il passaggio regolato dall'ignoto al noto, dal complesso al semplice, dall'oscuro al chiaro, dal confuso al distinto, la sintesi è metodo dimostrativo e didattico, capace di ricomporre le conoscenze nell'ordine di complessità crescente, e di consegnare la complessità iniziale alla perfetta trasparenza dell'ordine delle ragioni.

In altre parole, nella prospettiva cartesiana, è la priorità delle nature semplici, stabilita *in ordine ad cognitionem nostram*⁶, vale a dire nel puro criterio epistemologico dell'intelletto e non *ad aliquod genus entis*⁷, a determinare i successivi gradi di composizione fra nature relative o complesse. L'*a priori* cartesiano non dipende da nient'altro che dall'instaurazione dell'*ordo*: «tutta la scienza umana –

⁵ Sul piano cronologico, l'analisi di Descartes precede la sintesi e si accorda, secondo l'uso che ne faranno le *Réponses aux Secondes Objections* [A. T., VII, p. 156] al «metodo attraverso cui la cosa è stata inventata (*tamquam a priori*)». Il dibattito fra i commentatori a proposito dell'uso dell'analisi e della sintesi nelle *Meditationes* è particolarmente vasto e niente affatto concorde. M. Gueroult riferisce i due termini alla distinzione fra ordine del pensiero e ordine delle cose: *Descartes selon l'ordre de raisons II*, cit. G. Buchdahl ammette differenti usi dell'espressione (*Metaphysics and Philosophy of science*, cit). S. Gaukroger sottolinea l'inadeguatezza del rimando matematico dell'analisi nel contesto delle *Meditazioni* (*The Sources for Descartes's Procedures of Deductive Demonstration in Metaphysics and Natural Philosophy*, in *Will, Reason and Sensation, Studies in Descartes's Metaphysics*, J. Cottingham, (ed.), Oxford, 1994, pp. 47-62). Nella sua edizione del testo, Cottingham riferisce l'*a priori* e l'*a posteriori* semplicemente ai gradi successivi di scoperta a cui il soggetto meditante è sottoposto (*The Philosophical Writings of Descartes II*, Cambridge University Press, Cambridge, 1991). Più appropriato ci sembra il riferimento alla *resolutio* e *compositio* di tipo matematico proposta da J. Hintikka, U. Remes: *The Method of Analysis*, Reidel, Dordrecht, 1974, pp. 105-117. Scoperta e sintesi funzionano entrambe, secondo questa interpretazione, come parte dell'analisi, seppur in modo problematico quando si passa dalla perfetta reversibilità dei dati matematici alla complessa struttura del mondo.

⁶ *Regulae XII*, A. T., X, p. 418.

⁷ «Sicut illas Philosophi in categorias suas diviserunt, sed in quantum vnae ex alijs cognosci possunt». *Regulae VI*, A. T., X, p. 381.

il concetto di serie consiste nella:

- a) *Proporzione* che ricerca i termini assoluto/relativo come funzioni relazionali dello stesso campo epistemico
- b) *Ricerca* dei medi proporzionali che fondano una teoria del rapporto fra termini conosciuti e sconosciuti
- c) *Metodo* che riferisce ogni termine ad un piano di equivalenze accrescendo la *perspicacia* della mente.

scrive Descartes – non consiste che in questo, e cioè nel vedere distintamente in qual modo queste semplici concorrano insieme alla composizione di altre cose»⁸. L'evidenza del termine assoluto di una questione, *simplicissimum & facilissimum*, andrà estesa alla concatenazione intellettuale (*per quaedam seriem*) che lo lega ai termini relativi (*respectiva*). Nelle parole della *Regula VI*: «questi termini si allontanano tanto più dagli assoluti quanto maggiore è il numero di relazioni di questo tipo, subordinate le une alle altre, che contengono»⁹. *Series & contextus*¹⁰ divengono allora le figure dell'ordine naturale su cui le operazioni intellettuali della *bona mens* scompongono ogni problema.

Tre esempi illustrano lo specifico ordine seriale della scienza cartesiana, un ordine fedele al dettato matematico della dipendenza degli effetti dalle cause: a) la serie numerica continua; b) la ricerca dei medi proporzionali; c) il calcolo di più medi proporzionali, essendo gli estremi già posti. La teoria delle proporzioni è un esercizio del metodo che mostra le relazioni di intelligibilità fra gli oggetti del pensiero.

Nel primo caso, una distinzione (*cernere*), operata dalla conoscenza esatta¹¹, assicura l'implicazione continua dei dati¹². La

⁸ *Regulae XII*, A. T., X, p. 427.

⁹ *Regulae VI*, A. T., X, p. 382.

¹⁰ Dalla teoria dell'ordine come tessuto di relazioni Descartes estrae infatti il nuovo statuto del *nexus* e del *contextus*: «la liaison – nexus – et l'enchaînement – contextus – deviennent alors les figures de l'ordre naturel des choses non pas en raison *ad aliquod genus entis* [...] *in categorias suas*, comme Descartes le répétait dans la *Regula VI*, mais en tant qu'elles se composent et se disposent comme des objets de la pensée, selon l'ordre naturel d'une généalogie constituée par les opérations intellectuelles de la *bona mens*». M. Spallanzani, *Descartes et les figures de la Vérité*, cit., p. 912.

¹¹ L'operazione per la quale la mente compie questa preliminare opera di semplificazione fa eco al *Discours* [II, A. T., VI, p. 19]: «et je ne fus pas beaucoup en peine de chercher par lesquelles il était besoin de commencer: car je savais déjà que c'était par les plus simples & les plus aisées à connaître».

¹² Il *Discours* esemplifica la concatenazione dei dati nell'immagine della catena: «ces longues chaines de raisons, toutes simples et faciles, dont les géomètres ont coutume de se servir, pour parvenir à leurs plus difficiles démonstrations, m'avaient donné occasion de m'imaginer que toutes les choses, qui peuvent tomber sous la connaissance des hommes, s'entre-suivent en même façon, et que, pourvu seulement qu'on s'abstienne d'en recevoir aucune pour vraie qui ne le soit, et qu'on garde toujours l'ordre qu'il faut pour les déduire les unes des autres, il

Regula VI ricorre al più elementare degli esempi in ambito matematico, quello ricavato da una serie naturale di numeri interi. Fra i numeri 3, 6, 12, 24, 48, il termine assoluto è 3. Moltiplicando per 2 la sequenza dei termini si ottiene una catena di grandezze numeriche continue (*continue proportionales*), tutte le legate al termine più semplice secondo gradi crescenti di relazione.

Se invece si parte, come nel secondo caso, dall'ultimo anello della serie, ovvero il numero 48, e si vogliono stabilire i passaggi intermedi che lo collegano al 3, occorrerà procedere alla scomposizione della serie negli elementi più semplici. Un'altra via consiste nell'inserire il medio proporzionale 12 (*medium proportionale inveniatur*) fra 3 e 48, poi cercare il *medium* fra 3 e 12, cioè 6, e infine l'ultimo fra 12 e 48, vale a dire 24.

Il secondo caso è il più importante per comprendere la specificità dell'analisi cartesiana come messa in equazione fra termini ignoti (*incognita*), assunti come conosciuti (*cognita*) per procedere nella dimostrazione, e termini noti. Il carattere algebrico della *divisio* scopre infatti un termine medio, ponendolo come noto («tamquam concessum, tamquam factum ponentes» nelle parole del geometra dell'antichità Pappo)¹³, e lo prova grazie alla corrispondenza con gli estremi della dimostrazione¹⁴. L'esempio matematico permette di chiarire l'essenza dell'ordine come messa in equazione fra termini che procede biunivocamente secondo le tappe della semplificazione progressiva, o nella costruzione ininterrotta delle proposizioni.

Analisi e proporzione rivelano dunque il modo in cui si «implicano tutte le questioni che possono essere proposte relativamente alle proposizioni o alle costituzioni delle cose e in quale ordine vadano esaminate; la qual cosa da sola – continua Descartes

n'y en peut avoir de si éloignées ausquelles enfin on ne parvient, ni de si cachées qu'on ne découvre». *Discours*, II, A. T., VI, p. 19.

¹³ Cfr. Pappi Alexandrini, *Mathematicae Collectiones*, a Federico Commandino Urbinate in Latinum conversae, et Commentariis illustratae, Venetiis, apud Franciscum de Franciscis Senensem, MDLXXXIX, p. 157 r.

¹⁴ Cfr. J. Hintikka, U. Remes, *The Method of Analysis*, cit., pp. 49-69.

nella *Regula VI*, – racchiude l’essenziale di tutta la scienza puramente matematica»¹⁵.

¹⁵ *Regulae VI*, A. T., X, p. 385.

III

«Ad scientiae complementum»

L'enumeratio sive inductio nelle *Regulae*

I) *Inductio sive enumeratio*. Il lessico dell'induzione nelle *Regulae*

Nelle sezioni precedenti la disposizione seriale è stata vista come la guida per l'ordinamento e la soluzione dei problemi. Il privilegio concesso da Descartes al modello dell'*intuitus* si articola a partire da «che cosa possiamo intuire con chiarezza ed evidenza o dedurre con certezza»¹, secondo una «ontologia grigia»² delle nature semplici, per usare i termini di Marion, che distingue ciò che è *primum, absolutus, causa*, rispetto a ciò che è *secundus, respectivus, effectus*. Ogni riduzione ontologica della conoscenza è bandita³; il suo riflesso in un sistema logico è considerato da Descartes ugualmente superfluo. Il compito principale dell'ordine consiste nel reperire analiticamente l'elemento più semplice o assoluto all'interno di un problema e distinguerlo da quelli composti o relativi. Ma ciò non basta. Descartes invita, fin dalle prime *Regulae*, a non tralasciare un precetto supplementare, definito con il termine *inductio*, il cui impiego all'interno della riflessione epistemologica e scientifica cartesiana non è stato oggetto di particolari approfondimenti da parte dei commentatori: adombrata infatti dal motivo di una «filosofia vera» che

¹ *Regula III*, A. T., X, p. 366.

² J.-L. Marion, *Sur l'Ontologie grise*, cit., pp. 160-161.

³ Nella tradizione aristotelica, l'induzione rovescia infatti la subordinazione logica fra ordine delle cose e ordine del conoscere, la primarietà dei principi nell'ordine dell'essere rispetto a ciò che è primo e meglio conosciuto al senso: «chiamo "anteriori e più note rispetto a noi" le cose che sono più vicine alla sensazione, "anteriori e più note in senso assoluto" quelle che ne sono più distanti; e distanti al massimo grado sono le cose massimamente universali, vicine al massimo grado le cose individuali; e queste si oppongono tra loro». *An. Post.*, I, 2, 71b, 20-30, 72a-5.

impone la certezza dei suoi fondamenti sull'autorità della tradizione e sulle procedure della logica classica, la fecondità dell'induzione per la scienza cartesiana, così originale nelle *Regulæ*, in virtù della sostituzione di una teoria della classe alla logica dell'universale e all'empirismo del 1600, è stata sovente interpretata alla luce della versione contratta che ne fa il *Discours* e letta come semplice strumento della revisione e del controllo dei passaggi all'interno del ragionamento.

D'altra parte, una codificazione sistematica del lessico dell'inferenza non emerge in nessuno degli scritti cartesiani. Le *Regulæ ad directionem ingenii*, esemplari di un progetto di riforma del sapere modellato sulle istanze dell'ordine e della misura, non distinguono il lessico dell'inferenza e della dimostrazione all'interno delle classiche divisioni della logica: fin dai primi tentativi di elaborazione metodica, Descartes si dichiara anzi critico verso le dispute dei dotti, intollerante nei confronti della logica tradizionale, estraneo allo sperimentalismo delle filosofie naturali a lui contemporanee. La definizione del nuovo lessico della deduzione e dell'induzione guarda semmai, nelle *Regulæ*, alla formazione di un sapere pratico, orientato dai criteri metodici dell'ordine, che mette alla prova la chiarezza e la precisione del latino nelle diverse applicazioni della *deductio* (*illatio, inferre, inductio, enumeratio*). L'*inductio* cartesiana abbandona così le sedimentazioni concettuali della Scolastica; Descartes non la inserisce all'interno di una nuova *logica*, iscrivendola al contrario in una nomenclatura rinnovata della dimostrazione scientifica che traduce le istanze dell'ordine nei procedimenti della scoperta scientifica e mobilita il lessico dell'induzione e della comparazione per conseguire una visibilità più chiara e più solida degli oggetti presi in esame: si pensi alla traduzione dei colori in grandezze comparabili fra loro nella *Regula XII*, alla nozione chiara e distinta di corpo nella *Regula VII*, che esclude dalla propria classe di appartenenza l'anima razionale, alla dottrina della luce, ricostruita per induzione sufficiente nel *Traité de la Lumière* a partire dal confronto con gli altri fenomeni che costituiscono la trama

dell'universo materiale o presentata, nella *Dioptrique*, attraverso la comparazione con altre grandezze eterogenee (il movimento di un bastone, la traiettoria di una palla, la pressione dell'uva all'interno di un tino). Insomma, il termine *inductio*, definito nelle *Regulae* in rapporto alle altre funzioni principali della conoscenza (*intuitus*, *deductio*, *illatio*, *enumeratio*) e mai più ripreso nei testi cartesiani di scienza fino al 1637, sebbene, come vedremo, perfettamente operativo in essi, enuncia le condizioni di una nuova configurazione dell'ordine, implicando una riflessione terminologica che si tramuta immediatamente in problema metodologico a seconda dei campi del sapere e degli oggetti investigati. Per questo, una ricognizione delle principali declinazioni del termine *deductio*, di cui l'*inductio* rappresenta nelle *Regulae* l'ausilio e il completamento più importante, è fondamentale per stabilire il nuovo ruolo che l'induzione assume nelle diverse applicazioni dell'ordine.

L'*inductio* si affianca nelle *Regulae* ad almeno altre quattro nozioni: *intuitus*, *deductio*, *illatio*, *enumeratio*. La prima ricorrenza dell'*inductio* si ha nella *Regula III* dell'edizione Adam & Tannery la quale, seguendo l'edizione delle *Regulae* di Amsterdam del 1701⁴ e quella di Hanovre⁵ la affianca al termine *intuitus*: «*intuitus scilicet & inductio*»⁶. Rari sono gli altri casi in cui l'induzione si trova in una posizione autonoma nel testo, ovvero disgiunta dal suo complemento principale, l'*enumeratio*⁷, che la *Regula VII* le assegna al fine di disporre tutti i dati che entreranno a far parte della catena deduttiva.

Alcuni traduttori (Cousin, Hamelin, Leroy, Crapulli, Lojacono, Haldane-Ross fra i principali), leggono l'*inductio* della *Regula III* come un equivalente della *deductio*. La sostituzione si giustifica alla luce della distinzione cartesiana fra i due strumenti della conoscenza

⁴ Cfr. R. Descartes, *Opuscola posthuma, physica & mathematica*, apud Jassonio-Waesbergios, Boom, & Goethals Amstelodami, 1701. Questa è la fonte che Ch. Adam tiene maggiormente in considerazione: A. T., X, p. 357.

⁵ Ovvero la copia manoscritta di Leibniz del 1670, pubblicata da L. A. Foucher de Careil in *Œuvres inédites de Descartes*, 2 vol., Paris, A. Durand, 1859-1860.

⁶ *Regulae III*, A. T., X, p. 368.

⁷ *Regulae, VII*, A. T., X, p. 388-390; *Regulae XI*, pp. 407-408.

che vengono presentati per primi nel testo: intuizione e deduzione. Marion, accostandosi a Rodis-Lewis, interpreta invece la conversione della *deductio* in *inductio* nella *Regula III* come il segno del riassorbimento dei casi deduttivi più semplici nell'intuizione⁸.

Tuttavia, se si accetta la reversibilità di *inductio* e *deductio* nella *Regula III*, occorre assumere l'equivalenza di questi due termini anche ad un altro, l'*illatio* (*deductio sive illativo pura unius ab altero*), che interviene nella medesima *Regula* tramite il verbo *inferre*⁹, allorché si tratti di ricomporre la catena deduttiva nella presenza istantanea dell'intuizione¹⁰. Nelle prime *Regulae* Descartes sembra insomma utilizzare indifferentemente i termini *deductio* e *inductio* accentuandone l'analogia con quel tipo particolare di inferenza, l'*illatio*, che permette di ridurre, nei casi deduttivi più semplici, la *deductio* all'*intuitus*.

La deduzione, in senso proprio, presuppone nondimeno una concatenazione dei dati che si sviluppa, a partire dalla *Regula III*, nelle immagini della *connexio*, del *motus sive successio*, della *longa catena* o della *deductio per longum consequentiarum contextum*¹¹. La deduzione è paragonata ad un *supplemento* della visione intellettuale («hic alium adjunximus conoscendi modum, qui fit per deductionem»): «è stato necessario procedere in tal modo – afferma Descartes – perché moltissime cose, sebbene non siano evidenti in se stesse, si conoscono con certezza solo se sono dedotte da principi veri e noti mediante uno sviluppo continuo e ininterrotto del pensiero che intuisce con trasparenza le singole cose»¹².

⁸ J.-L. Marion, *Règles*, cit., pp. 118-119 : «en conséquence, nous suivrons la leçon *inductio*, attestée par *A* [cfr. l'edizione di Amsterdam, cit.] et *H* [cfr. l'edizione di Hanovre, cit.] suivie par A. T. maintenue par certains critiques (dont G. Rodis Lewis, *L'Œuvre de Descartes*, 2. vol., Vrin, Paris, 1971 [1], p. 502 n. 57 et surtout p. 171, qui conclut "Descartes semble avoir usé indifféremment des termes *deductio* [...] ou parfois induction, en accentuant l'analogie avec l'inférence, ou *illatio*, qui marque étymologiquement que l'esprit se porte sur telle conclusion"».

⁹ Vedi A. T., X, pp. 389, 18; 407, 20; 431, 7; 460, 11.

¹⁰ Vedi A. T., X, pp. 366, 12-13; 369, 18-20; 370, 12-13; 372, 11-14; 400, 22-23; 425, 11-12.

¹¹ *Regulae III, VII*, A. T., X, pp. 370, 387.

¹² *Regulae III*, A. T., X, pp. 368-369.

La *Regula IX* iscrive la deduzione nel perfezionamento dell'*ingenium* attraverso una specifica riduzione della complessità che collega i termini più lontani del ragionamento (*magis remotam*) con i principi primi (*a primis absolutis principijs*): «coloro che veramente sanno distinguono (*dignoscere*) con eguale facilità la verità, sia che l'abbiano ricavata da un oggetto semplice che da uno oscuro; essi, infatti, dopo esservi pervenuti una volta, con un medesimo atto, unico e distinto (*unico et distinto actu*), comprendono ogni verità, ma tutta la differenza sta nella via, che deve essere certamente più lunga, se condurrà ad una verità più lontana dai primi e più assoluti principi»¹³. La pratica dell'*ingenium* amplia così il lume naturale, inserendolo in un nesso ordinato di relazioni.

Nella *Regula VII* Descartes parla tuttavia di una serie disgiunta (*disjunctis*) di proposizioni che è compito della deduzione tradurre in un'«intuizione prolungata»:

Qualora invece da molte e disgiunte (proposizioni) inferiamo qualcosa di unico, spesso la capacità del nostro intelletto non è così grande da poterle comprendere tutte con un solo intuito; nel qual caso deve essergli sufficiente la certezza di questa operazione. Allo stesso modo, non possiamo distinguere con un solo sguardo tutti gli anelli di una catena piuttosto lunga; non di meno, se avremo visto la connessione di ciascun anello col più vicino, ciò sarà sufficiente perché possiamo dire anche di aver visto in qual modo l'ultimo anello si congiunge col primo¹⁴.

Ed proprio nella subordinazione delle nozioni più complesse a quelle più semplici che la deduzione chiede all'*inductio* di realizzare le condizioni di una certezza prolungata: l'induzione è infatti lo strumento che rende effettiva e duratura l'unica *experientia vera* dell'intelletto, ovvero la visibilità totale e immediata di tutti i dati che andranno sistemati nella catena deduttiva: «per questo motivo li passerò in rassegna tante volte con una specie di movimento continuo

¹³ *Regulae IX*, A. T., X, p. 401.

¹⁴ *Regulae VII*, A. T., X, p. 389.

del pensiero che intuisce le cose una per volta e nel contempo si trasferisce alle altre (*motu singola intuentis & ad alia transeuntis aliquoties percurram*)¹⁵. In questo caso, l'induzione non si trova più in posizione autonoma, bensì legata ad un tipo di inferenza, ad essa complementare – l'*enumeratio* – che, nella seconda parte delle *Regulae*, ne definisce lo statuto.

Il termine *enumeratio*, *enumerare* compare 32 volte nelle *Regulae*¹⁶ e costituisce una variante dell'*inductio* che blocca i momenti della deduzione in un'«intuizione prolungata» (*si autem ex multis & disjunctis unum quid inferamus*)¹⁷. Induzione ed enumerazione sono «la ricerca di tutto ciò che si riferisce ad un dato argomento, così diligente e accurata, che da essa si può concludere con certezza ed evidenza che non abbiamo omissso nulla per qualche svista»¹⁸. L'enumerazione interviene all'inizio del processo deduttivo, rinvenendone i dati essenziali, o ne chiude il concatenamento grazie alla revisione dei passaggi:

Enumerazione o induzione è dunque qui la ricerca di tutto ciò che si riferisce ad un dato argomento, così diligente e accurata, che da essa si può concludere con certezza ed evidenza che non abbiamo omissso nulla per qualche svista: in modo che tutte le volte che ce ne siamo serviti, anche se la cosa ricercata ci sfugge, per lo meno in questo saremo più dotti, che sapremo senza esitazione di sorta che quella non si può scoprire per alcuna via a noi nota; se poi, per caso, come spesso accade, abbiamo potuto percorrere tutte le vie che verso di essa sono aperte agli uomini, potremo affermare senza esitazioni che la sua conoscenza è posta al di sopra di ogni capacità dell'ingegno umano¹⁹.

¹⁵ *Regulae VII*, A. T., X, p. 388.

¹⁶ Si veda la ricerca lessicale di J.-R. Armogathe, J.-L. Marion, *Index des Regulae ad directionem ingenii de René Descartes*, Lessico, Intellettuale Europeo X, Corpus Cartesianum I, Edizioni dell'Ateneo, Roma, 1976, p. 36.

¹⁷ *Regulae VII*, A. T., X, p. 389.

¹⁸ *Regulae VII*, A. T., X, pp. 388-389.

¹⁹ *Regulae VII*, A. T., X, pp. 388-389. Analogamente, la *Regula IV* del *Discours* prescrive «de faire partout des dénombrements si entiers & des reveués si generales, que je fusse assuré de ne rien omettre». *Discours*, II, A. T., VI, p. 19.

Ad un insieme di dati considerati isolatamente (*separatim*)²⁰, (*naturas solitarias*)²¹, l'induzione cartesiana sostituisce il loro ordinamento: «ho aggiunto anche che l'enumerazione deve esser ordinata [...]. Se le disponiamo tutte nell'ordine migliore in modo che siano ridotte il più possibile in classi determinate, sarà sufficiente vedere con esattezza una sola di queste o qualcosa di ciascuna o alcune piuttosto che altre o, per lo meno, non percorreremo mai niente due volte inutilmente»²². Enumerazione e revisione completa dei passaggi prendono rispettivamente posto all'inizio dell'inchiesta metodica, nella forma di una raccolta preliminare dei dati del problema, o nella visione finale ed integrata di tutte le connessioni.

Pur non essendo ciò che dà il via al processo conoscitivo, sarebbe riduttivo limitare la portata dell'enumerazione a mero operatore di controllo della catena deduttiva; piuttosto, essa ha il compito di completare la scienza – «ad scientiae complementum» – afferma la *Regula VII*²³, poiché impedisce che si verifichino interruzioni nel processo conoscitivo, venendo così in soccorso alla memoria²⁴. Se il *motus cogitationis* è troppo esteso, il rischio di dimenticare o saltare un passaggio invaliderebbe l'intera serie delle conoscenze²⁵: «se le singole cose che si riferiscono all'argomento dovessero esser esaminate una per una – in molti casi, dichiara Descartes – non sarebbe sufficiente la vita di un uomo, o perché sono troppo numerose, o perché le medesime cose si presenterebbero da

²⁰ *Regula VII*, A. T., X, p. 391.

²¹ *Regulae VI*, A. T., X, p. 381.

²² *Regulae VII*, A. T., X, pp. 390-391. Cfr. A. Robinet, *Aux sources de l'esprit cartésienne*, cit., p. 260 : «le concept de classe entre sous le concept d'ordre auquel il évite la dispersion (*separatim*, A. T., p. 391) qui résulterait de l'examen d'un nombre trop élevé de choses relatives a la question [...]. Dans chaque classe, «il suffit» d'examiner une seule chose avec exactitude, ou d'examiner quelque caractère présent en chacune de ces choses, ou d'examiner les unes plutôt que les autres, pour éviter toute opération redoublée et inutile. Cet ordre optimal et suffisant possède d'autres caractères que ceux qui sont conférés a l'ordre absolu il peut varier selon les ensembles ; il dépend dans sa stabilisation en classes de la volonté de chacun».

²³ *Regulae VII*, A. T., X, p. 388.

²⁴ *Ibid.*, p. 388.

²⁵ *Ibid.*, p. 388.

ricercarsi più volte»²⁶. Per questo occorre disporre tutti i dati «nell'ordine migliore in modo che siano ridotti a classi determinate»²⁷.

In altre parole, la metodicità dell'enumerazione consiste nel recensire e distinguere i diversi termini della serie al fine di ricondurli tutti alle classi²⁸ corrispondenti e di consentire il riconoscimento della classe alla quale appartiene il dato che si incontra di volta in volta. Laddove infatti la deduzione collega le evidenze discrete secondo rapporti di filiazione che vanno dal semplice al complesso, l'induzione ne ordina la continuità, contraendo e concentrando in classi ordinate tutti i dati rilevanti di un problema: il ricorso alla nozione di classe veicola così la *praesens evidentia* degli elementi semplici, convocati dall'intuizione, secondo un ordine che «dipende dal giudizio di ciascuno»²⁹, ovvero dalla pura efficacia del metodo. Ciò spiega l'assimilazione da parte di Descartes dell'enumerazione all'induzione, ovvero ad un'operazione che muove dal particolare al generale, da un'idea determinata alla classe di appartenenza.

L'enumerazione deve essere inoltre ordinata e sufficiente. Nel primo caso, le cose conosciute devono appartenere ad uno stesso ordine; nel secondo caso, occorre che l'enumerazione sia sufficiente in

²⁶ *Ibid.*, p. 391.

²⁷ *Ibid.*, p. 391.

²⁸ «Si omnia illa optimo ordine disponamus, ut plurimum ad certas classes reducuntur, ex quibus vel unicam exacte videre sufficiet». *Regulae VII*, A. T., X, p. 391. La metodicità dell'enumerazione consiste nel riportare a classi di equivalenze i gradi di cui una serie è composta, così da inserire e riconoscere subito ogni nuovo dato che si incontra. Cfr. J. Brunshwig, *Descartes, l'Œuvre*, F. Alquié (ed.), cit., p. 110. Un'ulteriore riflessione sullo statuto del concetto di classe nel lessico scientifico cartesiano è offerta dal recente studio di M. Spallanzani *L'Arbre et le Labyrinthe*, cit., p. 22.

²⁹ È quanto avviene, ad esempio, nella trasposizione delle lettere che, nella *Regula VII*, risolvono l'anagramma: «talem ordinem ad transpositiones litterarum examinandas». A. T., X, p. 391. Nella risoluzione di un anagramma – continua Descartes – possiamo persino tralasciare l'applicazione delle prime *Regulae*: «sic si optimum anagramma conficere velis ex litterarum alicujus nominis transitione, non opus est a facilioribus ad difficiliora transire, nec absoluta à respectivis distinguere, neque en ista hinc habent locum; sed sufficiet, talem tibi proponere ordinem ad transpositiones litterarum examinandas, ut nunquam bis eadem percurrantur, & sit illarum numerus, ex. gr., in certas classes ita distributus, vt statim appareat, in quibusnam major sit spes inveniendi quod quaeritur». *Ibid.*, p. 391.

ampiezza, vale a dire fondata su un numero di conoscenze sufficientemente elevato per poter essere esente dagli errori a cui condurrebbe una classificazione incompleta³⁰.

L'enumerazione ordinata («addidi etiam enumerationem debere esse ordinatam») è il punto di intersezione fra l'atto intuitivo e la deduzione che «implica un certo movimento del nostro ingegno e che inferisce una cosa da un'altra; [...] le abbiamo dato allora il nome di enumerazione o di induzione, perché in tal caso non può essere compresa dall'intelletto tutta insieme (*non tota simul fieri videtur*)»³¹. Ma se applichiamo il nostro intelletto correttamente, «il problema di esaminare tutte le verità alla cui cognizione sia sufficiente la ragione umana sarà adattato all'enumerazione di tutte le vie che si aprano agli uomini verso la verità, per seguire quella certa. Esse non sono infatti tanto numerose che non le possa trovare facilmente tutte e mediante una enumerazione sufficiente [...] a condizione però che vi applichi la mente come si deve» («enuberabit quaecumque alia habemus instrumenta cognoscendi praeter intellectum»)»³².

L'*enumeratio sufficiens* esprime così l'ordinamento dei problemi nelle classi che andranno offerte alla deduzione, o l'enumerazione delle grandezze sufficienti a spiegare la proprietà cercata³³. La riduzione alla classe di qualsivoglia oggetto fisico, geometrico o matematico può esser dunque tripartita in:

³⁰ *Regula VI*, A. T., X, p. 384.

³¹ *Regulae XI*, A. T., X, p. 407.

³² *Regulae VIII*, A. T., X, pp. 395-396.

³³ Si veda lo studio di M. Spallanzani, *L'Arbre et le Labyrinthe*, Vrin, Paris, 2007, p. 22: «l'induction cartésienne devient ainsi l'acte intellectuel qui contracte la multiplicité des choses dans les classes certaines d'équivalence épistémique, une procédure de distinction et d'agrégation des objets séparés qui les réunit dans l'unité collective d'un relation: bref, la méthode qui permet de penser le multiple sous la forme d'un ensemble ordonné défini par une règle, et l'opération réflexive qui redéfinit à la raison attentive la clarté et la distinction de la chaîne. Descartes l'affirmera dans la dernière règle de la méthode, lorsqu'il prescrit *de faire partout des dénombrements si entiers, & des reveués si generales, que je fusse assuré de ne rien omettre*».

- a) un'enumerazione ordinata che esaurisce la serie completa delle divisioni tra tutti i dati rilevanti di un problema
- b) un'enumerazione sufficiente che protegge l'ordine dall'eventuale omissione di ciò che può risultare essenziale per l'esclusione o l'inclusione di un dato elemento in un gruppo o una classe
- c) un'ulteriore applicazione dell'enumerazione agli elementi necessari per cogliere una proprietà generale rispetto ai singoli casi esaminati. Tale è il principio matematico che contrae il movimento induttivo nella connessione fra una proprietà generale e le figure corrispondenti³⁴.

La necessità della divisione enumerativa di un problema negli elementi più semplici sarà ripresa dalla *Regula XIII*: «se vogliamo comprendere perfettamente una questione, occorre separarla da ogni concetto superfluo, riportarla ad una più semplice possibile e dividerla, mediante l'enumerazione, in parti le più piccole possibili (*in quam minimas partes cum enumeratione dividenda*)»³⁵. Le *Regulae* anticipano in questo senso il precetto della quarta regola del *Discours* «di procedere ad enumerazioni così complete e a rassegne tanto generali da essere certo di non aver ommesso nulla»³⁶.

Tale richiamo, nel *Discours*, ai gradi di completezza e visibilità del ragionamento offerti dal «dénombrément» e dalle «revues si générales» non è sfuggito a Gilson che, nel suo *Commentaire*, traccia un parallelismo fra il latino delle *Regulae* e la versione francese

³⁴ Si veda la *Regula VII* (A. T., X, p. 390) per gli esempi corrispondenti a questa tripartizione su cui ci soffermeremo nella prossima sezione.

³⁵ *Regulae XIII*, A. T., X, p. 430.

³⁶ «Faire partout des dénombrement si entiers, et des revues si générales, que je fusse assuré de ne rien omettre». *Discours*, II, A. T., VI, p. 19.

dell'*enumeratio*³⁷. Secondo Gilson, Il *dénombrément entier* e le *revues générales* del *Discours* si impongono, non diversamente dalle *Regulæ*, come termini medii fra le questioni complesse e gli elementi intuitivi più semplici che l'enumerazione ordinata consegna alla ragione. L'approccio cartesiano alla scienza non cambia: nel *Discours*, così come nelle *Regulæ*, si tratta di riportare l'oscuro e il confuso all'evidenza del lume naturale tramite la raccolta ordinata dei dati del problema, o tramite il confronto (*comparaison*) fra una quantità data ed una ancora da scoprire subordinando parametri fisici, matematici o di altra natura all'ordine deduttivo della catena delle conoscenze.

Inoltre, le aggiunte esplicative al termine *partout* poste dalla traduzione latina al precetto dell'enumerazione nel *Discours* (1644)³⁸ non farebbero che confermare, secondo Gilson, la vicinanza del *dénombrément* cartesiano ai precetti della divisione completa e dell'ordine esposti originariamente nelle *Regulæ*. La versione latina del *Discours* aggiunge infatti la seguente espressione al precetto: «tum

³⁷ Si veda il commento di É. Gilson, *Discours de la méthode: Texte et commentaire*, Vrin, Paris, 1930, pp. 210-214.

³⁸ *Discours*, II, A. T., VI, p. 19: «*faire partout des dénombrement si entiers, et des revues si générales*». *Dissertatio*, II, A. T. VI, p. 550: «*ac postremum, ut tum in quaerendis mediis, tum in difficultatum partibus percurrendis, tam perfectè singula enumerarem et ad omnia circumspicerem, ut nihil à me omitti essem certus*». Non è questo il luogo per un'esposizione comparata del lessico delle *Regulæ* con quello del *Discours* e della sua edizione latina, gli *Specimena Philosophie*, compiuta nel 1644 da E. de Courcelles. Per alcuni riferimenti storici in proposito si veda Th. Verbeek, *Descartes and the Dutch*, cit., p. 50; M. Van Otegem, *A Bibliography of the Works of Descartes*, (1637-1704), Zenon, Utrecht, 2002, pp. 36-37; J-L. Marion, *Descartes aujourd'hui*, in «*Problématique et réception du Discours de la Méthode et des Essais*», H. Méchoulan (ed.), Vrin, Paris, 1988, pp. 4-21. Ricordiamo soltanto che Gilson confronta alcuni passi delle *Règle* con le versioni francese e latina del *Discours*, si da notare talune analogie lessicali, rivelatrici, a suo avviso, della prossimità, se non addirittura dell'identità fra i concetti di analisi, ordine (completo/sufficiente) ed enumerazione, che il *Discours* aveva distinto da un punto di vista puramente espositivo. Nelle parole di Gilson, il termine *partout* della versione francese del *Discours*, II, A. T., t. 6, p. 19, sta sia per «l'application du deuxième précepte (division des difficultés) – che per quella del – troisième précepte (les parcourir par ordre. C'est ce qu'indique la traduction latine en remplaçant *partout* par la glose suivante: *tum in quaerendis mediis, tum in difficultatum partibus percurrendis*». *Discours. Texte et commentaire*, cit., p. 210. L'accostamento dell'aggiunta latina *tum in quaerendis mediis* al problema della divisione in parti semplici è ripreso anche da L. J. Beck, *The method of Descartes*, cit., note 1-2, p. 131 e da B. Gibson, *The Regulae of Descartes*, in «*Mind*», n.s., 7, 1889, pp. 342-343.

in difficultatum partibus percurrendis, tam perfectè singula enumerarem et ad omnia circumspicere»³⁹. La vicinanza concettuale del «tum in difficultatum partibus percurrendis» al senso dell'enumerazione esposto nella *Regula VII*⁴⁰ e la sicurezza che Descartes avesse rivisto personalmente la copia del traduttore⁴¹, hanno rappresentato la garanzia, per buona parte degli interpreti del *Discours*, dell'aderenza della frase latina al senso dell'*enumeratio* esposto nelle *Regulae*⁴².

D'altra parte, se il termine enumerazione ritorna nel *Discours*, pur negli accenti più generali del precetto del *dénombrément* e nello stile più fluido della prosa francese⁴³, l'elaborazione metodica cartesiana degli anni '30 presenta pochi riferimenti del termine *inductio*. Il *Discours* non lo nomina neppure, sostituendolo al *dénombrément* e alle *revues générales* del quarto precetto; la corrispondenza di Descartes degli anni '30 e '40 gli riserva qualche occorrenza: si pensi al «chercher par induction» riferito, nella lettera a Mersenne del 27 luglio 1638, a quei casi in cui «le questioni concernenti i numeri non possono essere determinate in modo

³⁹ *Dissertatio*, II, A. T., VI, p. 550.

⁴⁰ «Ut ex illa certo evidentèrque concludamus nihil a nobis perperam fuisse praetermissum». *Regula VII*, A. T., X, p. 389.

⁴¹ Il grado di coinvolgimento di Descartes nella traduzione del *Discours* è difficile da accertare, non essendovi, né nella corrispondenza, né nei testi ufficiali, indicazioni sufficienti circa il ruolo e gli interventi svolti dall'autore rispetto alla traduzione. Su questo tema si veda M. Van Otegem, *A Bibliography of the Works of Descartes*, (1637-1704), cit., pp. 34-37.

⁴² Si vedano le interpretazioni di B. Gibson (*The Regulae of Descartes*, cit., p. 343) e L. J. Beck (*The method of Descartes*, cit., p. 130), che afferma: «enumeration is a preparatory marking-out of the field of knowledge [...]. Somewhat similar to what Aristotle calls ἐκθεσις, the setting-out of the terms in an argument so as to make clear to the mind a particular instance of the class denoted by the middle term».

⁴³ Sullo stile del francese del *Discours* si veda P.-A. Cahné, *Un autre Descartes. Le philosophe et son langage*, Vrin, Paris, 1980. Sullo statuto ambivalente della lingua latina nel passaggio al mondo moderno, di cui il passaggio dalle *Regulae* cartesiane alle scelte stilistiche del *Discours* sono l'emblema, si vedano i contributi di T. Gregory, *Scetticismo e empirismo. Studio su Gassendi*, Laterza, Bari, 1961; *Sul lessico filosofico latino del Seicento e del Settecento*, in «Lexicon philosophicum. Quaderni di terminologia filosofica e storia delle idee», 5, 1991; M. Spallanzani, *Les mots et les sens. La première traduction du Discours de la Méthode* (prossima pubblicazione).

completo dalle regole»⁴⁴, o alla lettera del 1641, in cui Descartes indica come sbagliata l'induzione compiuta da uno dei corrispondenti di Mersenne⁴⁵, intento a confutare la dimostrazione cartesiana *a priori* dell'esistenza di Dio a partire dalla nozione di perfezione⁴⁶.

Saldato ai criteri dell'ordine, della sufficienza e della continuità, il ruolo dell'induzione e dell'enumerazione rimane tuttavia invariato dalle *Regulæ* fino al *Discours*: laddove la *Regula V*, resa nel *Discours* dai due precetti dell'analisi e dell'ordine, ci aiuta a scomporre (*resolvere*) un problema, sì che esso diventi oggetto di intuizione (*intuitus*) o di deduzione (*deductio*), l'enumerazione consegna alla mente un ulteriore grado di certezza che deriva dalla visione simultanea del dato particolare e della catena in cui è inserito (*omnia et singula*, nei termini della *Regula VII*). Ma non basta: attraverso il modello seriale, disposto nella *Regula VI* a partire dall'«*artis secretum*» della proporzione universale fra tutte le grandezze suscettibili di ordine e misura, la teoria dell'*inductio sive enumeratio* permette di pensare l'ordine delle ragioni realizzandolo nelle applicazioni della scienza (*Regulæ VIII-XIV*). L'induzione non esprime, di per sé, la regola della divisione (secondo precetto del *Discours*), né è sinonimo dell'ordine (terzo precetto), ma rivela le condizioni di possibilità di entrambi, quando dal «*motu cogitationis continuo*» della *deductio* essa giunge a «completare la scienza» costruendone gli oggetti come oggetti del sapere. Lo si vedrà nei casi della distinzione fra anima razionale e cose corporee nella *Regula VII*, nella riduzione dei colori a grandezze estese e nella comparazione fra grandezze delle *Regulæ XII* e *XIV*. Ancora, nello studio dell'anaclastica (*Regula VIII*) e, infine, negli esempi della pratica scientifica cartesiana degli anni '30 connessi all'elaborazione induttiva

⁴⁴ Descartes a Mersenne, 27 luglio, 1638, A. T., II, p. 254.

⁴⁵ Si veda al proposito X*** a Mersenne per Descartes, 19 maggio, 1641, A. T., III, p. 377.

⁴⁶ «Mais par quelle induction a-t-il pu tirer de mes écrits que l'idée de Dieu se doit exprimer par cette proposition Dieu existe, pour conclure, comme il a fait, que la principale raison don't je me sers pour prouver son existence, n'est rien autre chose qu'une pétition de principe?». Descartes a Mersenne, luglio 1641, A. T., III, p. 395.

di una teoria della materia nel *Traité de la Lumière* e allo studio della luce della *Dioptrique* e delle *Météores*.

II) *Ordo rerum enumerandum*. Critica al sillogismo, alla dialettica e all'empirismo

Ausilio dell'analisi – come suggerisce Gilson¹ – nella riduzione ordinata di un problema agli elementi più semplici, o strumento per la classificazione dei dati che entreranno nella concatenazione deduttiva, l'*inductio sive enumeratio* cartesiana propone una radicale rottura rispetto al sillogismo induttivo della tradizione aristotelica, alla dialettica ramista e all'empirismo baconiano. Nelle *Regulæ*, la critica alla logica non occupa molto spazio: Descartes non è interessato a intrattenere un dibattito con le diverse modalità della logica del suo tempo quanto, piuttosto, a mettere alla prova il modello seriale e induttivo proposto dalle *Regulæ* tramite esempi concreti. Il metodo di Descartes non si configura in alcun modo come un *corpus* di leggi formali, né si presenta come un repertorio di prescrizioni fondate sull'«arte»² della logica come scienza categorica e normativa.

La circolarità della forma dimostrativa classica è d'altra parte messa esplicitamente sotto accusa³. Ciò che viene obiettato alla logica non sono i suoi criteri interni di coerenza, quanto la pretesa di regolare

¹ É. Gilson (ed.), *Discours de la méthode. Texte et commentaire*, cit., pp. 210-213.

² É. Gilson evoca al riguardo l'interpretazione tomista della logica aristotelica: «ars logica, id est scientia rationalis». *Comment. in Anal. Post.*, I, lect. I, in *Discours de la méthode. Texte et commentaire*, cit., p. 183. «La logique est un art – afferma Gilson – en tant qu'elle a pour fin de rendre possible la constitution des sciences; elle est une science en tant que, prise en elle-même, elle suit ses propres règles et peut être étudiée dans ses propres lois». *Ibid.*, p. 183.

³ «Nullum posse Dialecticos syllogismum arte formare, qui verum concludat, nisi prius ejusdem materiam habuerint, id est, nisi eandem veritatem, quae in illo deducitur, jam antè cognoverint». *Regulae X*, A. T., X, p. 406. Secondo Sirven, la relazione fra le verità scientifiche riflette una capacità di scoperta e di composizione fra i termini che permette a Descartes «de détrôner le syllogisme de la place qu'il occupe en logique comme seule inférence concluant *vi formae* –. La deduzione è una serie strettamente connessa di intuizioni; il metodo – consiste essenzialmente a perfectionner le puvour que nous avons de considérer les choses dans une vision simultanée». *Les années d'apprentissage de Descartes*, cit., pp. 386-387. In questo senso, secondo l'interpretazione di Sirven, l'inferenza cartesiana sostituisce la logica scolastica dell'*estensione* e della *denotazione* con una logica della *connotazione* basata sulle nature semplici. *Ibid.*, pp. 387-388.

il ragionamento per mezzo di modelli formali, la cui correttezza, secondo Descartes, non gioca alcun ruolo euristico nella costruzione del sapere: «le altre operazioni della mente che la Dialettica cerca poi di dirigere con l'aiuto di queste prime, nel nostro caso sono inutili – spiega la *Regula IV* – o, piuttosto, si devono comprendere tra gli ostacoli, perché al puro lume della ragione non può esser aggiunto nulla che in qualche modo non lo oscuri»⁴. E numerosi sono del resto i luoghi dell'opera e della corrispondenza cartesiana dove viene espresso il rifiuto del filosofo nei confronti del sapere tradizionale: Descartes è anzitutto avverso all'insegnamento ricevuto in giovinezza presso il collegio di la Flèche; le prime due parti del *Discours* ne offrono ampia testimonianza, sottolineando il ruolo meramente retorico della sillogistica, utile certo ad esercitare le giovani menti, ma sterile verso l'acquisizione di un nuovo sapere⁵.

La rottura della circolarità sillogistica riemergerà nelle *Réponses aux Secondes Objections*, dove Descartes ribadisce a Mersenne la necessaria e reciproca implicazione tra i due singoli momenti della conoscenza del *cogito* e dell'esistenza: la loro connessione non dipende da alcuna premessa generale e non potrà essere la conclusione di alcun sillogismo; essa è piuttosto una «semplice intuizione della mente»⁶. In una lettera a Mersenne del 16 giugno 1641, Descartes afferma che la deduzione da un'idea innata di qualcosa che è già contenuto implicitamente in essa – ad esempio, dall'idea di triangolo, che i suoi tre angoli sono uguali a due retti –, lungi dal rappresentare una *petitio principii*, esprime il genere *perfecto*

⁴ *Regulae IV*, A. T., X, p. 373.

⁵ *Discours*, II, A. T., VI, p. 17.

⁶ *Réponses aux Secondes Objections*, A. T., VII, pp. 140-141. Il riconoscimento di due termini in una singola proposizione – penso, dunque sono – è radicalmente separato dalla forma aristotelica di inferenza. Si veda anche Descartes a Clerselier, 12 gennaio, 1646, A. T., IX, 205-206 e Descartes a Burman, 16 aprile, 1648, A. T., V, p. 147: «ante hanc conclusionem: cogito ergo sum, sciri potest illa major: *quicquid cogitat, est*, quia reipsâ prior est meâm conclusionem, quia scilicet ad id tantum attendo quod in me experior, ut, cogito ergo sum, non autem ita attendo ad generalem illam notionem, *quicquid cogitat, est*.; nam, ut ante monitum, non separamus illas propositiones a singularibus, sed eas in illis consideramus». La connessione immediata fra due termini, in accordo al processo deduttivo [*Regulae III, V, VI, XII, XIII*] respinge l'uso del sillogismo.

di dimostrazione («modus demonstrandi omnium perfectissimus»)⁷ là dove il richiamo al sapere tradizionale, deviando dall'uso metodico dell'induzione e della deduzione, non deve ingannare sull'innovazione attribuita da Descartes all'*inductio*: l'*enumeratio sive inductio* delle *Regulæ* e il successivo *dénombrément* esposto nel quarto precetto del *Discours* non hanno nulla a che vedere con la scelta di quei casi in cui emerge la proprietà del *medium*⁸ che connette gli estremi. Basti pensare al problema del rapporto tra universale e particolare che l'induzione tradizionale, secondo Aristotele, una volta trasferita in un campo determinato di esistenza⁹, è incapace di risolvere: l'induzione può infatti considerarsi completa, per Aristotele, solo quando si sia avuto accesso a tutti i casi del problema, eventualità rara, e, in discipline quali la fisica, pressoché inesistente¹⁰. Niente di più estraneo all'*inductio* delle *Regulæ*: per Descartes non si tratta certo di stabilire se una proposizione universale possa essere confermata da una pratica che, di norma, sulla base dell'*επαγωγή*, non conduce che a semplici

⁷ Descartes a Mersenne, 16 giugno, 1641, A. T., III, p. 383: «tantum abest ut sit petitio principii, quin potius est, etiam secundum Aristotelem, modus demonstrandi omnium perfectissimus, mempe in quo vera rei definitio habetur pro medio».

⁸ Vedi *An. Pr.*, II, 23, 68b 15-29.

⁹ Commenta J.-L. Marion : «le dénombrement aristotélicien demeurera toujours incomplet; non seulement parce que le biologiste aristotélicien sait la poursuivre, mais surtout parce que rien ne la guide dans une nomenclature hasardeuse; pure *historia*, il collectionne sans but. En mot, l'incomplétude du dénombrement découle elle-même de l'impuissance du syllogisme inductif à atteindre au *meson défini*: l'insuffisance de l'induction réside, plus qu'en l'incomplétude du dénombrement, dans le recours même au dénombrement». *Sur l'Ontologie grise*, cit., p. 102. J.-M. Le Blond aggiunge: «l'universel ne se définit pas seulement par rapport à l'ensemble des individual qui possèdent une propriété ou une nature, mais encore, surtout, par rapport à cette nature et à cette propriété considérées en elles-mêmes: (cf. *Analytiques Seconds*, I 4, 73 b 25). *Logique et méthode chez Aristote*, Vrin, Paris, 1939, p. 70.

¹⁰ *An. Pr.* I, 43b 1-11; *An. Post.*, II, 19, 100b 4-6, cit., p. 111. Sorge così la paradossale impossibilità di un'induzione perfetta, purtuttavia veicolo, negli *Analitici Secondi*, del rinvenimento dei principi: «ora, è chiaro che per noi è necessario conoscere le cose prime per induzione: ed infatti è in questo modo che la sensazione produce in noi l'universale». Del resto, l'universale non si riduce mai in Aristotele a sinonimo di generalizzazione induttiva. Anche laddove l'*επαγωγή* pervenga a completezza, l'essenza della cosa non è comunque definita: la corretta spiegazione attraverso le cause procede solo dalla natura della sostanza. È la relazione fra soggetto e predicato a realizzare la vera struttura della conoscenza come unione fra termine medio ed estremi.

generalizzazioni. L'*enumeratio sive inductio* cartesiana ignora lo scarto fra la collezione finita dei termini a cui giunge l'induzione empirica e la domanda di universalità posta dalla cornice teorica: «unica haec via, cui totam fidem debeamus adhibere», come afferma la *Regula VII*¹¹, l'*inductio* ripartisce in *classes* tutti quei casi le cui connessioni non possono essere colte dallo sguardo istantaneo dell'intelletto.

Rappresentando lo strumento per eccellenza del modello seriale delle *Regulae*, l'*enumeratio sive inductio* sostituisce la visione integrale o universale¹², tipica della sistematizzazione logica aristotelica in concetti, generi e specie, con l'esame *sufficiente* delle classi istituite dall'ordine. Come per il modello della serie, il processo enumerativo dipende dall'ordine e si riferisce non ad una predicazione ontologica o categoriale, bensì al concetto chiaro e distinto che raccoglie la molteplicità dei fenomeni nel «réseau des classes»¹³. Per tale raggruppamento non è richiesta l'adeguazione ad alcun genere

¹¹ *Regula VII*, A. T., X, p. 389.

¹² Cfr. *Met.*, Z, 13, 1039a 1-3; *An. Post.*, I, 13, 81b, 5-6; 81 b, 7-9. E. Melandri, nel § 82 del capitolo undicesimo del suo studio sull'analogia, pone tuttavia seriamente in questione la possibilità per la stessa scienza aristotelica di soddisfare le richieste di un'*induzione perfetta*: *La linea e il circolo*, Quodlibet, Macerata, 2004, p. 437. Lo iato fra universale e particolare, per cui nella scienza aristotelica può darsi al massimo sensazione come strumento specifico dell'induzione, viene risolto da Descartes grazie all'inclusione di una collezione altrimenti indefinita di proprietà nel numero strettamente ordinato di combinazioni che ne definiscono la natura. Del resto, per Descartes, una conoscenza integrale è prerogativa esclusiva dell'essere perfetto, come sottolineano le *Quatrième Réponses* ad Arnauld (A. T., VII, p. 220), o la lettera a Gibieuf del 19 gennaio 1642 (A. T., III p. 474 seg.). Alla ragione umana rimane la possibilità di una conoscenza prossima alla perfezione, (*perfectissima certitudo*, *Seconde Risposte*, A. T., VII, p. 145), raggiungibile dall'intuizione e confermata dalla veracità divina. Su questo punto si veda: J. M. Beyssade, *La philosophie première de Descartes. Le temps et la cohérence de la métaphysique*, Flammarion, Paris, 1979, p. 340.

¹³ Riprendiamo a tal proposito le considerazioni di J.-L. Marion [*Sur l'Ontologie grise*, cit., pp. 108-110], dove la concatenazione in classi è riferita alla validità del processo induttivo e alla scelta effettuata dall'ordine: «l'instauration de l'ordre construit conformément à l'évidence l'enchaînement an-ontologique de la *series*, puis en assure la suffisance par le réseau des *classes*: enchaînement et réseau que commande l'arbitraire de l'évidence [...]. L'induction perd son caractère provisoire, pour cette première raison, mais pour une autre encore parce que jamais elle ne peut se résorber dans universel, inexistant; aussi bien comme dialectique (syllogistique) que comme scientifique, l'induction devient une opération permanente, non provisoire de la science».

specifico: la classificazione di enti diversi permane nel semplice ordine epistemico del problema. Gli enti corporei – animali, vegetali, minerali – potranno essere uniti sotto la nozione di estensione al di là del riferimento di tale insieme a generi naturali e in virtù della sola non appartenenza dell'anima razionale a ciascuno di essi¹⁴. La concatenazione dipenderà da uno specifico modo di produzione dell'evidenza, garantito dall'intuizione, reso effettivo dal modello seriale e verificato dall'induzione. L'enumerazione cartesiana è sufficiente non in rapporto alla recensione degli esseri, ma rispetto alla chiarezza e distinzione delle relazioni conformi al concetto: «per enumerazione sufficiente o induzione intendiamo solamente quella dalla quale si perviene alla verità con maggior certezza che mediante ogni altro genere di prova, ad eccezione del semplice intuito (*praeter simplicem intuitum*)»¹⁵.

Non meno radicale è la distanza di Descartes dai dispositivi dimostrativi e dialettici¹⁶ della tradizione ramista¹⁷. Le *Dialecticae*

¹⁴ *Regulae VII*, A. T., X, pp. 390-391.

¹⁵ *Regulae VII*, A. T., X, p. 389.

¹⁶ La dialettica investe per Ramo diverse aree della conoscenza: dalle tecniche didattiche, espositive ai processi dimostrativi. Ramo giunge così a costruire il suo metodo ripensando la distinzione aristotelica fra argomenti che derivano da premesse plausibili o probabili (dialettica) e argomenti dedotti da premesse certe e incontrovertibili (dimostrazioni). Si veda M. Dassonville, *La genèse et les principes de la Dialectique de P. Ramus*, in *Revue de l'Université d'Ottawa*, 1953, pp. 322-355.

¹⁷ «Dialectica est ars bene disserendi, eodemque sensu logica dicta est». P. Rami, *Dialecticae libri duo, scholiis G. Tempelli Cantabrigiensis illustrati* (Cantabrigiae, 1584) p. 1. La discrepanza fra conoscenza certa e conoscenza probabile va rivisitata, secondo Ramo, alla luce dell'incontro fra processi discorsivi e processi mentali che ineriscono in egual misura al lume naturale. Nel *De inventione dialectica*, ponte tra l'Umanesimo Italiano e i riformatori Rinascimentali, l'Agricola aveva sancito tale passaggio: «Estque nobis vel maxime omnibus e rebus verarum differentiarum penuria: ideoque putant nonnulli, non cognosci ullius a nobis rei propriam veramque differentiam: habere autem nos, quod fere in reliquis rebus facere solemus, pro vera quae proxime verae videtur accedere». *Rodolphi Agricolae de Inventione dialectica libri omnes integri et recogniti iuxta autographi, nuper D. Alardi Aemstelredami opera in lucem educti fidei, atque doctissimis scholis illustrati, Johannis Phrissemij, Alardi Aemstelredami, Reinardi Hadamarij. Quorum scholia exactissimo iudicio contulit ac compressit Joannes Novimagus*, Colonia, 1518, I, c. 5, p. 38. Del resto, afferma Robinet, «on en arrivait, au moment où Descartes lance sa Règle I, à la plus complète indétermination sur le places respectives de l'art et de la science dans la définition de la logique». *Aux sources de l'esprit cartésien*, cit., pp. 102-103. Per la

instituitiones di Pietro Ramo (1543)¹⁸ avevano indubbiamente aperto l'impianto conoscitivo aristotelico a nuove metodiche di sistemazione didattica e logico-scientifica. La dialettica sostiene tutte le operazioni naturali della ragione; il luogo dell'invenzione corrisponde alla classificazione naturale che assegna ordine all'esperienza e forma proposizioni, disponendole in sillogismi ed unità di discorso: una disposizione che mette in luce i collegamenti in cui gli oggetti sono presi in esame, accantonando il carattere astratto della distinzione aristotelica tra generi e specie¹⁹. Ciononostante, la riforma del sapere tradizionale da parte del ramismo appare del tutto insufficiente agli occhi di Descartes. Il ruolo della dialettica non può che esser ridotto ad una mera interferenza nella conduzione corretta del ragionamento. La costruzione induttiva delle nozioni passibili di intuizione intellettuale²⁰ non necessita infatti di alcuna regola formale poiché la

ricostruzione storica della dialettica e della logica fra 1500 e 1600 si vedano, fra gli altri, i lavori di C. Vasoli, *La dialettica e la retorica dell'Umanesimo*, Milano, 1968; W. Risse, *Die Logik ner Neuzeit, Band I*, Stuttgart, 1964; L. Jardine, *Humanism and Teaching of Logic*, in N. Kretzman, A. Kenny and J. Pinborg, *The Cambridge History of Later Medieval Philosophy*, Cambridge, 1982.

¹⁸ Prima ancora di essere un'arte, la dialettica è un'operazione naturale della mente: «Naturalis autem dialectica, id est, ingenium, ratio, mens, imago parentis omnium rerum Dei [...] hominis propria est, cum coque nascitur». *Dialecticae institutiones*, Paris, 1543, f. 6r. La dialettica ramista, imperniata sul concetto di metodo, acquista influenza, tra il 1580 e 1620, soprattutto in Germania, Inghilterra e nelle Regioni del Reno e dell'Olanda con Enrico Alsted e il suo tentativo di riorganizzazione enciclopedica del sapere [*Encyclopedia*, Herbornae, 1630], Giovanni Piscator e l'analisi della Sacra Scrittura, Andrea Libavius per gli studi fisici e chimici, Comenio negli studi pedagogici, Filippo Melantone per l'ordinamento più generale della cultura protestante. Sulla cultura ramista e i suoi risvolti nella riforma dei procedimenti di analisi vedi: P. Petersen, *Geschichte der aristotelischen Philosophie im protestantischen Deutschland*, Stuttgart-Bad, Cannstatt, 1964; P. Rossi, *Ramismo logica e retorica nei secoli XVI e XVII*, in *Rivista critica di storia della filosofia*, III, 1957, pp. 359-361. Agli studi indicati in quella sede vanno aggiunti i seguenti: *La dialectique de P. Ramus*, in *Revue de l'Université de Laval*, 1952-1953, pp. 608-616; P. Dibon, *L'influence de Ramus aux universités néerlandaises du XVII siècle*, in *Actes du XI Congr. Int. de Philosophie*, Louvain, 1953, vol. XIV, pp. 307-311; R. Tuve, *Imagery and Logic, Ramus and Methaphysical Poetics*, in *Journal of the History of Ideas*, XIV, 1942, pp. 365-400; W. J. Ong, *Ramus and Talon Inventory*, Cambridge-Mass, 1958.

¹⁹ P. Ramo, *Animadversionum aristotelicarum, Libri XX*, Paris, 1553-1560, vol. II, pref. ai libri IX-XX, p. 1; *Dialecticae institutiones*, vol. II, cit., pp. 2, 3, 77. Si veda P. Rossi, *Clavis Universalis*, Mulino, Bologna, 1983, pp. 158-159.

²⁰ «At verò hæc intuitûs evidentia & certitudo, non ad solas enunciationes, sed etiam ad quoslibet discursus requiritur». *Regulae III*, A. T., X, 369.

sua garanzia – il lume naturale – sta al di là di ogni regola formale e all’inizio del processo conoscitivo. «Non è possibile – conclude Descartes – estendere il metodo anche ad insegnare come queste stesse operazioni [l’intuizione e la deduzione] devono essere compiute, perché esse sono le prime e le più semplici di tutte, sicché se il nostro intelletto non avesse potuto già prima servirsene, non comprenderebbe nessuno dei precetti del metodo stesso, anche se facili»²¹.

Momento più alto del modello seriale, che la *Regula VI* aveva esemplificato nel ricorso alla proporzionalità matematica, l’*enumeratio* cartesiana si oppone anche allo sperimentalismo baconiano e alla sua verifica sensibile: ben più importante, per Descartes, è la preparazione dei dati che il processo deduttivo sarà chiamato a risolvere²². Noto è il riferimento di Bacone, agli inizi del XVII secolo, ad una *Instauratio magna* che rimpiazza la logica aristotelica²³, culminando in un *Novum Organum* i cui orientamenti, nonostante alcuni motivi comuni, si riveleranno del tutto diversi dalle direttive metodiche cartesiane. Comune ad entrambi i filosofi vi è un’idea di metodo che scaturisce dall’esperienza della scoperta²⁴, dall’esigenza di un distacco nei confronti della tradizione, nonché dall’attuazione di operazioni

²¹ *Regulae IV*, A. T., X, p. 372. La lettera a Mersenne del 5 ottobre 1637 [A. T., I, p. 451] chiarirà la questione in modo inequivocabile: «je repute presque pour faux tout ce qui n’est que vraisemblable; et quand je dis qu’une chose est aisée à croire, je ne veux pas dire qu’elle est probable seulement, mais qu’elle est si claire et si évidente, qu’il n’est pas besoin que je m’arrête à la démontrer».

²² Nelle parole di Robinet: «les concepts d’énumération suffisante et d’induction font partie intégrante de l’essence de l’ordre d’un *ordre suffisant* qui permet de compléter les règles portant sur la nécessité de l’ordre». A. Robinet, *Aux sources de l’esprit cartésienne*, cit., p. 261.

²³ «Logica quae in usu est, ad errores stabiliendos et fingendos valet». F. Bacon, *Novum Organum*, I, T. Fowler (ed.), Oxford University Press, 1889, pp. 12-13. Per alcuni riferimenti bibliografici sull’opera in generale e sul metodo dell’induzione in Bacone si veda P. Rossi, *Francesco Bacone : dalla magia alla scienza*, Laterza, Bari, 1957; M. Fattori, *Lessico del Novum Organum di Francesco Bacone*, Edizioni dell’Ateneo, Roma, 1980; E. Cassirer, *Il problema della conoscenza nella filosofia e nella scienza da Bacone a Kant*, trad. it., di A. Pasquinelli, Il saggiatore, Milano, 1968.

²⁴ In merito al metodo cartesiano, V. Jullien ha osservato che: «si l’on comparait l’acquisition de connaissances certaines à un jeu, la méthode ne fournirait pas les *règles du jeu*, mais plutôt les principes (ou règles) des stratégies gagnantes». Descartes. *La Géométrie de 1637*, Paris, 1996, p. 18.

intellettuali che ci rendano, come dirà Descartes nel *Discours*, «maîtres et possesseurs de la Nature»²⁵. Comune a Bacone è l'obiettivo cartesiano di edificare un metodo fondato su nozioni chiare ed evidenti, culminante nell'emblema dell'albero della filosofia posto da Descartes all'inizio della *Lettre-Préface* dei *Principes*²⁶. Una nuova determinazione del metodo è quindi orientata a superare, sia nelle intenzioni del filosofo francese che del Cancelliere inglese, le vane dispute della Scolastica illuminando l'intelletto nelle vie più utili nel cammino di scoperta della verità e nell'avanzamento delle conoscenze.

I procedimenti seguiti da Descartes e Bacone nell'attuazione di tale riforma sono altresì profondamente diversi e trovano proprio nello statuto e nell'uso dell'induzione il punto di massima distanza. Dell'*inductio* baconiana Descartes recupera l'aspirazione metodica a non recensire soltanto un numero indefinito di dati attraverso una «enumeratio simplex», definita «puerile» dallo stesso Bacone, perché iscritta in una procedura che «precario concludit». Per il filosofo inglese si tratta infatti di stabilire rapporti costanti fra *naturae simplices*²⁷, grazie ad una *inductio vera* «quae ad sensum tuetur et

²⁵ *Discours*, VI, A. T., VI, p. 63. Nelle parole di Bacone: «homo enim naturae minister et interpres tantum facit et intelligit quantum de naturae ordine, opere vel mente observaverit». *Instauratio magna*, I, p. 144. Si veda anche *Novum Organum*, cit., II, p. 52.

²⁶ L'albero della filosofia cartesiana sostiene la nuova scienza imponendosi sulla logica degli antichi e sull'ideale di saggezza dei rinascimentali. L'ostilità di Descartes contro la metafisica del Rinascimento (Telesio, Bruno, Campanella) è nota. Descartes rifiuta la seduzione dell'*arcanum*, come confessa nella lettera a Mersenne del 20 novembre 1629: «sitôt que je vois seulement le mot d'*arcanum* en quelque proposition, je commence à avoir mauvaise opinion». (A. T., p. 78). Si vedano anche: *La Recherche de la Vérité* (A. T. X, p. 504), *Discours*, I, (A. T., VI, pp. 4-9) e la lettera a Mersenne del 29 gennaio 1640 (A. T., III, 15). Si veda inoltre: Descartes a Beeckman, 17 ottobre, 1630 (A. T., I, p. 158); 29 aprile 1619, p. 165. Descartes a Mersenne, 15 novembre, 1638 (A. T., II, p. 436). M. Spallanzani osserva che: «à l'admiration stupéfaite de l'étrange, à l'extase de l'obscur, au culte du difficile [Descartes] oppose constamment le privilège de la clarté et de la simplicité de la science». *L'arbre et le labyrinthe*, cit., p. 72.

²⁷ «Ea enim de qua [inductio] Dialectici loquuntur, quae procedit per enumerationem simplicem, puerile quiddam est, et precario concludit et periculo ab instantia contradictoria exponitur, et consueta tantum intuitu, nec exitum reperit». *Novum Organum*, cit., II, p. 172.

naturam premit et operibus imminet ac fere immiscentur»²⁸. Quest'ultima recensisce gli individui, reperendo dall'analisi delle loro differenze e concordanze i legami permanenti fra le forme (*formae*) o nature semplici (*naturae simplices*) che li costituiscono²⁹. Il procedimento avviene senza salti e per gradi: risale gradualmente cioè dai fatti particolari a principi via via più generali e solo da ultimo giunge agli assiomi generalissimi. Laddove l'induzione dei dialettici procede per enumerazione semplice e conclude precariamente essendo esposta di continuo al pericolo di un'istanza contraddittoria, Bacone propone un'induzione tale «da risolvere e analizzare l'esperienza, concludendo necessariamente mediante esclusioni ed eliminazioni»³⁰. Trovare le *nature astratte* (che risultano dall'analisi dei particolari)

²⁸ *Novum Organum*, cit., II, p. 172. Come afferma E. Melandri, l'esautorazione dell'*in re* si ottiene privando le cose della loro essenza individuale per sostituirvi la pura descrizione: «in Aristotele, l'επαγωγή tende a fissare ogni conoscenza empirica in una definizione reale dell'oggetto. La *definizione reale* è una nozione oscura quanto a stato logico, ma chiarissima quanto a prestazioni argomentative. Si tratta di una proposizione che è insieme universale e vera [...]. Bacon contrappone l'*inductio per omnia* a quella *quae proceda per enumerationem* [...]. Bacon considera *puerilis* l'induzione per enumerazione semplice, come quella che *praecario concludit, et periculo ab instantia contradictoria exponitur*. Ma se la formulazione dell'induzione (per enumerazione completa) e, cosa ancor più grave, la motivazione del requisito di completezza (il pericolo di esporsi a una smentita) sono di carattere arcaico, ben altro è il senso complessivo dell'induzione baconiana». *La linea e il circolo, Studio logico-filosofico sull'analogia*, cit., p. 448.

²⁹ «Est itaque inductionis verae opus primum (quatenus ad inveniendas formas) rejectio sive exclusiva naturarum singularum, quae non inveniuntur in aliqua instantia, ubi natura data abest [...]. Ita facienda est corporum separatio et solutio: non per ignem certe, sed per rationem et inductionem veram, cum experimentis auxiliariibus; et per comparisonem ad alia corpora, et reductionem ad naturas simplices et earum formas». *Novum Organum*, cit., II, pp. 16-19.

³⁰ Sostanze ed elementi complessi ammettono in Bacone una scomposizione in *nature simplici*. Trovare la natura di un dato elemento significa accertare con quali nature *non* sia connesso, in modo da escluderle tutte tranne quella corretta. Bacone definisce tale operazione *metodo d'esclusione*: «Est itaque Inductionis verae opus primum (quatenus ad inveniendas formas) rejectio sive exclusiva naturarum singularum, quae non inveniuntur in aliqua instantia, ubi natura data adest; aut inveniuntur in aliqua instantia, ubi natura data abest; aut inveniuntur in aliqua instantia crescere, cum natura data decrescat; aut decrescere, cum natura data crescat. Tum vero post rejectionem et exclusivamdebitis modis factam, secundo loco (tanquam in fundo) manebit (abeuntibus in fumum opinionibus volatilibus) forma affirmativa, solida, et vera, et bene terminata». *Novum Organum*, II, cit., pp. 396-397.

equivale a mettere in luce il rapporto di corrispondenza che sussiste fra una determinata natura e l'effetto che si intende ottenere. A tale scopo è necessario far uso di un procedimento che si realizza attraverso *inclusioni* ed *esclusioni*. Le *tabulae presentiae*, le *tabulae absentiae* e le *tabulae graduum* giungono a tale ordinamento della realtà naturale tramite la raccolta dei fenomeni in cui una forma è presente in grado maggiore, minore, oppure assente.

Non si tratta quindi per Bacone di cercare aspetti concreti delle cose, bensì di trovare quelle nature astratte, o nature semplici, simili alle lettere dell'«alfabeto della natura», dalla cui combinazione risulta la realtà materiale. Bacone contrappone dunque il concetto di natura *astratta* a quello di *cosa concreta*, la riduzione del concreto all'astratto, raggiunta per analisi e scomposizione delle cose nei loro elementi più semplici, alla sterilità della logica formale degli antichi e agli *idola* che derivano dalle incertezze del linguaggio e dalle opinioni filosofiche.

Su questi punti si installa la critica di Descartes: laddove Bacone astrae proposizioni e assiomi generali dalle generalizzazioni ottenute mediante induzione dai dati empirici, Descartes ottiene analiticamente le nature semplici del moto, della quantità continua, della grandezza o della forma degli oggetti fisici attraverso la scomposizione di un fenomeno naturale nei suoi elementi primi, garantiti dall'intuizione intellettuale. Sull'acquisizione di tali nature si stabiliscono le condizioni del procedimento deduttivo.

In altri termini, la differenza che passa tra il metodo della spiegazione scientifica di Bacone e quello di Descartes è la stessa che sussiste tra una procedura che elabora il modello dell'universalità secondo la convergenza e i nessi di concomitanza stabiliti dalla raccolta dei dati particolari e quella procedura che realizza, attraverso l'istituzione di una classe di equivalenze stabilite dall'ordine, la scomposizione dei fenomeni nei loro elementi costitutivi. Ogni ricerca empirica, anche la più minuziosa e dettagliata (*les plus particuliers*,

come dirà Descartes a Mersenne il 23 dicembre 1630)³¹ è del tutto superflua se non viene iscritta in un ordine garantito dalla certezza delle nature semplici. L'esperienza non rappresenta per Descartes il mezzo attraverso il quale generalizzare, per via induttiva, i dati offerti ai sensi; essa offre piuttosto un contesto di evidenze che abilita alla formulazione delle nature intellettuali più semplici, nonché al loro inserimento nella catena deduttiva. Laddove l'induzione baconiana astrae le *formae* dalla molteplicità empirica enumerando i fatti particolari raccolti dall'esperienza sensibile e sistemandoli in tavole comparative, l'*enumeratio sive inductio* di Descartes è subordinata ad un ordine che organizza i dati del pensiero nelle classi conformi alla chiarezza e distinzione del concetto³².

Nella lettera a Mersenne del '30, Descartes non cita la parola enumerazione, sostituendovi, in francese, il «recueils généraux de toutes les choses les plus communes, et qui sont très certaines». Il precetto che fonda l'induzione cartesiana non cambia: prima di fare molte esperienze, «superflues et même fausses», occorre conoscere la verità delle cose³³. Una verità che per Descartes si dà a partire dalla subordinazione delle *naturae simplices* all'*ordo* che le instaura e le precede abbandonando così non soltanto la ricerca dell'universale propria della dottrina aristotelica, ma anche la nuova figura dell'universale che l'induzione baconiana rischia di reintrodurre, consegnando il metodo della comparazione tra i fenomeni ad una ricerca delle *naturae* compiuta per astrazione. Diversamente dalle tavole induttive di Bacone, con la loro verifica delle concordanze o discordanze fra i dati, la classificazione di Descartes propone un metodo induttivo che tenga insieme la verità della ricerca, istituita

³¹ Descartes a Mersenne, 23 dicembre 1630, A. T., I, p. 196.

³² In questo senso, S. Gaukroger rileva che «it is impossible to avoid the conclusion that Descartes uses the term *déduire* to mean a detailed enumeration of steps in a argument in such a way that the term non longer characterizes the logic of the argument, but rather the step-by-step narration which is involved in its articulation». *Descartes' conception of inference*, Oxford University Press, Oxford, 1989, p. 104.

³³ «Il est impossible qu'on n'en fasse beaucoup de superflues, et même fausses, si on ne connaît la vérité des choses avant que de les faire». Descartes a Mersenne, 23 dicembre 1630, A. T., I, p. 196.

dalle relazioni di ordine che l'analisi scopre fra gli oggetti del pensiero, e la capacità di riconoscere, anche nelle proporzioni più involute, ciò che ignoto come pari a ciò che si conosce («quod est ignotum aequale cuidam cognito reperiatur»). Rispetto alla ricerca empirica, che si muove alla scoperta di nuovi *enti* in natura astraendone le *formae*, le *Regulae* sono inequivocabili: «non ci aspettiamo di conoscere qui alcun nuovo ente, ma intendiamo soltanto ridurre le proporzioni, per quanto involute esse siano, al punto di trovare quel che è ignoto uguale a ciò che si conosce»³⁴.

La *dispositio* prodotta dall'induzione cartesiana enumera tutti dati della conoscenza secondo un'organizzazione puramente gnoseologica che li fa dipendere gli uni dagli altri, dentro i confini ben delimitati dalla connessione deduttiva. Fuori dall'ordine che assegna le dipendenze fra termini noti e termini sconosciuti non vi è collegamento possibile fra epistemologia e pratica della scienza: solo partendo dall'ordine dei termini all'interno dell'equazione l'*inductio* cartesiana può consentire il passaggio dal molteplice dell'esperienza alla classe di equivalenza concettuale istituita dalla ragione, assumere il particolare nell'idea chiara e distinta e consentire così la riduzione delle questioni indeterminate a questioni perfettamente comprese.

La nozione cartesiana di classe, veicolo dell'equivalenza concettuale di più fenomeni in relazione ad un ordine scelto *ex arbitrio*, lega analisi fisica e matematica della natura in una proporzionalità continua fra grandezze che invalida anche l'intero lessico delle filosofie naturali del tardo XVI secolo, incentrate sul rapporto fra la dimostrazione *potissima* o *propter quid*, detta anche *compositio*, e la dimostrazione *quia*, o *resolutio*³⁵. Nell'empirismo di

³⁴ *Regulae XIV*, A. T., X, p. 447.

³⁵ Zabarella definisce la dimostrazione del *quia* (la dimostrazione del fatto) come base del procedimento euristico in scienza. Il metodo specificamente induttivo (*regressus*) è riconoscibile nella differenza fra «*methodus sensu latu*», che copre tutti i processi mentali di acquisizione della conoscenza, esponendo contenuti già formulati, e strategie della scoperta scientifica «*methodus sensu strictu*». *De Methodis*, IV, c. 18, col. 231. In realtà, già il modello Galenico, a cui la distinzione rinascimentale fra metodi di presentazione e metodi di scoperta si richiama, rimanda alla distinzione fra ciò che è auto-evidente ai sensi, e che verrà trasformato, da parte dei filosofi naturali del Cinquecento, in un nuovo metodo di

matrice aristotelica del primo XVII secolo si fa strada infatti un nuovo tipo di dimostrazione che affianca alla rigida concatenazione delle cause esperienze empiriche, ipotetiche e congetturali³⁶. La filosofia naturale seicentesca, ispirata all'aristotelismo, conferisce all'oggetto, ovvero alle determinazioni contenutistiche e sensibili, il primato sul metodo, là dove l'induzione cartesiana conferisce al metodo e alle sue determinazioni intellettuali il primato sulla cosa³⁷. Per quest'ultimo, la struttura della realtà è un costrutto razionale, reso oggettivo dal «quantificatore scientifico proporzionale» per eccellenza: l'induzione³⁸.

In breve, i quattro tipi di enumerazione elencati dalla *Regula VII* non sono collegati né alle *formae* baconiane, raggiunte per astrazione da una semplice combinatoria empirica, né al punto di vista universale del discorso aristotelico. L'ordine delle *Regulae* non

scoperta. Pietro d'Abano pone una distinzione che i teorici e filosofi naturali dell'indirizzo padovano riprenderanno spesso: scienza e sapere hanno un duplice significato a partire da ciò che con Galeno si definisce dottrina compositiva o *propter quid*, oppure da quelle nozioni che sono più certe secondo il nostro modo di conoscenza e che coincidono con la dottrina risolutiva o *quia*. Si vedano in proposito, tra gli innumerevoli studi: J. H. Randall, *The school of Padua*, Antenore, Padova, 1961, pp. 59-60; A. C. Crombie, *Grosseteste and the origins of experimental science, 1100-1700*, cit.; *Sources of Galileo's Early Natural Philosophy*, in M. R. Bonelli, W. R. Shea (ed.), *Reason, Experiment, and Mysticism in the Scientific Revolution*, Macmillan, London, 1975, pp. 157-175.

³⁶ «Ipsa inventio multiplex est est enim inventio artium, et inventio syllogistica, et haec est aut dialettica, aut demonstrativa». Nifo, *In. Arist. libros Posteriorum Analyticorum subtilissima Commentaria*, Venetiis 1554, f. 5. I B.

³⁷ «La smaterializzazione dell'oggetto di conoscenza – nota in questo senso Melandri, richiamandosi a É. Gilson, [*Études sur le rôle de la pensée médiévale dans la formation du système cartésien*, Vrin, Paris, 1975, parte I, cap. i, pp. 24-27; parte II, cap. i, § I; cap. vi, pp. 234-244], è una delle vie attraverso cui si passa dalla gnoseologia scolastica a quella cartesiana». *La linea e il circolo*, cit., p. 553.

³⁸ E. Melandri, *La linea e il circolo*, cit., p. 505: «l'induzione di cui fa uso la nuova scienza non è né *per omnia*, né *per enumerationem simplicem*. Non ha il carattere definitivo della prima, e nemmeno quello di semplice progressione aritmetica che è proprio della seconda. L'induzione sorretta dalla matematica ha piuttosto il carattere della progressione geometrica. Questo spiega perché l'approssimazione della probabilità alla certezza possa aver luogo anche quando i casi effettivamente osservati siano scarsi in numero; al limite, può bastarne uno solo. La matematizzazione della scienza si fonda su due presupposti: (i) che le osservazioni permettano l'uso di un linguaggio proporzionale (quantitativo o per lo meno comparativo); (ii) che le inferenze avvengano per mezzo di un calcolo parimenti proporzionale».

fa alcun riferimento alla struttura ontologica delle cose. La logica tradizionale procede da ciò che è *più noto per noi* (nel divenire della conoscenza) a ciò che è *più noto secondo natura* (assolutamente, nell'ordine dell'essere)³⁹; il metodo cartesiano si afferma sopra la distinzione fra l'esperienza (metodo risolutivo) e la dimostrazione che parte dai principi (metodo dimostrativo o compositivo)⁴⁰, fra la definizione dell'accidente, nel metodo risolutivo, e la definizione della sostanza in quello compositivo. La sensibilità verso il dato concreto, propria delle filosofie naturali del primo 1600, lascia così il posto a una destinazione rigorosamente matematica e quantitativa dell'analisi⁴¹. Passando dal primato dell'oggetto a quello dell'attività ordinatrice del lume naturale, dall'induzione come «manifestazione sensibile dell'universale»⁴² all'*enumeratio sufficiens* dei dati di un problema, l'esclusione della logica dal ragionamento si affianca in Descartes ad una nuova *comparatio* fra grandezze, istituita dall'ordine, e ripartita nella classe di tutti i dati che la serie deve rappresentare.

³⁹ Per la distinzione fra ciò che è prima per natura e ciò che è più noto per noi (alla conoscenza): *An. Post.*, I, 2, 71b, 33.

⁴⁰ Dalle scuole umanistiche, in particolare quella ramista a cui si è fatto riferimento, a quelle aristoteliche, il termine *metodo* si colloca così nella polarità tra *inventio* e *judicium* espressa dagli *Analitici* e dai *Topici*, tra l'organizzazione razionale dei contenuti del ragionamento e la formalità del sillogismo propriamente detto. Delle due tecniche utilizzate, metodo e sistemazione, il primo implica la differenza *che fa conoscere*, che apre e notifica qualcosa di nuovo. La sistemazione dispone invece ciò che è stato scoperto riportando tutte le forme di sillogismo – dimostrativo, dialettico, deduttivo, induttivo a due distinzioni fondamentali: una conoscenza della causa attraverso l'effetto, o dell'effetto secondo la causa. Cfr. Zabarella, *De Methodis*, III, c. 2, col. 165. Per una ricostruzione storica della struttura e delle forme aristotelico-rinascimentali della dimostrazione vedi: A. Poppi, *Introduzione all'Aristotelismo Padovano*, Antenore, Padova, 1970, in particolare il cap. I; W. Gilbert, *Renaissance Concept of Method*, Columbia University Press, New York, 1960, p. 89.

⁴¹ Come nota Melandri, se nella scienza post-galileiana la logica perde il suo primato, questo avviene a causa della riduzione dei problemi di inferenza a problemi di calcolo. In altre parole la matematica sostituisce la logica: «nel contesto della scienza di tipo galileiano, la retorica non è né arte della persuasione, né teoria dell'argomentazione. Nella scienza aristotelica il riferimento dei termini è certo, l'inferenza incerta: poiché dipende dalla natura degli oggetti in questione. Nella scienza galileiana il riferimento è incerto, l'inferenza certa: poiché dipende dalla matematizzazione dell'universo di discorso. Perciò in quest'ultima il problema si sposta sul significato dei costrutti teorici». *La linea e il circolo*. cit., p. 520.

⁴² *An. Post.*, II, 6, 91b 34-35.

Fecondità, dunque, dell'induzione cartesiana, al servizio di una nuova pratica della scienza modellata dall'ordine: la *Regula VII* ne offre il primo esempio, esponendo attraverso le definizioni dell'anima razionale e dell'area geometrica del cerchio i tre aspetti fondamentali dell'*enumeratio sive inductio*: ordine, completezza, sufficienza.

Dimostrare la non appartenenza del pensiero all'insieme dei corpi non implica l'enumerazione esaustiva di tutte le cose corporee, bensì la nozione chiara e distinta di corpo che include le determinazioni corporee ed esclude l'anima razionale. Al criterio dell'esaustività subentra quello della distinzione («non opus erit enumerationem esse completam»), fra gli elementi sufficienti ad escludere il dato richiesto:

Questa enumerazione, inoltre, deve talvolta essere completa [completa], talaltra distinta [distincta] mentre, in taluni casi, non occorre né l'una né l'altra; per questo è stato detto soltanto che deve esser sufficiente [sufficiens]. Infatti, se voglio provare per enumerazione quanti generi di enti siano corporei o in qual modo cadano sotto i sensi, non asserirò che sono tanti e non di più, se prima non avrò saputo con certezza di averli compresi tutti nella enumerazione e di aver distinto gli uni dagli altri. Se voglio però mostrare per questa stessa via che l'anima razionale non è corporea, non sarà necessario che la enumerazione sia completa, ma sarà sufficiente ch'io riunisca tutti insieme i corpi in un certo numero di gruppi, in modo da mostrare che l'anima razionale non può esser riferita ad alcuno di essi⁴³.

Nell'esempio matematico della misurazione dell'area di un cerchio, non è necessaria la comparazione con ogni altra forma geometrica, bensì la relazione dell'esempio preso in esame a figure determinate:

Infine, se voglio dimostrare, attraverso l'enumerazione, che l'area del cerchio è maggiore dell'area di ogni altra figura la cui periferia sia uguale, non è

⁴³ *Regulae VII*, A. T., X, p. 390.

necessario passare in rassegna tutte le figure, ma basta dimostrarlo per alcune di esse in particolare, per concludere, per induzione, la stessa cosa anche riguardo a tutte le altre⁴⁴.

In matematica, il confronto fra una serie limitata di casi è sufficiente a riconoscere la verità del teorema ed ad inserire la figura particolare in un «genere»⁴⁵ che include tutte le altre che godono della stessa proprietà⁴⁶. La collezione dei particolari può dunque essere abbreviata in matematica in ogni momento, purché sia conforme al principio che assicura la sua inclusione al genere di appartenenza. Per questo, il riferimento dell'*inductio* cartesiana alla matematica viene

⁴⁴ *Regulae VII*, A. T., X, p. 390. La dimostrazione dell'area del cerchio è basata sullo sviluppo delle proposizioni VI, XII, XIII dell'*Opera Mathematica* di Clavius (1570), discussa da P. Costabel che, nelle *Règles* [cit., pp. 189-190], la designata come *Clavius I*: «Proposition VI: De deux polygones réguliers isopérimètres, le plus grand est celui qui a le plus de côtés. Proposition XII: De tous les polygones isopérimètres ayant le même nombre de côtés, le plus grand est équilatère et équiangle. Proposition XIII: le cercle est plus grand que tout polygone régulier isopérimètre: [Perspicuum est circulum – est-il aussitôt ajouté – quod infinitos quodammodo includat angulos et latera, omnibusque punctis æqualiter recedat a centro, omnium figurarum isoperimetrarum esse capacissimum]. On est bien, en effet, dans une perspective d'intuition. On «voit», «perspicuum est», que le cercle assure le maximum d'éloignement, par rapport à un centre, pour la multitude des côtés du polygone avec lequel il se confond. Ces détails étant donnés, il est clair, a notre avis, que dans le passage de la *Regle VII* considéré, Descartes suit très exactement *Clavius I*. Les figures «particulières» auxquelles il fait allusion sont celles que nous transcrivons ci-dessus et «l'intuition» à laquelle il se réfère est celle que nous venons de souligner».

⁴⁵ Il concetto di «genere», se riferito alla *Géométrie*, inerisce allo strumento di classificazione e discriminazione fra differenti tipologie di curve: «comprendre toutes (les courbes) qui sont en la nature, et les distinguer par ordre en certains genres (A. T., VI, p. 392). Après avoir ainsi réduit toutes les lignes courbes a certains genres (A. T., VI, p. 396). Encore que toutes ces ovaies semblent être quasi de même nature, elles sont néanmoins de 4 divers genres, chacun desquels contient sous soi une infinité d'autres genres, qui derechef contiennent chacun autant de diverses espèces que fait le genre des Ellipses, ou celui des Hyperboles (A. T., VI, p. 428). Construire quelque probleme par un genre de ligne plus simple que sa nature ne permet (A. T., VI, p. 444)». Come sottolinea Costabel: «dès cette époque sa pensée mathématique était toute entière soustendue par les correspondances à établir de classe a classe entre les problèmes des deux genres de la quantité [...]. Dans cette perspective les idées fondamentales sont celles de l'analogie qui permet les passages d'un genre a l'autre, et de l'ordre qui dans chaque genre organise le classement». P. Costabel, *Démarches originales de Descartes savant*, cit., p. 30.

⁴⁶ «de quibusdam in particulari hoc demonstrare, ut per inductionem idem etiam de alijs omnibus concludatur». *Regula VII*, A. T., X, p. 390.

assunto da Marion come il rimando e al tempo stesso la «trasgressione» della relazione aristotelica tra universale e particolare⁴⁷. La metodicità dell'enumerazione consiste infatti nel recensire e distinguere in classi di equivalenze i diversi dati di cui una serie è composta. Una volta reperite le classi, diviene facile inserirvi i dati, perché si riconosce subito a quale classe appartiene ciò che si incontra. Questo spiega l'assimilazione dell'enumerazione all'induzione, ovvero all'operazione che muove dal particolare al generale, da un'idea determinata alla sua classe di appartenenza.

Molteplici sono gli usi dell'enumerazione anche negli studi scientifici di Descartes successivi alle *Regulæ*: nella lettera a Mersenne, del 19 maggio 1641, dove Descartes distingue l'idea di un poligono di mille lati, prodotta dall'immaginazione, da quella che pertiene alla sola mente («*quae pertinet ad mentem*»). Quest'ultima idea, l'unica ad essere chiara e distinta, può essere raggiunta solo dopo che i lati siano stati enumerati («*non habetur, nisi lateribus prius numeratis*»)⁴⁸.

Il ricorso all'enumerazione conferisce ordine non soltanto alla matematica, ma anche alle questioni che pertengono alla fisica e all'ottica: nel *Discorso settimo* della *Dioptrique*, Descartes discute del perfezionamento delle lenti in virtù di «un'esatta enumerazione di tutto quel che all'arte resta ancora da aggiungervi»⁴⁹; il *Discorso secondo* presenta una dottrina della luce per induzione sufficiente secondo «*trois comparaisons*» con fenomeni eterogenei (palla, bastone tino),

⁴⁷ «Induction devient ici non moyen pour dénombrement, mais une immédiate transgression du particulier à l'universel, et ceci, parce que le «genre» (au sens de la *Géométrie*) transparait dans la figure particulière, jusqu'à s'y confondre [...] Les mathématiques permettent à l'induction cartésienne de mimer la transgression immédiate (sans recension du particulier) dans l'universel, que l'exclusion du «genre d'être» lui interdit dans le champ physique. Les «genres d'être» condamnent à la recension indéfinie, au lieu que le discours mathématique assure la transparence du particulier au *genre*». J.-L. Marion, *Sur l'Ontologie grise*, cit., p. 106. L'esempio di Descartes riflette ciò che la logica moderna caratterizza con E. Goblots come una generalizzazione matematica, o induzione dal singolare al generale. *Traité de Logique*, Armand Colin, Paris, 1947, pp. 264-267.

⁴⁸ Descartes a Mersenne, 19 maggio, 1641, A. T., III, p. 376.

⁴⁹ «Un dénombrement exact de tout ce qui reste encore à l'art à y adioufter». *Dioptrique*, VII, A. T., VI, pp. 147-148.

analogamente a quanto avevano già fatto le *Regulae VII* e *IX*, spiegando l'azione della luce attraverso l'enumerazione di altre potenze (gravità, impulso, etc.), o per analogia con la trasmissione istantanea del moto da un'estremità all'altra di un bastone⁵⁰.

Nel terzo libro della *Géométrie*, la trasformazione dei problemi geometrici in problemi algebrici, nonché il criterio della perfetta misurabilità di ciò che è *geometrico* e di ciò che è *meccanico* (solo le linee geometriche rispondono alla misurazione precisa ed esatta del rapporto con tutti i loro punti)⁵¹ richiedono l'enumerazione sufficiente dei procedimenti adatti a descrivere le curve cercate: «enumerare (*dénombrement*) tutti i procedimenti con i quali possiamo trovarle, enumerazione sufficiente (*qui soit suffisant*) a dimostrare che abbiamo scelto il procedimento più generale e più semplice»⁵². La *Géométrie* approfondisce così il precetto generale del *dénombrement*, esposto nella seconda parte del *Discours*⁵³ nell'enumerazione sufficiente delle condizioni che servono alla determinazione del problema.

Nelle *Meditationes* l'induzione diviene strumento della garanzia epistemologica del *cogito* attraverso la messa in dubbio di una classe di «opinioni», definite a partire dalle facoltà mentali alle quali sono associate: sensi e immaginazione.

Per ottenere questo risultato – afferma Descartes – non sarà d'altra parte necessario dimostrare che quelle opinioni sono tutte false, cosa che forse non riuscirei mai ad ottenere; ma poiché ormai la ragione mi persuade che bisogna tenere

⁵⁰ *Regulae VIII, IX*, A. T., X, pp. 395, 402-403.

⁵¹ Questa distinzione fonda i criteri di costruzione d'una curva: «in cartesian geometry, if not in cartesian philosophy as a whole, the being of magnitudes (discrete or continuous, homogeneous or heterogeneous) and of curves (naturally occurring or only instrumentally producible) is bracketed or made tributary to the facilities and limits of *technical genesis* [...]. Cartesian prudence amounts essentially to being loyal to the regulations of technical exactitude». D. Lachterman, *The Ethics of Geometry*, cit., pp. 173-174.

⁵² *Géométrie*, III, A. T., VI, p. 475.

⁵³ «De faire partout des dénombrements si entiers, et des revues si générales, que je fusse assuré de ne rien omettre». *Discours*, II, A. T., VI, p. 19. Si veda anche *ibid.*, pp. 20-21: «enfin la méthode qui enseigne à suivre le vrai ordre, et à dénombrer exactement toutes les circonstances de ce qu'on cherche, contient tout ce qui donne de la certitude aux règles d'arithmétique».

accuratamente lontano ogni assenso dalle convinzioni che non sono assolutamente certe e indubitabili, non meno che dalle proposizioni che sono apertamente false, basterà questa considerazione per respingerle tutte, se troverò in ciascuna qualche motivo di dubbio⁵⁴.

Tale procedimento richiama quello delle *Regulæ* dove Descartes, rigettando come falso tutto ciò che non può essere revocato in dubbio («ogni scienza è conoscenza certa ed evidente [...] respingiamo tutte quelle conoscenze solamente probabili e stabiliamo che non devono essere credute se non quelle perfettamente conosciute e delle quali non si può dubitare»)⁵⁵, aveva rimosso dai parametri della conoscenza certa la semplice opinione («probabiles cognitiones»). L'esercizio del dubbio è in questo senso un'ulteriore applicazione del metodo o, più precisamente, dell'analisi che ritaglia la nozione di chiaro e distinto dall'enumerazione sufficiente delle informazioni instabili dei sensi e delle combinazioni fallaci della conoscenza probabile. Se, nelle parole dei *Principia*, una percezione è distinta «quando non comprende in sé se non ciò che appare manifestamente»⁵⁶, tale criterio è preparato sia nelle *Regulæ* che nelle *Meditationes* dall'enumerazione sufficiente delle diverse facoltà mentali dalle quali escludere l'unica – l'intelletto – a cui l'idea chiara e distinta è connessa:

Se qualcuno si propone come argomento l'esame di tutte le verità, per conoscere le quali la ragione umana è sufficiente, costui troverà [...] che nulla può essere conosciuto prima dell'intelletto, dal momento che da esso dipende la conoscenza di tutte le altre cose e non viceversa [...]. Una volta viste tutte le cose che seguono immediatamente la conoscenza del puro intelletto, tra le restanti enumererà (*inter caetera enumerabit*) tutti gli altri strumenti di conoscenza [...] ossia la fantasia e i sensi [...] ed enumererà esattamente tutte le vie che sono aperte agli uomini per raggiungere la verità; [...] non sono infatti tanto numerose da non

⁵⁴ *Meditationes*, I, A. T., VII, p. 18.

⁵⁵ *Regulæ II*, A. T., X, p. 362.

⁵⁶ *Principia*, I, 45, A. T., VIII, p. 22. Vedi anche I, 46.

trovarle tutte facilmente e mediante un'enumerazione sufficiente (*per sufficientem enumerationem inveniatur*)⁵⁷.

Non le dovrò esaminare quindi tutte in maniera particolareggiata, cosa che richiederebbe un lavoro infinito. Ma poiché, tolti tutti i fondamenti, tutto quello che è edificato sopra questi principi cadrà da sé, affronterò subito proprio quei principi sui quali poggiava ciò che un tempo ho creduto⁵⁸.

L'articolo 52 del *Traité des Passions de l'âme*, farà ulteriormente ricorso all'enumerazione per stabilire che non la diversità fra le nature degli oggetti che stimolano i sensi esterni, bensì i differenti modi in cui ci colpiscono od entrano in contatto producono gradi di affezione diversa: «è questo il motivo per cui al fine di enumerarle, occorre soltanto esaminare con ordine, in quante diverse maniere che ci interessano, i nostri sensi possono essere mossi dai loro oggetti. E farò qui l'enumerazione di tutte le principali passioni, secondo l'ordine in cui possono essere trovate»⁵⁹.

Ritroviamo altri esempi di enumerazione nelle *Météores*, al *Discorso ottavo*, dove si calcola l'angolo di visione che produce l'effetto dell'arcobaleno considerando tutti i fattori che vi contribuiscono⁶⁰ o nei *Principia*, dove la rassegna delle componenti rilevanti di un fenomeno fisico si riduce ai concetti di estensione, figura e movimento: «posso dimostrare con una rassegna facilissima (*par un dénombrement tres facile*) che eccetto il movimento, la grandezza, la figura, o la situazione delle parti di ogni corpo, noi non percepiamo nulla fuori di noi»⁶¹.

L'*inductio* potenzia insomma la facoltà del pensiero, rendendolo sempre più perspicace nel cogliere le nature semplici e nel connetterle in ordine con i dati più complessi; il ricorso all'*enumeratio* incoraggia

⁵⁷ *Regulae VIII*, A. T., X, pp. 395-396.

⁵⁸ *Meditationes*, I, A. T., VII, p. 18.

⁵⁹ *Passione de l'âme*, art. 52, pp. 626-627; A. T., XI, p. 372.

⁶⁰ *Météores*, VIII, A. T., VI, pp. 325-344.

⁶¹ *Principes*, IV, 199, A. T., IX, pp. 317-318.

inoltre la soluzione dei problemi in qualunque campo – fisico, matematico, epistemologico o di altra natura, riducendo la comparazione fra i fenomeni alla comparazione fra i dati di una classe che dipende dalla natura più semplice istituita dall'intelletto.

Nelle prossime due sezioni ci concentremo su due oggetti di studio che caratterizzano la seconda parte delle *Regulæ*: la riduzione dei colori a rapporti fra grandezze e l'analisi dell'anaclastica. In entrambi i casi, di fisica il primo, di ottica il secondo, l'impiego dell'*enumeratio sive inductio* assume la massima efficacia, installandosi al cuore del metodo dimostrativo cartesiano.

III) *Per sufficientem enumerationem*. La rappresentazione dei colori e il confronto fra grandezze

Il metodo cartesiano della scoperta scientifica¹ fa riferimento a molteplici istanze: un'epistemologia dell'intuizione e della deduzione come condizione dell'ordine; un insieme di regole, modellate sulle procedure dell'analisi matematica ed espresse da una scienza dell'ordine e della misura; una *Mathesis* che unisce le diverse aree dell'inchiesta. La relazione fra i termini stabiliti dalla *Regula VI* trova nell'idea di «natura semplice» il presupposto su cui analizzare ogni tipo di grandezza.

La *Regula XII* propone una sorta di inventario delle nature semplici: intellettuali (conoscenza, ignoranza dubbio, volizione), materiali (estensione, figura, movimento), nozioni comuni (esistenza, durata)². Così, per i corpi, non vi è conoscenza possibile al di fuori della combinazione fra nature semplici e i dati del problema³: ogni figura, esperibile dall'immaginazione matematica⁴ (ad esempio quella impressa dalla luce – *figuram impressam ab illuminatione* – sui sensi – *omnes sensus externos*), è il tramite intellettuale di una reale modificazione fisica. «Concepire in tal modo tutte queste cose – afferma Descartes – è molto utile perché nulla cade sotto i sensi più facilmente della figura: infatti la si tocca e la si vede (*tangitur enim & videtur*)»⁵. La *vis cognoscens*, distinta dal corpo, riceve le figure dei corpi dai sensi esterni o dall'immaginazione e traduce queste figure in

¹ Per «metodo della scoperta scientifica» intendiamo la peculiare distinzione cartesiana fra una teoria deduttiva come effettiva concatenazione dei dati a partire dalla natura più semplice, e metodo propriamente analitico della scoperta. Nelle parole di S. Gaukroger: «deduction is a mode of presentation of results which have already been reached by analytic, problem-solving means». *Descartes' conception of inference*, cit., in particolare cap. 4, *Scientific Reasoning*, pp. 122-125 e cap. 3: *Discovery and Proof*, pp. 73-102.

² *Regulae XII*, A. T., X, p. 419.

³ *Regulae XII*, A. T., X, p. 422.

⁴ Le nature semplici, incluse quelle corporee «sono tutte note di per sé e non contengono mai alcunché di falso». *Regulae XII*, A. T., X, p. 420.

⁵ *Regulae XII*, A. T., X, p. 413.

percezioni («dicitur videre, tangere, etc.»), reminiscenze («dicitur reminisci»), immaginazioni o concetti («dicitur imaginari vel concipere»):

In primo luogo si deve dunque stimare che tutti i sensi esterni, in quanto parti del corpo, anche se possono essere rivolti agli oggetti per mezzo di un'azione, ossia per un moto locale, saranno tuttavia propriamente soltanto per passione, alla stregua della cera che riceve la forma dal sigillo. Non si deve credere che si dica questo per analogia; ma occorre pensare che, proprio allo stesso modo, la forma esterna del corpo senziente sia realmente modificata dall'oggetto, come quella che è nella superficie della cera e modificata dal sigillo. Il che non si deve ammettere soltanto quando tocchiamo un qualche corpo fornito di figura o duro o ruvido, etc., ma anche quando col tatto percepiamo il caldo, il freddo, e cose simili. La stessa cosa (avviene) negli altri sensi; ossia la prima parte opaca che si trova nell'occhio riceve allo stesso modo la figura impressa dalla luce rivestita di colori diversi⁶.

La *Regula XII* rappresenta così il mutuo rapporto dei colori bianco, blu, rosso attraverso la riduzione geometrica delle loro qualità (fig. 1). Ciò che attraversa la sensazione è raffigurato dalla proporzione continua tra figure geometriche:

Per esempio, supponete che il colore sia tutto ciò che volete: non potrete negare tuttavia che abbia un'estensione e, di conseguenza, una figura. Dunque, che inconveniente potrà mai seguire se, ponendo attenzione a non ammettere inutilmente alcun nuovo ente e a non rappresentarcelo sconsideratamente, non negheremo nulla di ciò che ad altri è piaciuto (pensare) del colore, ma faremo soltanto astrazione da ogni altra cosa, eccetto da quanto abbia natura di figura, e concepiremo la differenza che esiste tra il bianco, il ceruleo, il rosso, etc., come quella che esiste tra queste o simili figure? La stessa cosa si può dire di tutto; perché è certo che l'infinito numero di figure è sufficiente ad esprimere tutte le differenze delle cose sensibili⁷.

⁶ *Regulae XII*, A. T., X, pp. 412-413.

⁷ *Regulae XII*, A. T., X, p. 413.

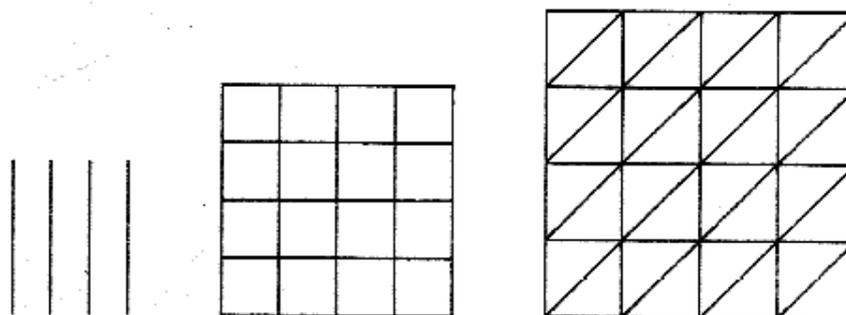


Figura 1

L'eterogeneità del sensibile – i colori, ad esempio, definiti a partire da una teoria della comparazione fra grandezze – viene ridotta ad una serie di rapporti spaziali traducibili in figure: la natura semplice che ne costituisce il modello di intelligibilità – l'estensione – governa la riduzione in classi dei colori e ne permette la comparazione operata dall'*inductio*. La visione delle qualità come rapporti fra grandezze è il riflesso di una concezione del mondo fisico come un insieme di relazioni proporzionali⁸. Estensione, figura e movimento definiscono le nature che formano una grandezza. La nozione di misura deriva dall'ordine e specifica una sequenza rispetto alle unità contenute in un insieme. Due quadrati, di dimensioni una il doppio dell'altra, partecipano alla stessa idea di estensione secondo la proporzione delle rispettive aree. Analogamente, linee e segmenti possono rappresentare il rapporto fra unità di tempo o la relazione fra tempi e spazi, come nel caso della velocità.

Si instaura così un nuovo legame fra nature semplici ed esperienza; le prime non rimandano ad alcuna determinazione naturale che non sia suscettibile di ordine e grandezza: è l'espressione delle quantità per mezzo di linee e rettangoli conformi alle operazioni geometriche a rivelare il corretto rapporto fra grandezze.

⁸ Come si vedrà nell'esempio dell'*anaclastica*, la semplice intuizione intellettuale non illumina, di per sé, le cause dell'effetto luminoso, se non in relazione ad una comparazione della luce con altre potenze naturali che rende familiare la natura costitutiva del fenomeno.

Rendere fecondi per la meccanica i criteri e le nozioni della geometria sarà il compito degli oggetti studiati in fisica: peso, impenetrabilità, gravità, etc., come effetti dell'estensione. Rappresentazione e confronto fra qualità fisiche rappresentano tuttavia anche il crinale su cui l'autosufficienza di una *Mathesis* ispirata alla matematica potrebbe vacillare. Nella *Regula XII* Descartes introduce così la distinzione fra questioni perfettamente determinate e questioni incomplete:

Tra le questioni poi alcune sono perfettamente comprensibili, anche se se ne ignora la soluzione [...] altre non sono comprese perfettamente e a queste riserviamo le ultime dodici regole [...]. Questa suddivisione è stata da noi concepita di proposito, sia per non esser costretti a dir cose che presuppongono la cognizione di altre successive, sia per insegnare innanzi tutto quelle cose su cui stimiamo si debba prima contare anche per coltivare gli ingegni. Si deve osservare che tra le questioni che si comprendono perfettamente poniamo solo quelle nelle quali percepiamo in modo distinto tre cose, ossia da quali segni si possa riconoscere ciò che si cerca quando si presenterà; che cosa sia precisamente ciò da cui dobbiamo dedurlo e come si debba provare che tali cose dipendono talmente l'una dall'altra che una non può in alcun modo mutare e l'altra rimanere immutata. Così abbiamo tutte le premesse e non ci resta da insegnare che il modo di trovare la conclusione, non certamente deducendo un (termine) unico da una cosa semplice – questo, come è stato già detto, può esser fatto senza alcuna regola –, ma liberando con tanta arte un solo (termine) dipendente da molti mescolati insieme, che in nessun'altra circostanza si richieda una maggior capacità d'ingegno di quella (necessaria) per la più semplice delle inferenze. Questioni di tal genere parranno poco utili agli inesperti, perché sono per lo più astratte e s'incontrano quasi soltanto in Aritmetica e in Geometria⁹.

Le questioni perfettamente comprese ricorrono in aritmetica e geometria, discipline centrali per « quanti desiderano impadronirsi perfettamente della parte seguente di questo metodo ». Qualità come i

⁹ *Regulae XII*, A. T., X, p. 429.

colori, i suoni, il peso, la velocità possono essere paragonate a quantità estese di cui la figura e la natura corporea sono le modalità costitutive. Le procedure analitiche includono parametri fisici che andranno ridotti, fin dove possibile, ad un ordine deduttivo «perfettamente compreso».

Dal concetto di figura e dal suo rapporto con il criterio della misura emerge così una nozione che fissa ogni variabile nel *continuum* materiale dell'estensione: il concetto di grandezza. In un esempio estratto dalla *Regula XIV*, Descartes mette a fuoco l'uso della comparazione nelle procedure che guardano all'estensione geometrica come loro punto di riferimento¹⁰. Non vi può essere estensione senza un particolare attualmente determinato nel suo aspetto più semplice: «resti dunque fissato e stabilito che le questioni perfettamente determinate non contengono quasi nessuna difficoltà, all'infuori di quella che consiste nello sviluppare le proporzioni in uguaglianze; e che tutto ciò in cui si trova precisamente tale difficoltà si può e si deve separare facilmente da ogni altro oggetto e trasferire poi all'estensione e alle figure»¹¹.

Figura, estensione e movimento sono le nature corporee indicate dalla *Regula XII* per mezzo delle quali giudicare le somiglianze e le disparità fra grandezze secondo lo stesso rapporto fra termini assoluti e relativi indicato dalla *Regula VI*. La relazione, però, è ora spostata alle grandezze in generale (*de magnitudinibus in genere*): «dopo che secondo la regola precedente sono stati astratti i termini della difficoltà da ogni oggetto, intendiamo qui che ormai non dobbiamo occuparci che delle grandezze in generale»¹².

¹⁰ Alla nozione di grandezza è affidato il compito di soddisfare il seguente: dimostrare come le nozioni della matematica, lungi dall'essere per Descartes semplici strumenti cognitivi per ordinare processi naturali, si accordino alla duplice esigenza di dominio e organizzazione della realtà. Quest'idea, tradotta nella fisica cartesiana nell'idea generale di *estensione*, è presentata nelle *Regulae* grazie alla connessione fra numero, linee e spazi. Vedi *Regulae XII*, A. T., X, pp. 413-414; *XIV*, pp. 450-451; *XV*, pp. 453-454; *XVIII*, pp. 464-468.

¹¹ *Regulae XIV*, A. T., X, p. 441.

¹² *Regulae XIV*, A. T., X, p. 441.

Descartes specifica quindi le diverse determinazioni dell'estensione e i loro rapporti:

Infatti poiché non ci aspettiamo di conoscere qui alcun nuovo ente, ma intendiamo soltanto ridurre le proporzioni per quanto involute esse siano, al punto da trovare quel che è ignoto uguale a ciò che si conosce, è certo che tutte le differenze di proporzioni, quali esistono in altri oggetti, si possono trovare anche tra due o più estensioni¹³.

La dimensione si unisce alla figura come aspetto su cui misurare larghezza, lunghezza, profondità. La matematica ne estende l'influenza alle altre componenti fisiche: il peso (*gravitas*), «secundum quam subjecta ponderantur»; la velocità (*celeritas*), come «dimensio motus & alia ejusmodi infinita». La dimensione definisce il modo e il rapporto («quam modum & rationem») secondo il quale un oggetto è considerato misurabile («aliquod subjectum consideratur esse mensurabile»)¹⁴. Ogni proporzione può essere misurata su una scala arbitraria («et nisi aliqua jam sit determinata») scegliendo un'unità semplice rispetto alla serie delle cose che devono essere confrontate fra loro: figure rettangolari, punti, linee, rette possono ugualmente rappresentare il risultato della moltiplicazione e divisione fra grandezze¹⁵. La categoria di «relazione» si approfondisce così nel maggiore o minore grado di partecipazione che ogni grandezza può sostenere rispetto all'unità più semplice: la linea partecipa diversamente all'estensione in linearità o curvatura; la componente rettilinea è il riferimento assoluto della serie «lineare» da cui dipende la posizione dei diversi termini¹⁶. La medesima comparazione

¹³ *Regulae XIV*, A. T., X, p. 447.

¹⁴ *Regulae XIV*, A. T., X, p. 447.

¹⁵ «Ex magnitudinibus jam datis, sive aliam quamcumque, & erit communis aliarum omnium mensura». *Regulae XIV*, A. T., X, p. 449.

¹⁶ *Regulae XIV*, A. T., X, pp. 449-450: «atque in illâ intelligemus tot esse dimensiones, quot in ipsis extremis, quae inter se erunt comparanda, eademque concipiemus, vel simpliciter ut extensum quid, abstrahendo ab omni elio, tuncque idem erit cum puncto Geometrarum, dum ex ejus fluxu lineam componunt, vel ut lineam quamdam, vel ut quadratum».

permette di esprimere quantità note, ignote e le loro relazioni reciproche. Tali proporzioni possono essere stabilite assumendo il problema come già risolto. Ponendo infatti «come note le cose ignote [...] intuiamo la dipendenza di ciascuna dalle altre senza che l'ordine sia mai interrotto»¹⁷.

Nei prossimi capitoli, la triade *series, inductio sive enumeratio, comparatio* sarà letta a partire da uno studio di ottica, la cosiddetta «linea anaclastica» su cui dei raggi di luce paralleli convergono a seguito della rifrazione. L'analisi del problema esemplifica tutti i precetti finora esposti: la riduzione d'una questione complessa ai suoi elementi più semplici (metodo dell'analisi); l'incontro fra la definizione matematica delle leggi del fenomeno e la valutazione fisica della densità del mezzo coinvolto. L'approdo, infine, all'ultimo livello dell'implicazione (la conoscenza della natura della luce come conoscenza di una potenza naturale), che Descartes legge attraverso il confronto fra grandezze sconosciute e grandezze note¹⁸. Una volta determinata l'istantaneità dell'effetto fisico sarà possibile tradurre tutti gli altri passaggi del problema, precedentemente risolti dall'analisi, in una sequenza deduttiva ordinata.

Sofferamoci allora sul percorso storico che conduce Descartes allo studio dell'anaclastica offrendo alla *Regula VIII* le condizioni per un corretto uso dell'*inductio sive enumeratio* in fisica.

¹⁷ «ut quotcumque erunt in una propositione magnitudines ignotae sibi invicem omnes subordinentur». *Regulae XVII*, A. T., X, p. 459. Si veda anche *Géométrie*, I, A. T., VI, p. 372.

¹⁸ Cfr. *Regulae VIII*, A. T., X, p. 394. Tale principio è ribadito dalla *Regula XVII*, A. T., X, pp. 460-461: «nos agnoscere eorum, quae in questione sunt ignota, talem esse dependentiam a cognitis, ut plane ab illis sint determinata».

IV

Primi modelli cartesiani della luce

- I) Il soggiorno parigino di Descartes degli anni '20 e gli studi di ottica. Descartes and Mydorge

La presentazione, nella *Regula VIII*, dello studio dell'anaclastica, ovvero della curva in un diottro suscettibile di convertire un fascio di raggi luminosi paralleli in un fascio di raggi convergenti, riassume i risultati ottici su cui Descartes lavora alla metà degli anni '20, ma rivela anche l'applicazione dei precetti più importanti del metodo: la scomposizione di un problema nei suoi elementi più semplici, il rapporto fra matematica e geometria per la soluzione delle questioni ottiche, l'enumerazione sufficiente dei dati che servono a spiegare l'elemento più semplice raggiunto dall'analisi. Nelle *Regulæ*, infatti, lo statuto degli esempi in matematica e in fisica si trasforma: lo si è visto nella ricerca dei medi proporzionali, che chiarisce la scienza generale delle proporzioni esposta nella *Regula VI* e nella riduzione dei colori a grandezze omogenee nella *Regula XII*. La presentazione dei risultati relativi allo studio dell'anaclastica conferma l'efficacia del metodo in ottica e in fisica.

Nelle prossime sezioni concentreremo l'attenzione sul contesto storico e sulle modalità in cui avviene l'elaborazione della legge del seno grazie alla quale Descartes affronta lo studio della linea anaclastica. La *Regula VIII* mostra la combinazione della legge matematica con un metodo più generale dell'ordine e della scoperta scientifica.

Intorno alla metà degli anni '20, l'indagine cartesiana sul fenomeno della luce verte su due elementi che rimarranno al centro delle dimostrazioni fisiche ed ottiche successive: la determinazione geometrica del raggio luminoso; la relazione tra la forza della luce e la

densità delle superficie coinvolte nella rifrazione. In questo periodo Descartes non possiede ancora una teorizzazione matura della legge del seno: piuttosto, lo studio dell'anaclastica, risalente allo scambio di Descartes fra il 1626 e il 1629 con Mydorge e Beeckman, è fortemente influenzato dalle riflessioni teoriche della tradizione, in particolare da Keplero, da cui Descartes e Beeckman riprendono l'analogia con la leva per ridurre a geometria il passaggio della luce da un mezzo rarefatto ad uno più denso¹.

Secondo Milhaud, la periodizzazione delle ricerche sulla rifrazione si attesta tra il 1628-29², anni prossimi al rinvenimento dei modelli e delle prove che spiegano il fenomeno dei pareli e la produzione dei colori nell'arcobaleno³. Le indicazioni di Costabel non si discostano da tale ricostruzione⁴. In realtà, una prima versione del comportamento rifrattivo della luce è contenuta in un passaggio delle

¹ Secondo P. Costabel, applicare tale analogia alla scoperta della legge di rifrazione è del resto cosa ben diversa dalla vera e propria risoluzione dell'anaclastica, ovvero la determinazione del punto in cui due raggi paralleli convergono: «celle ci consiste en fait à déterminer une curbe par une condition définissant sa tangente, c'est-à-dire à résoudre une problème inverse de tangente, ou une équation différentielle du 1er ordre». *Démarches originales de Descartes savant*, cit., p. 57. La corrispondenza con Ferrier, fra l'ottobre e il novembre 1629 [A. T., I, pp. 38-69] rivelerà nondimeno varie difficoltà nella realizzazione di lenti concave e convesse: «n'espères pas – dice Descartes all'artigiano – avec toutes ces machines de faire des merveilles du premier coup». Con il tempo e la perseveranza Descartes spera tuttavia un giorno di arrivare a vedere «s'il y a des animaux dans la lune». A. T., I, p. 69.

² Milhaud, peraltro, ridimensiona fortemente il ruolo dell'*esperienza* nella scoperta della legge del seno, trascurando la stratificazione, analizzata in precedenza nelle cinque proposizioni della lettera di Mydorge a Mersenne [febbraio-marzo, 1626, *Correspondance*, cit., pp. 404-415], che avevano guidato Mydorge nella verifica delle lenti iperboliche e nello scambio scientifico con Descartes: «il n'a fait lui-même [Descartes] qu'une seule vérification avec le verre hyperbolique, taillé par Mydorge [...]. Au reste, si nous nous en tenons à ce que Descartes nous donne lui lui-même dans ses écrits, nous ne trouvons pas chez lui d'autres démonstrations de sa loi que celle qu'il expose dans la *Dioptrique*, livre VIII». *Descartes savant*, cit., pp. 108-109.

³ Una cosmologia della luce nel *Traité de la Lumière* sarebbe impensabile, del resto, senza una teoria efficace della rifrazione, espressa in schemi fisico-geometrici. Nel novembre 1630, Descartes riferisce a Mersenne dei suoi progetti su *Dioptrique*, teoria dei colori e il *Monde*, iniziato nel 1629 e non ancora terminato: «J'y veux insérer un discours où je tâcherai d'expliquer la nature des couleurs et de la lumière, lequel m'a arrêté depuis six mois». Descartes a Mersenne, 25 novembre 1630, A. T., I, p. 179.

⁴ P. Costabel, *Démarches originales de Descartes savant*, cit., pp. 71-72.

Cogitationes Privatae, un'opera giovanile di Descartes, composta tra il 1619 e il 1621, molto prima del possesso di prove conclusive sulla legge di rifrazione⁵.

Il cosiddetto «periodo parigino» del filosofo francese si divide in due intervalli, interrotti da brevi spostamenti fuori Parigi. Adam, seguendo Baillet, data il ritorno di Descartes nella primavera del 1622, e lo colloca a Parigi nell'inverno 1622-23⁶. In questi anni hanno anche inizio i contatti con Mersenne⁷. Dalla fine del 1623 al maggio/giugno 1625 Descartes è in Italia. Il secondo soggiorno, più importante, ha inizio dall'estate del 1625 fino al tardo 1628 quando avverrà il trasferimento definitivo nelle Provincie Unite⁸.

⁵ *Cogitationes privatae*, A. T., X, p. 25-26 : «lux quia non nisi in materia potuit generari, ubi plus est materiae, ibi facilius generatur, caeteris paribus; ergo facilius penetrat per medium densius quam per rarius. Unde fit ut refractio fiat in hoc a perpendiculari, in alio ad perpendicularem; omnium autem maxima refractio esset densissimum, a quo iterum exiens radius egrederetur per eundem angulum». Secondo Sabra, l'assunzione della maggiore velocità nel mezzo più denso anticipa alle *Cogitationes* la formulazione della legge di rifrazione esposta più tardi nella *Dioptrique*. A prova di tale connessione, Sabra si sofferma sull'uso, nella seconda parte del passaggio delle *Cogitationes*, del termine, *whence* (unde) che denoterebbe una dipendenza logica tra i fattori della penetrazione e della densità: «the second assertion, beginning with *whence*, in fact records an observation that is completely independent of any view regarding the speed of light in different media. Why, then, does Descartes present this second assertion as a consequence of the first? Now such a deduction can be performed if we combine with the first assertion a further assumption expressed in the *Dioptric*, viz. that the horizontal component of the incident velocity is unaltered by refraction. This combination, however, would necessarily yield the sine law. Did Descartes therefore possess the sine law when he wrote the above passage in 1619-21? Was this law already associated at this time with a proof similar to that published in the *Dioptric*? If not, what were his reasons for regarding the deflection from or towards the normal as a result of the decrease or increase in speed respectively? Why *whence* ?». *Theories of Light from Descartes to Newton*, cit., p. 106. Per i rapporti tra le ricerche intorno al 1620, le elaborazioni ulteriori con Mydorge sull'anaclastica e la formalizzazione definitiva della rifrazione nella *Dioptrique*, vedi anche E. Lojacono, nota 10 a *Dioptrique*, II, [A. T., VI, pp. 96-98], *Opere Scientifiche II*, cit., pp. 210-213.

⁶ Ch. Adam, *Vie et Œuvre de Descartes*, A. T., XII, pp. 62, 63, 71 ; Baillet, *Vie de Monsieur Descartes*, II, cit., pp. 104-105.

⁷ A. Baillet, *ibid.*, pp. 108-109.

⁸ Adam, *Vie et Œuvre de Descartes*, A. T., XII, p. 63.

A Parigi Descartes si muove fra circoli di *savants* come Mydorge, Mersenne, Alleume, Hardy, Villebressieu, Ferrier⁹. Descartes entra in contatto anche con religiosi come il teologo agostiniano Padre Gibieuf¹⁰. Il campo delle ricerche ottiche intraprese da Descartes con Mydorge e Mersenne non è limitato in rigidi confini procedurali: gli studi sulla rifrazione si intrecciano ad una teoria delle lenti, ispirata in particolare agli *Ad Vitellionem Paralipomena* kepleriani¹¹, ma entrano anche in contatto con le cosiddette «scienze curiose»¹², a cui Descartes farà riferimento, se pur polemicamente, nel *Discours*¹³.

⁹ Stando alla ricostruzione di A. Baillet, siamo all'altezza del 1625/1626: *Vie de Monsieur Descartes*, II cit., pp. 135-154. In merito ai rapporti tra filosofia naturale, ambito epistemologico della giustificazione delle verità matematiche e conoscenza del mondo empirico nel dibattito scientifico francese del 1619-1625, si vedano i lavori di R. Pintard, *Le Libertinage Érudite dans la première moitié du XVII siècle*, cit.; J. S. Spink, *French Free-Thought from Gassendi to Voltaire*, Athlone Press, 1960.

¹⁰ A. Baillet, *Vie de Monsieur Descartes*, II cit., pp. 135-142.

¹¹ La conoscenza di Keplero ispira soprattutto le ricerche ottiche sulla formazione dell'immagine nella camera oscura e nell'occhio. Si veda in proposito *Ad Vitellionem Paralipomena*, G. W., pp. 24-30.

¹² Si pensi, per citare alcuni esempi, a G. Della Porta, *Magiae naturalis, sive de miraculis rerum naturalium libri IV*, Napoli, M. Cancer, (ed.), 1558 (2. ed. O. Salviani (ed.), 1589, Napoli); L. Leurechon, *Récréation mathématique, composée de plusieurs problèmes plaisants et facétieux, en fait d'arithmétique, géométrie, mécanique, optique*, Ian Appier Hanzelet, Pont-à-Mousson, 1626. Si vedano specialmente i problemi: LXXX, LXXXII, LXIV che Descartes avrà presenti nell'elaborazione della *Dioptrique*.

¹³ Le cosiddette *scienze curiose* sono chiamate nel *Discours* cattive dottrine, *mauvaises doctrines*: «et enfin pour le mauvaises doctrines, je pensais déjà connaître assez ce qu'elles valaient, pour n'être plus sujet à être trompé, ni par les promesses d'un alchimiste, ni par les prédications d'un astrologue [...] ni par les artifices ou la vanterie d'aucun de ceux qui font profession de savoir plus qu'ils ne savent». *Discours* I, A. T., VI, p. 9. Il richiamo polemico di Descartes va qui all'insegnamento che confonde esperienze matematiche ed interessi scientifici con l'*arcanum* della tradizione cabalistica, magica, teologica etc. Un progetto culturale e sapienziale che punta ad un dominio tanto della realtà fisica, quanto di quella immateriale e invisibile, che mischia magia naturale, intesa come ausilio teorico per lo studio della natura e scienze esatte. In tale ambito spiccano, tra il XVI e il XVII secolo, i nomi di Girolamo Cardano (1510-1576), Giambattista della Porta (1535-1615), ma anche Bruno, Campanella, Bacon, Fludd, Lullo. Su alcune linee del dibattito riguardante la nascita del sapere pubblico della scienza fra 1500 e 1600, vedi E. Garin, *La cultura del Rinascimento*, Il Saggiatore, Milano, 1996; P. Rossi, *La magia naturale del Rinascimento*, Utet, Torino, 1989; *La nascita della scienza moderna in Europa*, Laterza, Bari, 2004.

Al di là della precisa collocazione di Mersenne nelle ricerche cartesiane sulla rifrazione¹⁴, la corrispondenza con il *savant* francese e il confronto con Mydorge e Cornier¹⁵ costituiscono una sicura fonte di ispirazione per la fisica e la matematica cartesiane degli anni '20¹⁶. Mersenne è una delle figure intellettuali più impegnate a comporre gli studi di musica, meccanica, ottica all'interno della cornice matematica: essendo applicabile a qualsiasi «quantità intelligibile», la matematica,

¹⁴ P. Costabel ipotizza l'origine della scoperta di Descartes a partire dai suggerimenti di Vasseur: *Règles*, cit., p. 317. Indicazione non esatta, secondo Shea, poiché «il Le Vasseur che Descartes conosceva e nella cui casa era sempre un ospite benvenuto (anche se non sempre cortese) era il signore d'Etioles che risiedeva a Parigi ed era un amico del padre, mentre la persona nominata nella lettera è Guillaume Le Vasseur, che viveva a Rouen e fu un rinomato costruttore di strumenti». *La Magia dei Numeri e il Moto*, cit., p. 157. Su Nicolas Le Vasseur signore d'Etioles, si veda A. Baillet, *La vie de monsieur Descartes*, I, cit., pp. 130-131, 136, 152-154. Per Guillaume Le Vasseur: *Correspondance du P. Marin Mersenne*, vol. I, cit., pp. 242-243.

¹⁵ Seguendo la ricostruzione di De Waard, «probablement sollicités par Mersenne, Mydorge et Descartes découvrirent la loi de la refraction, et la forme des verres quin en devait résulter [...]. Dans la partie de ses *Quaest. in Gen.* où Mersenne traite de la dioptrique, il témoigne de sa connaissance des ouvrages de Witelo et de Kepler, dont il reproduit (col. 762) la construction du rayon réfracté; médiocrement convaincu cependant que la réfraction se fasse seulement à la surface du milieu réfringent, il fait quelques remarques générales sur les conceptions de Kepler relativement à la réfraction astronomique, et note son hypothèse sur la résistance du milieu (col. 820) [...]. La véritable loi de réfraction, trouvée déjà par Snellius (cfr. la lettre n° 122) fut redécouverte sans doute par les mathématiciens de Paris, vers la date de la présente lettre, au cours des recherches entreprises à l'instigation de Mersenne (cfr. ci-dessus, p. 298), en vue de déterminer la surface que doivent avoir les verres brûlants pour réunir par réfraction tous les rayons parallèles en un seul point. A cette époque Descartes participa aussi; même si Baillet a raison de parler de absence (voir ci-dessus, p. 335), cette absence ne dut pas être longue, sa présence à Paris vers le milieu du mois de mars étant établie par une lettre suivante de Cornier (no° 53)». *Correspondance du P. Marin Mersenne*, I, cit., pp. 299, 357-358.

¹⁶ Secondo Descartes, l'esercizio di tali discipline da parte degli scienziati a lui contemporanei è tuttavia raramente posto in relazione ad un progetto metodico più generale che guardi oltre al mero contesto tecnico dell'indagine e alle motivazioni interne alle teorie. Se da un lato la matematica e le scienze applicate, praticate da Fermat, de Beaune, Petit, Hardy, Desargues, Mydorge, Roberval, affascinano Descartes in virtù delle certezze offerte dai loro procedimenti tecnici, la limitazione troppo specialistica di questi saperi è rifiutata a vantaggio di una riorganizzazione più vasta di tutto il sapere, basata su un metodo certo ed utile alla conoscenza: *Discours*, II, A. T., VI, p. 17. Per le ricerche di ottica cartesiana degli anni '20 si veda la corrispondenza tra Mydorge e Mersenne, nella quale sono contenuti i risultati dello scambio con Descartes: *Correspondance du P. Marin Mersenne*, I, cit., pp. 404-415.

e, in particolare, uno dei suoi rami principali, l'ottica, concorrono, secondo Mersenne, ad una matematizzazione dell'universo fisico di cui esse sono le applicazioni privilegiate¹⁷.

Mydorge, ricco funzionario e Tresorier de France, versato nella collaborazione con altri matematici¹⁸, lavora con Descartes alle leggi di rifrazione e alla teoria delle lenti, conduce insieme a Mersenne esperimenti di catottrica e si interessa al metodo di costruzione delle sezioni coniche, riportato nel secondo libro dei *Prodromi catoptrorum et dioptrorum*¹⁹. La catottrica conserva per il matematico parigino un alto valore tecnico in virtù dello studio sulle proprietà dell'immagine negli specchi concavi, convessi e sferici, che nello stesso periodo assorbe l'attenzione di altri geometri come Cornier e Alleaume²⁰. La corrispondenza di quest'ultimo con Peiresc

¹⁷ Si vedano le *Questions inouyës*; *Questions Harmoniques*; *Les Questions theologiques*; *Les mechaniques de Galilée*; *Les Préludes de l'Harmonie Universelle*. Cfr. R. Lenoble, *Mersenne*, cit., pp. XIX-XXI. In particolare, la riduzione meccanica dei fenomeni rimanda, per Mersenne, principalmente alle leggi del movimento, della caduta, dell'inerzia. Lenoble vede specialmente la legge di inerzia come un elemento concettuale chiave: «la brisure s'est faite le jour où, pour parler comme M. Brunshvieg, le mode *horizontal* d'explication scientifique, par des relations allant du phénomène au phénomène, a été substitué au type *vertical* d'explication, par une relation, si laborieuse quelle puisse être, du concept scientifique au prototype éternel. La découverte du principe d'inertie lui permettra [Mersenne] enfin de donner un contenu positif à la notion encore confuse de lois naturelle». R. Lenoble, *Mersenne*, cit., p. 217.

¹⁸ Per una presentazione di Mydorge e delle sue competenze in ottica e matematica si veda la testimonianza di Mersenne, citata da De Waard alla nota 70 delle *Correspondance du P. Marin Mersenne* [I, cit., p. 335]: «Mersenne avait déjà écrit: *nobilem virum D. Mydorgium fiscii gallici apud Ambianos praefectum, hujus saeculi praestantissimum mathematicum, omnia speculorum arcana hactenus inaudita brevi aperturum* (Quaest. in Gen., col. 500). Entre 1624 et 1626 Mydorge avait préparé sur la *Récréation mathématique* du P. Leurechon (voir l'éclaircissement à la lettre 53) des *Notes* qui concernent tout les problèmes de géométrie et de catoptrique. Il y déclarait (éd. 1630, 1^o partie, p. 172) que la question des miroirs lui avait inspiré traité spécial: «c'est là – dit-il – où nous avons pleinement examiné la vérité de ces relations et par l'histoire et par la cognoissance du subject en soy» ».

¹⁹ Si tratta dei *Prodromi catoptrorum et dioptrorum sive conicorum operis ad abdita radii reflexi et refracti mysteria, Libri Quator*, Paris, 1639.

²⁰ Agli inizi degli anni venti, il *savant* protestante Jaques Alleaume è il caposcuola degli studi parigini. Allievo di Viete, Alleaume lavora sui temi della prospettiva, della diottrica, della catottrica e collabora con l'artigiano Ferrier che gli succederà nella molatura delle lenti iperboliche, sotto la guida di Descartes e Mydorge. Per

nel 1621 ne è la testimonianza, essendo entrambi all'opera nella costruzione di una macchina per lavorare le lenti ed investigare le proprietà degli specchi parabolici²¹.

Nella lettera di Cornier a Mersenne del 16 marzo 1632 troviamo peraltro un duplice riferimento a Descartes, come «colui che ha dato ragione delle rifrazioni»²², e all'artigiano Ferrier²³, costruttore di strumenti per la matematica e la fisica, in stretto contatto con molti dotti parigini (Jan-Baptiste Morin, Jaques Alleaume, Claude Mydorge), insieme ai quali discute e effettua esperimenti ottici²⁴. Tramite Mydorge, Ferrier entra in contatto con Descartes che gli commissiona, tra il 1626 o il 1627, alcuni esperimenti sulla rifrazione e lo informa dell'invenzione della figura iperbolica per il taglio dei vetri²⁵. La collaborazione fra i due continuerà anche agli inizi degli anni '30 quando Descartes invita Ferrier nelle Provincie Unite per lavorare con lui sui temi dell'ottica²⁶.

L'incrocio di Descartes con il fermento scientifico parigino accresce la riflessione sui problemi della matematica preparando il secondo «caso esemplare» del metodo, esposto nelle *Regulæ* dopo la

qualche cenno storico ad Alleaume e alle sue collaborazioni con Mydorge, vedi De Waard, nota 70, in *Correspondance du P. Marin Mersenne* vol. I, cit., p. 617.

²¹ Cfr. De Waard, *Correspondance du P. Marin Mersenne*, I, cit., pp. 265-266 : «On s'étonne que Mersenne ne parie nulle part de la machine de Jacques Alleaume, que Peiresc avait examinée sans doute avant 1621 (cf. p. 240) : "il me souvient – écrivait celui-ci à Gassendi – d'avoir veu chez deffunct Mr. Alleaume, disciple de ce grand Mr. Viette, l'instrument qu'il avoit fait pour former la figure parabolique necessaire à faire des verres convexes qui ne confondissent pas les rayons des images représentées à travers iceulx"».

²² *Correspondance du P. Marin Mersenne*, I, cit., pp. 418, 420.

²³ *Ibid.*

²⁴ Sulla vicenda si veda G. Belgioioso, *Descartes e gli artigiani*, in *La Biografia intellettuale di Descartes* cit., pp. 113-165.

²⁵ Descartes a Golius 2 febbraio, 1632, A. T., I, pp. 221-223.

²⁶ Discussioni teoriche e problemi tecnici occupano gran parte dello spazio della corrispondenza degli anni '30: si veda il resoconto di Descartes a Costantin Huygens nel dicembre 1635 sulla produzione da parte di Mydorge e Ferrier di una lente iperbolica convessa (A. T., I, pp. 336-337). Nella lettera, Descartes fa riferimento alla difficoltà incontrata da Ferrier nel costruire lenti concave. Lo scambio epistolare del 1629 conferma i diversi progetti di macchine, realizzate per la molatura delle lenti. Vedi Descartes a Ferrier, 8 ottobre, 1629, A. T., I, pp. 34-35; Ferrier a Descartes, 26 ottobre, 1629, A. T., I, p. 39. Descartes si lamenterà con Mersenne della mancata realizzazione dei disegni a causa di problemi pratici e degli impegni di Ferrier: Descartes a Mersenne, 18 marzo, 1630, A. T., I, p. 129.

ricerca dei medi proporzionali: lo studio dell'anaclastica. Il cammino che porta alla scoperta della legge di rifrazione procede, come affermano Sabra²⁷ e Costabel²⁸, sullo sfondo della tradizione. Descartes non fa alcun cenno a fonti di ispirazione; una frase, nella lettera a Mersenne del 1638, è tuttavia rivelatrice: «Keplero è stato il mio primo maestro di ottica»²⁹. Un diagramma che troviamo all'inizio della *Dioptrice* kepleriana – il modello della *leva* –, ripreso da Beeckman in una nota del suo *Journal* contenuta nell'edizione Adam Tannery dell'opera cartesiana³⁰, è in effetti molto simile a quello che

²⁷ Sabra la analizza nei termini delle componenti implicate nel movimento dei raggi, suggerendo in Keplero il possibile referente per la riflessione: *Theories of Light from Descartes to Newton*, cit., p. 78. La proposizione XIX, Cap. 1, degli *Ad Vitellionem*, considera infatti la riflessione di un raggio su un piano secondo due componenti, normale e parallela: «cum quid oblique movetur versus superficiem, motus is componitur ex perpendiculari et parallelo superficiei. At superficies tantum ei parti obiicitur, quae est in se perpendicularis, non ei, quae est sibi parallelus. Quare nec impedit sibi parallelon, sed patitur mobile resiliendo pergere ad partem alteram, sicut advenerat». Keplero, *Ad Vitellionem Paralipomena*, G. W., II, p. 25.

²⁸ P. Costabel, *Démarches originales de Descartes savant*, cit., pp. 71-72.

²⁹ Descartes a Mersenne, 31 marzo, 1638, A. T., II p. 86.

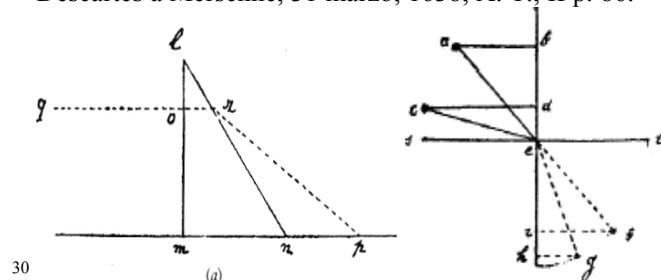


Figura 2

Sotto la figura Beeckman scrive: «cognito uno angulo refractionis, deducit inde reliquos secundum angulorum sinus: ut enim, inquit, *ab* ad *hg*, ita *cd* ad *if*» A. T., X, p. 336. Anche De Waard rintraccia l'occorrenza di tale modello geometrico nel *Journal*: nota 110 a *Correspondance du P. Marin Mersenne I*, cit., pp. 425-426: «les raisons de la réfraction avaient été exposées par Kepler dans ses *Ad Vitellionem Paralipomena* de 1604, notamment au cap. 1, Prop. XX, pp. 15 sqq., et au cap. IV, 6 (*causae quantitatis refractionum*, pp. 109 sqq.). L'auteur formulait l'hypothèse qu'une matière plus dense oppose plus de résistance à la lumière, et que cette résistance croît avec l'obliquité du rayon incident; en comparant le mouvement de la lumière avec celui d'une boule, il démontrait qu'un rayon tombant obliquement sur la surface qui sépare les deux milieux, doit décliner de son chemin suivant les conditions d'équilibre de la balance (o. c., pp. 17-21). Beeckman adopta d'abord l'hypothèse de Kepler (*Journal*, fol. 44 recto)». Si vedano anche i commenti di W. R. Shea *La Magia dei Numeri e il Moto*, cit., pp. 166-170, sul rapporto tra Descartes e Keplero via Beeckman a proposito del modello della *leva* per lo studio della rifrazione. Sabra riporta il modello di

Descartes fornirà a Beeckman l'8 ottobre del 1628 per determinare l'angolo di rifrazione; Costabel lo commenta come un'indicazione importante della trasmissione dei risultati di Descartes a Beeckman in merito alla rifrazione³¹. Sarà la *Dioptrique* a stabilire in un'argomentazione matematica conclusiva le premesse fisico-meccaniche e i primi modelli geometrici di descrizione del fenomeno luminoso³². L'iniziale ripresa del diagramma kepleriano da parte di Descartes segna tuttavia il punto di partenza verso l'individuazione del rapporto costante fra angoli di incidenza e di rifrazione; un rapporto che dipende dalla natura dei mezzi coinvolti e si misura esplorando sperimentalmente il fenomeno.

Se l'ottica di Mersenne e Mydorge rimane estranea all'integrazione con un metodo che tenga insieme matematica, fisica ed epistemologia, il lavoro sul tema della luce segnala, al contrario, nel caso di Descartes un impegno scientifico più vasto: la seconda parte delle *Regulae* completerà infatti l'iniziale fisica cartesiana, influenzata dal corpuscolarismo di Beeckman, con una più precisa definizione metodica che si avvale della scienza geometrica classica, di tecniche induttive, e di una visione meccanica più generale dei fenomeni naturali.

La scoperta delle leggi di rifrazione, utili alla costruzione delle lenti, si unisce così all'articolazione delle leggi matematiche, esprimibili geometricamente su basi fisico-meccaniche. In questo

Keplero all'alterazione del raggio analizzata da Witelio: *Theories of Light from Descartes to Newton*, cit., pp. 98-99.

³¹ «Lorsque Beeckman reçut le 8 octobre 1628 la visite de Descartes, il nota que la relation des sinus était rattachée par son visiteur à une analogie statique. Ce que Beeckman consigna dans son *Journal* n'est pas suffisant pour avoir de cette analogie une idée précise, sinon que Descartes voyait l'équilibre d'une balance à bras égaux inclinés, et dont l'un plonge dans l'eau, nécessiter le relèvement de ce dernier bras du fait que la poussée du liquide le rend plus léger». P. Costabel, *Démarches originales de Descartes savant*, cit., pp. 71-72.

³² Nella *Dioptrique*, la proprietà fisica del mezzo rifrangente è espressa da un diagramma che spiega la deviazione del raggio incidente a seguito della sua rifrazione rispetto alla superficie del mezzo. Nella *Dioptrique*, tuttavia, Descartes non fa alcun cenno al cammino che ha condotto alla scoperta della rifrazione, ovvero alla determinazione dei seni di incidenza e di riflessione. Evidentemente, all'altezza degli anni '30, tali accorgimenti non sono necessari, agli occhi di Descartes, per gli scopi pratici di molatura delle lenti avviata con Ferrier.

quadro, la scoperta della legge di rifrazione può essere utilmente confrontata alle elaborazioni più mature della *Dioptrique* e del *Traité de la Lumière*, oggetto della seconda e terza parte del nostro lavoro. Quel che per ora ci preme tuttavia sottolineare sono le modalità attraverso le quali l'approccio iniziale di Descartes in fisica e matematica si trasforma nelle *Regulæ*, in particolare nella *Regula VIII*: qui, metodo dell'analisi, induzione, e una prima formulazione matematica delle leggi di rifrazione appaiono infatti esplicitamente integrati.

II) Riflessione e rifrazione

In una lettera inviata a Mersenne, tra il febbraio e marzo 1626, Mydorge fa riferimento alla genesi della legge di rifrazione, culminante in una teoria della costruzione delle lenti iperboliche ed ellittiche¹. In essa, egli ricostruisce il percorso che porta alla scoperta di una delle leggi basilari dell'ottica – la determinazione del rapporto costante tra angoli di incidenza e di rifrazione – a cui il confronto con Descartes² conferirà una forma definitiva³. Nelle *Regulæ*, Descartes farà reagire la scoperta matematica con un uso euristico dell'induzione, capace di estrarre la natura *ultima* del fenomeno luminoso.

Nella prima proposizione della lettera di Mydorge a Mersenne, il problema della rifrazione appare del tutto slegato da una definizione fisica delle proprietà della luce; il procedimento seguito da Mydorge è

¹ Mydorge a Mersenne, febbraio-marzo, 1626, *Correspondance du P. Marin Mersenne*, I, cit., pp. 404-415.

² Il rapporto fra Descartes e Mydorge *via* Mersenne è sicuramente di massima rilevanza per la collocazione storica della legge del seno: da una prima versione della rifrazione, allo studio di Mydorge sulle sezioni coniche, applicate al trattamento delle lenti. Nella lettera di Mydorge a Mersenne del 1626 Descartes non è menzionato, ma, significativamente, Mydorge non attribuisce a se stesso la scoperta della legge, bensì ad un non meglio specificato *savant*. Ovviamente si tratta di Descartes. Sabra, cita questa lettera in nota, attestando la scoperta cartesiana delle componenti parallele della rifrazione prima del 1633: «it should be noted, however – afferma Sabra – that already in 1626 when Mydorge explained his propositions on hyperbolic glasses to Mersenne, he illustrated the sine law (which he had learnt from Descartes) with reference to a diagram from which the constancy of the parallel velocity could be deduced, and which would consequently yield to the law in the form $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{vr}{vi} = a$ constant, that is the form obtained in the *Dioptric*». *Theories of Light from Descartes to Newton*, cit., nota 33, p. 106.

³ Come rileva W. Shea, *La Magia dei Numeri e il Moto*, cit., pp. 156-158, «Wilbrod Snell, professore di matematica a Leida, dal 1615 fino alla morte, nel 1623, aveva formulato la legge di rifrazione in una forma di poco differente (dove l'indice di rifrazione è espresso come il rapporto cosec $r/\text{cosec } i$), ma non aveva mai pubblicato il risultato. Il suo manoscritto fu visto in seguito da Isaac Vossius e da Christiaan Huygens, i quali frettolosamente conclusero che Descartes aveva tratto le proprie idee da Snell. È generalmente riconosciuto che le cose non siano andate in questo modo, dal momento che Descartes aveva formulato la legge di rifrazione prima del 1628».

parallela, MN , incrocia il semicerchio LD nel punto N . Connettendo EN si ottiene il raggio rifratto richiesto. La sostituzione del diagramma di Mydorge con l'unica circonferenza presentata da Descartes nella *Dioptrique* avrà il vantaggio di esporre più chiaramente la legge nella forma $\sin i = n \sin r$ (dove i rappresenta l'angolo di incidenza, r l'angolo di rifrazione e n una costante caratteristica del mezzo rifrangente)⁵.

La ricostruzione geometrica della rifrazione effettuata da Mydorge è mutuata dagli studi di Harriot e Snell⁶, legati al modello tradizionale dell'«individuazione dell'immagine» al di sotto della superficie rifrangente. Il principio della «localizzazione dell'immagine» aveva permesso all'ottica medievale di misurare l'ampiezza degli angoli di incidenza in superficie riflettenti e rifrangenti. Keplero ne è di certo a conoscenza: esemplari, in tal senso, i primi cinque capitoli degli *Ad Vitellionem Paralipomena* (1604), dedicati alla natura della luce, ai fondamenti della riflessione, alla localizzazione delle immagini, alla misura della rifrazione e al meccanismo della visione. I *Paralipomena* riprendono il modello di Alhazen⁷ rispondendo al problema della formazione dell'immagine

⁵ *Dioptrique*, II, A. T., VI, pp. 100-105.

⁶ Il debito nei confronti degli antichi si estende infatti all'ottica contemporanea a Descartes, come testimoniano, ad esempio, le annotazioni di Snell a una copia degli *Opticae Libri Quattor* (1606) di Ramo apparse in J. A. Volgraff, *Pierre de la Ramee (1515-1572) e Willebrord Snell van Royen (1580-1626)*, in *Janus*, 18, 1913, pp. 595-625; e *Snellius' Notes on the Reflection and Refraction of Rays*, Osiris, I, 1936, pp. 718-725: «Refracta imago videtur in concorso perpendicularis et continuatae refractionis. Ad hanc experientiam propriam organum est excogitatum ab Alhazeno et repetitum postea a Vitellione». *Ibid.*, p. 720. Si veda anche la proposizione 22 del manoscritto di Snellius pubblicato da C. De Waard *Le manuscrit perdu de Snellius sur la refraction*, in *Janus*, 39-40, 1935-36, pp. 51-73: «imago refracta videtur in concursu continuatae refractionis et perpendicularis quae a visibili in refractivum planum demittitur. Experimentum elegens apud Alhazenum». Per la ricostruzione dei legami di Snellius con l'ottica antica rimandiamo a G. Milhaud *Descartes et la loi des sinus*, in *Revue générale des Sciences*, 1, janvier, 1907, p. 228.

⁷ Lo studio della luce da parte di Alhazen, Vitellione, Pecham, eredita dall'ottica geometrica antica le leggi di riflessione e rifrazione caratterizzate dalla scomposizione del moto nelle componenti normale e parallela alla superficie curva riflettente o rifrangente. Come rileva Lindberg, a partire dalla fine del XIII secolo molti principi dell'ottica medievale si trasferiscono nel nuovo assetto di ricerche

nell'occhio e nella camera oscura. In entrambi i casi, l'immagine è la rappresentazione visibile, costruita *punto per punto* nella retina, dei raggi che partono dall'oggetto luminoso. L'occhio e la camera oscura non catturano integralmente l'*imago*, bensì la *costruiscono* in accordo alla corrispondenza tra i punti dell'oggetto e quelli dell'immagine sulla retina. L'esempio che illustra la conversione dei raggi divergenti in raggi convergenti è quello della «sfera», ovvero l'analisi dei raggi che tagliano a diversa distanza una sfera trasparente, applicabile al funzionamento dell'occhio: ad ogni punto oggetto corrisponde un *punto immagine*, vertice del cono dei raggi che attraversano la figura⁸.

Mydorge non è estraneo all'ottica tradizionale⁹: per lui, la ricerca di una formulazione chiara e semplice della legge di rifrazione è nondimeno orientata, così come avverrà per la *Dioptrique* cartesiana, allo studio e alla costruzione delle lenti¹⁰.

culminanti nella teoria kepleriana dell'immagine retinica: *Theories of vision*, cit., pp. 122-123.

⁸ *Paralipomena*, G. W., II, pp. 177-178. Per la dimostrazione kepleriana della rifrazione, si veda lo studio di D. C. Lindberg, *Theories of vision*, cit., pp. 194-199. Tuttavia, Keplero rifiuta l'utilizzo dell'*imago-loci* come punto di partenza per l'analisi della rifrazione: *Paralipomena*, G. W., II, p. 88: «in genere frustra consulimus imaginem, aut locum imaginis, propter hoc ipsum, quod imago est. Nihil enim attinet medii densitatem, nihil ipsum reale lucis παθος, quid visui accidat, ex cuius errore imago resultat». In una lettera a Brengger [17 gennaio, 1605, G. W., t. 15, pp. 105, 109], egli ribadisce la differenza tra l'analisi dei raggi rifratti e l'individuazione dell'immagine: «non sunt idem reflexio et situatio imaginis». Per l'analisi puntiforme del fenomeno luminoso in Keplero, l'assunzione della molteplicità dei raggi implicati nel processo di visione, e la loro corrispondenza punto-per-punto alla pupilla, nonché la priorità della *rifrazione* nella ricostruzione geometrica della visione, si veda D. C. Lindberg, *Theories of vision*, cit., p. 207.

⁹ Il collegamento fra le indagini ottiche medievali e gli studi dei moderni, da Keplero in avanti, è ad esempio provato dalle note al manoscritto di Snell da parte di un suo allievo, Golius, indirizzate a Constantin Huygens nel 1632: Ch. Huygens, *Œuvres complètes*, 22 voll., Martinus Nijhoff, La Haye, 1888-1950 t. 13, p. 9: «Snellius, venerandae memoriae, praeceptor meus, tum Vitellionis calculo et tabulis, tum ex propriis ad observata plurima, eaque saepius et diversimode repetita, subductis, hoc formavit theorema opticum». Sui rapporti fra Descartes Huygens e Golius nella scoperta della legge di rifrazione si veda G. Milhaud, *Descartes et la loi des sinus*, cit. p. 225: «Constantin Huygens n'a certainement appris l'existence de ce travail que par la lettre que lui a adressée Golius en novembre 1632».

¹⁰ *Dioptrique*, II, A. T., VI, pp. 94-105.

Le quattro proposizioni finali della lettera di Mydorge a Mersenne¹¹ preparano il percorso di scoperta della legge di rifrazione, portando a compimento ciò che le esperienze sulla camera oscura e gli studi sulla fisiologia dell'occhio avevano iniziato: la determinazione esatta del percorso del raggio luminoso, da una prima forma cosecante alla legge del seno. In accordo alle direttive metodiche espresse nelle *Regulæ*, Descartes implementerà la soluzione matematica di Mydorge con una modalità induttiva per scoprire la natura ultima del fenomeno luminoso.

La proposizione seconda della lettera di Mydorge determina l'indice di rifrazione in un mezzo rifrangente¹² da cui Mydorge estrae la proporzione costante fra raggio incidente e raggio rifratto¹³. Interrogandosi sulle modalità di costruzione delle lenti, Mydorge descrive quindi la linea anaclastica su cui raggi paralleli si intersecano in un solo punto focale¹⁴: la proposizione quinta presenta i risultati ottenuti¹⁵. Nel passaggio dalla forma cosecante della rifrazione alla sua

¹¹ *Correspondance du P. Marin Mersenne*, I, cit., pp. 406-407.

¹² *Correspondance du P. Marin Mersenne*, I, cit., pp. 406: «estant donné quelconque diaphane, trouver la refraction du rayon qui venant de l'air, penetre ledit diaphane».

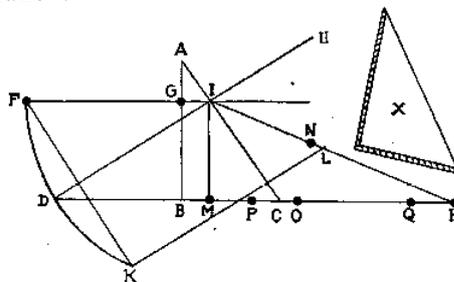


Figura 2

Mydorge traccia un raggio FG attraverso il prisma triangolare ABC . Il raggio entra nel prisma perpendicolare ad AB e viene rifratto sulla superficie AC verso E . DIH è la perpendicolare ad AC in I . La considerazione geometrica che segue è la cifra dell'eleganza dello strumento utilizzato. L'angolo di incidenza FID è uguale all'angolo BAC e, dunque, conosciuto fin dall'inizio. L'angolo di rifrazione HIE equivale alla somma degli angoli FID e IEC . Una sola misurazione, quella dell'angolo IEC è necessaria per determinare l'indice di rifrazione del materiale.

¹³ *Correspondance du P. Marin Mersenne*, I, cit., pp. 406-407.

¹⁴ *Correspondance du P. Marin Mersenne*, I, cit., pp. 407-408.

¹⁵ Nelle parole di Mydorge: «la refraction de quelconque rayon incline sur la surface de quelconque diaphane estant donnée, descrire la figure de cette surface, qui rende tous les rayons quelle reçoit paralleles ou qui les rassemble en un mesme

variante applicata alle sezioni coniche, Mydorge elabora la forma matematica del seno¹⁶. La legge del seno entra dunque in gioco per collegare l'iniziale formulazione ottica della cosecante con la descrizione della curva iperbolica dell'anaclastica. Il diagramma di Mydorge si avvicina molto a quello utilizzato nella *Dioptrique*, dove Descartes, discutendo del funzionamento delle lenti iperboliche ed ellittiche¹⁷, studia il rapporto tra angoli di incidenza e di rifrazione rispetto ai raggi incidente e rifratto AB e BI (fig. 4)¹⁸.

point, ou qui les ecarte. On les peut nommer convergens et divergens». *Correspondance du P. Marin Mersenne*, I, cit., pp. 411-412. «Parce que l'axe traversant de l'ellipse est plus grand que la distance de ses foyers et que dans l'hyperbole il est moindre, il arrive que les loix de leur refraction sont differens et qu'elles ne peuvent avoir le mesme effet dans les crystaux et autres diaphanes, si l'on ne change leur situation». *Ibid.*, p. 411.

¹⁶ *Correspondance du P. Marin Mersenne*, I, cit., pp. 412-413.

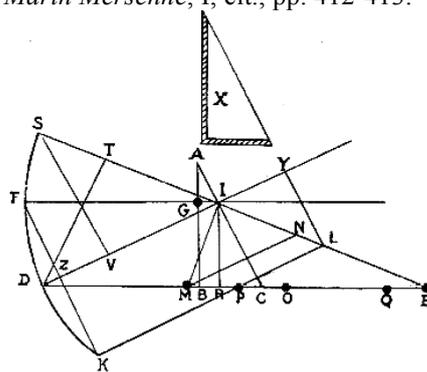


Figura 3

È l'equivalenza tra $FI/IL = SV/FZ$ che permette di equiparare FI/IL a EM/PQ .

¹⁷ *Dioptrique*, VIII, A. T., X, pp. 178-180.

¹⁸ *Dioptrique*, VIII, A. T., X, pp. 179-180. Descartes assume il segmento del raggio rifratto AB uguale a BI , lunghezza del raggio rifratto dal punto di incidenza al fuoco I . La prova procede, analogamente alle proposizioni seconda e terza di Mydorge [*Correspondance du P. Marin Mersenne*, I, cit., pp. 409-410], dalla dimostrazione della similarità fra i triangoli BLA , BFN e NMB , IGB :

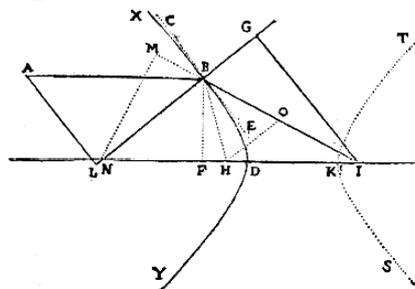


Figura 4

Lo studio sulla legge dei seni, dalle proposizioni di Mydorge alla rielaborazione da parte di Descartes¹⁹, viene direttamente connesso da Milhaud alla teoria cartesiana delle lenti, esposta nel *Discorso ottavo* della *Dioptrique*²⁰. La legge del seno sarà in effetti elegantemente sintetizzata nella *Dioptrique*, ma viene introdotta dalla complessa evoluzione della legge di rifrazione sviluppata da Mydorge.

¹⁹ La dimostrazione della legge del seno, ufficializzata nel *Discorso ottavo* della *Dioptrique*, viene ripresa anche nel 1629, quando Descartes mostra a Beeckman come una lente ellittica possa far convergere tutti i raggi incidenti paralleli in un fuoco. Beeckman, incalzato da Descartes, offre nel suo *Journal* [A. T., X, pp. 341-342] un diagramma molto simile (fig. 5) a quello cartesiano. Per la ricostruzione della dimostrazione rimandiamo a W. Shea *La Magia dei Numeri e il Moto*, cit., pp. 165-166:

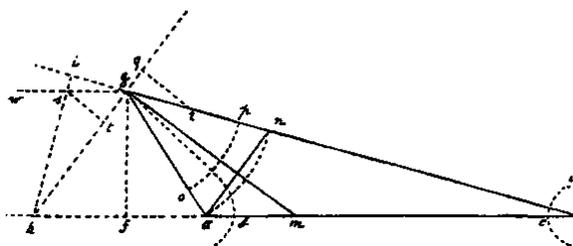


Figura 5

«con semplici strumenti geometrici e servendosi dei triangoli simili, Beeckman dimostra che: $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{st}{qr} = \frac{bc}{ae}$, dove bc = distanza tra i vertici, e ae = distanza tra i

due fuochi».

²⁰ G. Milhaud, *Descartes et la loi des sinus*, cit., pp. 226-227. Prendendo il caso dell'ellisse (fig. 6), Milhaud adotta la seguente analisi: il raggio AB entra nell'ellisse in B , parallelo all'asse DK , e rifratto nel fuoco I . Stabiliti $BA = BI$ e tracciata la normale alla tangente dell'ellisse nel punto B con AL e IG ad essa perpendicolari si dimostra che:

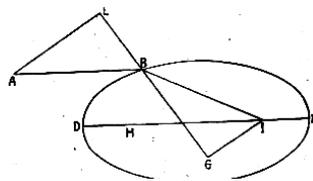


Figura 6

«le mouvement de la lumière étant devenu deux fois plus lent, (de B à I), le mouvement vers la droite garde sa vitesse première, de telle sorte que le sinus de l'angle de réfraction soit double du sinus de l'angle d'incidence. Autant vaut dire, et c'est la meilleure manière d'expliquer l'assurance tranquille de Descartes enonçant son postulat, qu'il nous demande d'admettre que le sinus devient double quand le passage de la lumière d'un milieu dans l'autre a pour effet de rendre sa vitesse deux fois moindre; et de même, que le sinus devient moitié, si la vitesse se double; bref, que le rapport des sinus garde une valeur fixe, qui ne dépend que de la nature des deux milieux».

La legge matematica della rifrazione converge tuttavia in un obiettivo ulteriore per Descartes: integrare gli studi fisici e matematici all'interno di una teoria dell'ordine che si avvale, nella *Regula VIII*, di una tecnica induttiva ed enumerativa per giungere alla definizione completa – matematica e fisica – del fenomeno della luce.

III) *Inductio e comparatio*. Lo studio dell'anaclastica

La *Regula VIII* contiene la seconda prova, dopo la ricerca dei proporzionali della *Regula VI*, del modello seriale e del metodo analitico esposto nelle *Regulæ*. Immediatamente successiva all'elaborazione dei concetti di analisi e ordine (*Regula V*) e al loro approfondimento nel modello seriale (*Regula VI*), la *Regula VIII* suggerisce, anzitutto, in mancanza di un'intuizione chiara ed evidente dell'intero anello della serie¹, di non procedere oltre nella ricerca: se tutte le strade sono state battute senza successo, ciò significherebbe compiere uno sforzo inutile. Semmai, occorrerà portare l'attenzione su tutto ciò che costituisce un grado completo nella serie («integrum gradum constituit in illa serie»)², cioè su un'idea perfettamente chiara alla mente, in modo da poter passare, in un secondo momento, e per ordine («illa omnia perlustrare ordine»), dai termini relativi a quelli assoluti. Ma, soprattutto, nella *Regula VIII* troviamo una delle applicazioni più importanti del precetto dell'enumerazione. Descartes propone due esempi³: il primo è reputato essere il più nobile («omnium nobilissimum exemplum»⁴), visto che il suo oggetto è la dimostrazione del primato epistemologico dell'intelligenza rispetto ad ogni altra nozione conoscibile dalla mente: «nulla infatti può essere conosciuto prima dell'intelletto, perché da questo dipende la conoscenza di tutte le altre cose. – Tuttavia è possibile, continua Descartes, analizzare – esattamente tutte le vie che si aprono agli uomini verso la verità mediante un'enumerazione sufficiente»⁵.

Il secondo esempio del metodo è invece di tipo ottico e descrive – nelle parole di Descartes – quella linea «quam in Dioptrica

¹ «Si in serie rerum quaerendarum aliquid occurrat, quod intellectus noster nequeat». *Regula VIII*, A. T., X, p. 392.

² *Ibid.*, p. 392.

³ «Haec omnia uno aut altero exemplo illustranda sunt». *Regula VIII* A. T., X, p. 394.

⁴ *Ibid.* p. 396.

⁵ *Ibid.*, p. 396.

anaclasticam vocant»⁶. Lo studio dell'ottica, che seduce il filosofo francese già nei primi anni '20 del XVII secolo, diventerà l'oggetto di indagine centrale di uno dei tre *Essais* del 1637, la *Dioptrique*. Nello specifico, il problema dell'anaclastica, ovvero la superficie nella quale dei raggi paralleli convergono a seguito della rifrazione in un singolo punto⁷, sarà trattato da Descartes nel *Discorso ottavo* della *Dioptrique*, una volta in possesso della legge di rifrazione, enunciata compiutamente nel *Discorso secondo* dello stesso trattato.

Lo studio della linea anaclastica è un ibrido di matematica e di fisica nel senso che tale linea può essere trovata solo a condizione che si disponga di nozioni fisiche (la luce è un fenomeno naturale) e matematiche (la proporzione fra gli angoli di incidenza e di rifrazione). Per risolvere questo problema, la *Regula VIII* privilegia un modello epistemologico di spiegazione, quello reso possibile dall'*enumeratio sive inductio* della *Regula VII*, che si innerva nel precetto più generale della disposizione seriale. La *Regula VIII* ha infatti l'opportunità di mettere all'opera e far interagire almeno tre componenti del metodo: le acquisizioni fisico-matematiche sulla legge del seno elaborate negli anni '20, il precetto della scomposizione del problema nei suoi elementi più semplici (*Regula VI*), l'impiego euristico dell'*enumeratio sive inductio* per definire l'ultimo termine raggiunto dall'analisi: la nozione della luce come *potentia naturalis*, a partire dalla quale tutti i passaggi della questione saranno ricostruiti in modo sintetico.

L'attenzione alle componenti fisiche e matematiche implicate nel fenomeno della rifrazione è centrale nella soluzione proposta nelle *Regulæ*: il testo, tuttavia, trascura il confronto con gli schemi geometrici tradizionali per mettere a frutto un altro modello, questa volta di natura epistemologica, ovvero la nozione di *inductio*, esposto nella *Regula VII* e tradotto dalla *Regula VIII* in un'efficace modalità esplicativa della luce grazie all'enumerazione ordinata di tutte le

⁶ *Ibid.*, A. T., X, p. 393. Analogamente a D. Garber, dal quale prendiamo spunto per le nostre analisi, crediamo che «cet exemple est un modèle de la méthode par excellence» (in *Descartes et la méthode en 1637*, in «Le Discours et sa méthode», cit., pp. 68-69).

⁷ *Regula VII*, A. T., X, p. 394.

potenze ad essa analoghe. Nella *Regula VIII* non vi sono cenni al percorso matematico compiuto da Descartes per spiegare la rifrazione; la legge viene appena ciatata. Piuttosto, Descartes fa riferimento alla necessità di collegare la prova matematica al metodo dell'analisi e dell'ordine teorizzato dalla *Regula V*⁸, lo stesso che sarà distinto nei precetti secondo e terzo del *Discours*:

Il terzo nel condurre con ordine i miei pensieri, cominciando dagli oggetti più semplici e più facili da conoscere, per salire a poco a poco, come per gradi, fino alla conoscenza dei più complessi, e supponendo poi un ordine anche tra quelli di cui gli uni non precedono naturalmente gli altri⁹.

La *Regula VIII* parte dunque dalla presentazione dei due angoli che permettono di individuare la linea in cui due raggi paralleli si rifrangono in un punto: «la determinazione di questa linea – afferma Descartes – dipende dalla proporzione che sussiste tra gli angoli di rifrazione e quelli di incidenza»¹⁰. Tale questione è però ancora «composta e relativa». Tralasciando qualsiasi investigazione empirica («a nulla perverrà se vorrà ascoltare su questa cognizione i Filosofi o mutuarla dall'esperienza»)¹¹, Descartes suggerisce di affrontare il problema fisico della differente densità dei media coinvolti (ad esempio l'acqua rispetto all'aria), che stanno alla base del diverso rapporto fra angoli di incidenza e angoli di rifrazione: «questa proporzione dipende dal loro mutare a seconda della varietà dei corpi intermedi; questo mutamento a sua volta dipende dal modo col quale il raggio penetra attraverso tutto il corpo trasparente»¹². Il dato fisico presuppone la spiegazione di un livello ancora precedente, dal punto di vista logico, («la natura dell'azione della luce»), a sua volta implicato nella domanda su «cosa sia in genere una potenza naturale che in tutta

⁸ *Regulae V*, A. T., X, p. 379.

⁹ *Discours*, II, A. T., VI, p. 19.

¹⁰ *Regulae VIII*, A. T., X, p. 394.

¹¹ *Ibid.*, p. 394.

¹² *Ibid.*, p. 394-395.

questa serie è il termine più assoluto»¹³. L'azione della luce come *potentia naturalis* rappresenta infatti il livello più semplice «percepito mediante l'intuito della mente» su cui il matematico potrà ricostruire la serie dei rapporti in modo ordinato.

A questo punto, la *Regula VIII* iscrive la tecnica enumerativa presentata nella *Regula VII* all'interno di una questione fisico-matematica:

Se non può riconoscere subito nel *secondo grado* la natura dell'azione della luce, enumererà, secondo la *Regola VII*, tutte le altre potenze naturali, affinché dalla conoscenza di qualche altra potenza naturale comprenda, almeno per analogia, di cui diremo in seguito, anche quella; e fatto ciò, ricercherà per qual ragione il raggio penetra per tutto il corpo trasparente; e così indagherà con ordine le altre cose, fino a che pervenga appunto all'anaclastica. E sebbene questa sia stata da molti fin qui ricercata invano, niente vedo tuttavia che possa esser d'impedimento all'evidente conoscenza di essa, per chi sappia fare perfetto uso del nostro metodo¹⁴.

L'*enumeratio sive inductio* di tutte le potenze che servono a spiegare, per analogia, la proprietà cercata è l'elemento chiave del confronto (*comparatio*) fra grandezze che Descartes consegna alla teoria dell'ordine e della serie esposta nelle *Regulæ*: un confronto che, trovandosi alla fine della dimostrazione, vale a dire nella determinazione dell'elemento più semplice scoperto dall'analisi, e non all'inizio della ricerca, si muove, in accordo all'interpretazione di Garber, in senso inverso rispetto alle linee dell'empirismo: se si vuole parlare di una «scoperta» dell'elemento più semplice, conseguita nello studio dell'anaclastica nella *Regula VIII*, la si deve infatti intendere nell'accezione strettamente matematica della prova del principio, o natura semplice, che la soluzione del problema richiede¹⁵.

¹³ *Ibid.*, p. 395.

¹⁴ *Ibid.*, p. 395.

¹⁵ «Experiment is required, not as in Bacon or in more modern theories of experimental method to start possible lines of induction, but to close off possible lines of deduction – In questo senso, prosegue Garber – the argument by

L'applicazione del metodo dell'analisi e dell'induzione alle ricerche matematiche cartesiane sulla rifrazione giunge insomma a risultati apparentemente contrastanti. Da un lato, le *Regulæ* provano l'esistenza di un modello matematico della luce, composto tra il 1626 e il 1628 grazie ad una legge non ancora definitiva del seno e, soprattutto, grazie ad una riflessione filosofica sullo statuto dell'*enumeratio sive inductio* come strumento ausiliario all'analisi per il controllo della catena deduttiva e la scoperta delle proprietà fisiche della luce. Sia le ricerche di Mydorge che quelle di Beeckman rimangono del tutto estranee ad una tecnica comparativa che sostenga l'indagine matematica. Nella versione definitiva delle *Regulæ*, la prova strettamente matematica dell'anaclastica sarà posta persino persino in ombra da Descartes. Questa scelta può sembrare anomala per una filosofia incentrata sul criterio dell'evidenza ed intenta a fornire prove incontrovertibili ai propri risultati scientifici. Riesaminando però lo studio dell'anaclastica alla luce del carattere metodico dell'inchiesta cartesiana, risulta chiaro come la vera garanzia dell'analisi si collochi per Descartes al livello della comprensione intuitiva delle nature più semplici. Il ricorso ad una «potenza naturale», pur non assimilata esplicitamente ad una natura semplice, va letto nel richiamo a tale criterio di certezza epistemologica, incomparabilmente superiore a qualunque applicazione tecnica.

La riduzione del fenomeno della luce, la cui legge di rifrazione è codificata in forma matematica, alla *classe* delle potenze naturali equivalenti, è in questo senso l'indice non solo dello spostamento d'attenzione di Descartes dalla soluzione di problemi strettamente matematici alla riflessione epistemologica delle *Regulæ*, bensì della forte necessità, alla fine degli anni '20, di integrare le ricerche condotte in ottica e in fisica ad una teoria della conoscenza certa ed evidente. L'istanza dell'ordine si complica così in un impiego dell'induzione e dell'enumerazione che fa da ponte fra lo studio

enumeration is a deductive argument for Descartes». D. Garber, *Science and Certainty in Descartes*, in *Descartes: Critical and Interpretive Essays*, cit., pp. 136-137.

matematico delle leggi naturali e la riduzione dei fenomeni fisici alle nature più semplici dell'intelletto.

PARTE SECONDA

Il *Traité de la Lumière* L'induzione al servizio d'una teoria della materia

I

«*Mon Monde*» La teoria della luce nel *Traité de la lumière*

- I) Le ricerche fisiche degli anni '30 (1629-1633) e la condanna di Galilei

Le esperienze scientifiche del giovane Descartes compiute in Olanda e a Parigi – dallo studio sulla caduta dei corpi e della pressione dei liquidi alle scoperte nel campo dell'ottica (in particolare la determinazione della legge di rifrazione) –, ne consacrano il nome come «excellent mathématicien et philosophe sans pareil»¹ presso i membri della République de Lettres del tempo; di Descartes sono apprezzate le competenze scientifiche e la versatilità nel rispondere a questioni diverse, dalla geometria alla meccanica, dalla medicina all'ottica. Lo afferma Guez de Balzac nel 1628, allorché domanda a Descartes «l'*Histoire de votre esprit*»², e lo conferma Baillet nella sua biografia³: gli scambi con *savants* e uomini di posizione – Mersenne, Mydorge, Villebressieu, Ferrier – spingono il filosofo francese ad approfondire il modello fisico-matematico delle prime ricerche con Beeckman, ma anche a «communiquer ses lumières» al pubblico. Nella *Regula VII* la riduzione dei fenomeni a grandezze scomponibili

¹ Cornier a Mersenne, 22 marzo, 1626, 24 dicembre, 1627, in *Correspondance du P. Marin Mersenne*, I, cit., pp. 429-430, 404.

² Balzac a Descartes, 30 marzo, 1628, A. T., I, p. 570.

³ A. Baillet, *Vie de Monsieur Descartes*, II, cit., p. 163.

in nature semplici e la scoperta per via analogica (*comparatio*) delle loro proprietà era stata affiancata alle tecniche dell'analisi matematica e della rappresentazione algebrica (*Regulae XVI-XXI*); via via che le ricerche in fisica si approfondiscono, la geometria naturale delle *Regulae* vede tuttavia messo alla prova il suo iniziale progetto di unificazione, chiedendo una più stabile giustificazione sul piano fisico che parta da principi «mieux établis, plus véritables et plus naturels qu'aucun des autres qui sont déjà reçus parmi les gens d'étude»⁴.

Tra il 1628 e il 1633, a seguito del trasferimento definitivo di Descartes in Olanda, cambiano così le prospettive del lavoro scientifico: appena il tempo di preparare il soggiorno «dans la solitude parfaite de ce pays médiocrement froid, où il ne sera pas connu»⁵, ed ecco che l'anonimato e la libertà di ricerca offerti dal paese straniero consacrano la scienza cartesiana degli anni '30 ad un nuovo progetto: costruire una fisica generale⁶, diretta secondo «la règle de la raison»,

⁴ Descartes a Villebressieu, estate, 1631, A. T. I, p. 251.

⁵ A. Baillet, *La Vie de Monsieur Descartes*, II, cit., p. 166. Sulla scelta di Descartes dell'Olanda come luogo, al tempo stesso, di ritiro spirituale e lavoro intellettuale, si vedano le ricostruzioni di A. Baillet, *La Vie de Monsieur Descartes*, II, cit., pp. 161-171; C. Adam, A. T., X, pp. 554-555; P. Dibon, *Regards sur l'Hollande du siècle d'or*, Elsevier, Amsterdam, 1954, pp. 459-470; Th. Verbeek, *Descartes and the Dutch*, cit., p. 13; S. Gaukroger, *Descartes. An intellectual biography*, cit., pp. 189-190.

⁶ L'affastellarsi di ricerche diverse occupa la corrispondenza cartesiana di questi anni: dall'idea di una sistematizzazione della fisica su basi metafisiche, alla necessità di un quadro metodologico coerente su cui installare le ricerche ottiche intraprese negli anni parigini. Una fitta rete di connessioni, che G. Buchdahl distingue in almeno tre branche: *high-order principles* o principi la cui necessità logica riflette uno statuto ontologico. In tal senso, il principio della quantità di moto «is an early and obscure recognition of it being neither purely conceptual nor a simple hypothesis nor yet an empirical generalisation, but rather a statement whose logic is that of the *functional a priori*». *Metaphysics and Philosophy of science*, cit., p. 148. Con *functional a priori* Buchdahl intende la funzione che permette di collegare aspetti logici ed empirici del discorso: *ibid.*, pp. 33-41 e J. R. Mayer, *Die Mechanik der Wärme*, ed. J. J. Weyrauch, 3rd ed., 1983, pp. 247-248, 59. Gli *explanatory principles* sono invece i mediatori fra l'ordine delle ragioni e il confronto empirico «in terms of which to understand, to grasp the significance of the phenomena». Le *hypothetical physical assumptions* sono infine strettamente associate a modelli analogici e comparativi che permettono descrizioni fenomeniche più specifiche, accordandole ai principi. Buchdahl osserva però come la traduzione fra questi livelli appaia spesso oscura, si pensi al passaggio dall'idea chiara e distinta di estensione, modellata sulla geometria, alla nozione «intermedia» di movimento grazie alla quale formulare ipotesi sulla natura

che subentra alla *Mathesis* delle prime *Regulæ*, virando gli interessi del filosofo verso una nuova meccanica dell'universo, quella che prenderà forma nel *Traité de la Lumière*. Una lettera del 15 aprile 1630, indirizzata a Mersenne, testimonia dei mutamenti di direzione del lavoro cartesiano, nonché delle attitudini personali del filosofo in questo periodo:

Que si vous trouvez étrange de ce que j'avais commencé quelques autres traités étant à Paris, lesquels je n'ai pas continués, je vous en dirai la raison: c'est que pendant que j'y travaillais, j'acquerais un peu plus de connaissance que je n'en avais eu en commençant, selon laquelle me voulant accommoder, j'étais contraint de faire un nouveau projet, un peu plus grand que le premier, ainsi que si quelqu'un ayant commencé un bâtiment pour sa demeure, acquerrait cependant des richesses qu'il n'aurait pas espérées et changeait de condition, en sorte que son bâtiment commencé fût trop petit pour lui, on ne le blâmerait pas si on lui en voyait recommencer un autre plus convenable à sa fortune. Mais ce qui m'assure que je ne changerai plus de dessin, c'est que celui que j'ai maintenant est tel que, quoi que j'apprenne de nouveau, il m'y pourra servir, et encore que je n'apprenne rien plus, je ne laisserai pas d'en venir à bout⁷.

Nell'inverno del 1629 si definiscono anche i principi della prima metafisica cartesiana, interrotta repentinamente dal progetto di sistemare *par ordre* tutte le meteore⁸. Nel frattempo, si ampliano gli

corpuscolare della materia e delle sue leggi: «not only is motion not deducible from extension; relative to extension, it is an idea that is *opaque*: not unnatural, in view of the difficulty Descartes would encounter in his day with any attempt to establish a mathematical calculus capable of dealing with it. At any rate, the idea that the total quantity of motion of all the parts of matter should remain constant in something which clearly needs independent support». *ibid.*, cit., pp. 147-148.

⁷ Descartes a Mersenne, 15 aprile, 1630, A. T., I, p. 138.

⁸ Come rivela la lettera a Mersenne del 25 novembre 1630 [A. T., I, p. 182], Descartes sta infatti pensando ad un «petit Traité de Metaphysique», la cui elaborazione confluirà, dieci anni più tardi, nelle *Meditationes de prima philosophia* (1641): «je ne dis pas que quelque jour ne n'achevasse un petit Traité de Métaphysique, lequel j'ai commencé étant en Frisi, et dont les principaux points sont de prouver *l'existence de Dieu, et celle de nos âmes*, lorsqu'elles sont séparées du corps, d'où suit leur immortalité».

studi ottici e gli interessi di filosofia naturale⁹: Descartes, che nel luglio 1628 si trova a Franeker, propone a Ferrier un soggiorno in Olanda allo scopo di affinare le ricerche sulla costruzione delle lenti; al diniego oppostogli dall'artigiano parigino, Descartes suggerisce l'idea di uno scambio a distanza, tanto è grande l'interesse di veder realizzata una macchina per la molatura delle lenti iperboliche, concepita precedentemente a Parigi¹⁰.

Nel tardo luglio 1629, una recente conoscenza di Descartes, Reneri, cattedratico presso l'università di Utrecht, destinato a divenire un interlocutore di primo piano negli studi cartesiani¹¹, chiede al

⁹ Descartes a Gibieuf, 18 luglio, 1629, A. T., I, p. 17: «je me réserve à vous importuner lorsque j'aurai achevé un petit traité que je commence duquel je ne vous aurais rien mandé qu'il ne fût fait, si je n'avais peur que la longueur du temps vous fit oublier la promesse que vous m'avez faite de le corriger et y ajouter la dernière main; car je n'espère pas en venir à bout de deux ou trois ans, et peut-être après cela me résoudrai-je de le brûler, ou du moins il n'échappera pas d'entre mes mains et celles de mes amis sans être bien considéré». Si veda inoltre Descartes a Mersenne, 15 marzo, 1630 e 25 novembre 1630 rispettivamente A. T., I, pp. 144 e 182.

¹⁰ «Depuis que je vous ai quitté, j'ai beaucoup appris touchant nos verres, en sorte qu'il y a moyen de faire quelque chose qui passe ce qui a jamais été vu: et le tout semole si facile à exécuter, et est si certain, que je ne doute quasi plus de ce qui dépend de la main, comme je faisais auparavant». Descartes a Ferrier, 18 giugno, 1629, A. T., I, p. 13. Interrotti i rapporti con Jean Ferrier agli inizi degli anni '30, rimangono cinque lettere oltre la presente: tre del 1629, 8 e 26 ottobre, 13 novembre (rispettivamente in A. T., I, pp. 32-37; 38-52; 53-69); una del 1630, 2 dicembre (A. T., I, pp. 183-187), e una del 1638, settembre (A. T., II, pp. 374-376). Descartes rimane alla ricerca di un tornitore e continua la sua corrispondenza sui temi dell'ottica con Huygens e Mersenne. Per esempio: a Huygens, 28 ottobre, 1 novembre, 5, 8, e 11 dicembre 1635 (A. T., I, pp. 588-601); 18 settembre, 5 ottobre, 1637, (A. T., I, pp. 641-645); Descartes a Mersenne, 11 novembre, 1638, (A. T., II, pp. 380-402); 6 dicembre, 1638, (A. T., II, p. 462-469); 16 ottobre, 25 dicembre, 1639, (A. T., II, pp. 587-599; 626-639). Sulla cooperazione di teoria e tecnica nello scambio scientifico di Descartes attorno agli anni '30 e alle vicende che lo legano a Ferrier e ai matematici del tempo, vedi G. Belgioioso, *Descartes e gli artigiani*, in *La Biografia intellettuale di Descartes attraverso la Correspondance*, cit., pp. 113-165.

¹¹ La conoscenza con Reneri coincide con la stabilizzazione di Descartes in Olanda, ed inaugura, come rileva Gaukroger, una serie di scambi estremamente fertili per gli sviluppi della fisica cartesiana: «finally, Descartes changes his address with startling regularity for someone who wants peace and quiet to get on with his work, and at least some of his constant changes of address were dictated by the desire to be near friends. At least one of these changes of address, his move to Deventer in 1632, was due, at least in part, to his desire to be near his first follower, Reneri, who began teaching Cartesian natural philosophy at the University of Utrecht in 1636. In this connection, it is worth reminding ourselves

filosofo francese spiegazioni sui pareli, o falsi soli, osservati a Roma dall'astronomo gesuita Scheiner nel marzo precedente¹², e gli spedisce una copia della descrizione del fenomeno, ricevuta da Gassendi¹³.

Nella lettera a Mersenne dell'ottobre 1629, la controversia su un altro argomento classico di filosofia naturale – l'arcobaleno – veicola il problema che sarà al centro delle *Météores*: analizzare geometricamente le leggi di rifrazione e di riflessione coinvolte nella produzione dello spettro di colori. Fin dal 1629, l'idea di integrare la meteorologia all'ottica attira insomma l'attenzione di Descartes che, nello stesso anno, invita Mersenne ad interessarsi a questi temi. Il lavoro richiederà tuttavia tempo: Descartes vuole infatti inserire lo studio dei fenomeni ottici in un trattato di fisica più generale:

il y a plus de deux mois qu'un de mes amis m'en a fait voir ici une description assez ample, et m'en ayant demandé mon avis, il m'a fallu interrompre ce que j'avais en main, pour examiner par ordre tous les *Météores*, auparavant que je m'y sois pu satisfaire. Mais je pense maintenant en pouvoir rendre quelque raison, et suis résolu d'en faire un petit Traité qui contiendra la raison des couleurs de l'Arc-en-Ciel, lesquelles m'ont donné plus de peine que tout le reste, et généralement de tous les Phénomènes sublunaires¹⁴.

that Descartes had some interest in making sure that his own ideas were disseminated in the Netherlands: not the behaviour we would expect of a recluse». S. Gaukroger, *Descartes. An Intellectual Biography*, cit., p. 188.

¹² Descartes a Mersenne, 8 ottobre, 1629, A. T., I, p. 23.

¹³ A proposito della descrizione inviata da Gassendi a Renieri, il 14 luglio 1629, vedi Gassendi a Peiresc, 21 luglio 1629, *Correspondance de P. Marin Mersenne*, I, vol. II, cit., pp. 244, 247. Commeta G. Rodis-Lewis (*Cartesio*, cit., pp. 109-110): «questo raddoppiamento del Sole era stato osservato a Frascati il 20 marzo 1629. Gassendi ne aveva ricevuto una descrizione, ma non l'aveva portata con sé in occasione del suo viaggio in Olanda all'inizio dell'estate: prima di ripartire, il 14 luglio, scrive a Renieri che gliela avrebbe inviata successivamente [G. Cohen, *Écrivains français en Hollande dans la première moitié du XVII^e siècle*, cit., p. 447]. Era andato anche a Dordrecht; e in settembre Beeckman la trascrive nel suo diario nominando P. Gassendi (A. T., X, pp. 37-38). L'8 ottobre Descartes scrive a Mersenne domandandogli «la descrizione [...] del fenomeno di Roma», per sapere se essa si accorda» con quella che aveva ricevuto, dopo aver precisato: «più di due mesi fa da uno dei miei amici» (A. T., I, p. 23)».

¹⁴ Descartes a Mersenne, 8 ottobre, 1629, A. T., I, p. 23.

La spiegazione dei falsi soli si lega non soltanto allo studio delle leggi di rifrazione: la produzione dello spettro di colori investe sia l'ipotesi sulla natura corpuscolare dei movimenti rotatori responsabili delle variazioni di colore, sia una teoria della materia che offra solide basi all'effetto ottico; il riferimento, in una lettera a Mersenne del 1630, ad un trattato che spieghi «tous les Phénomènes sublunaires» indica nondimeno la volontà di ridurre a sistema le ricerche compiute. Lo scopo finale della ricerca – confida Descartes – sarà giungere ad «una fisica tutta intera»¹⁵.

L'istanza di una scienza generale è il fine comune delle ricerche dei primi anni '30: Descartes si interessa alla determinazione delle leggi di caduta, alla spiegazione del moto pendolare e della consonanza musicale nelle corde vibranti. Nessuno di questi temi apparirà nel *Traité de la Lumière*¹⁶; essi, tuttavia, segnalano la volontà di trovare un elemento teorico chiave per la nuova fisica¹⁷, capace di unire la fisica generale agli studi particolari. La corrispondenza di questo periodo è ricca di affermazioni in proposito: la lettera a Mersenne del gennaio 1630¹⁸ analizza il movimento di una pietra

¹⁵ Descartes a Mersenne, 25 novembre, 1630, A. T., I, p. 179.

¹⁶ Il 13 novembre 1629, Descartes annuncia a Mersenne che la trattazione della caduta dovrebbe essere inserita nel trattato; nel dicembre 1629 ringrazia Mersenne per avergli inviato spiegazioni su fenomeni rilevanti e lo sollecita a continuare questo scambio: Descartes a Mersenne, 18 dicembre 1629, A. T., I, p. 84.

¹⁷ Forte è anche l'attenzione a spiegare in termini meccanici le qualità sensibili, che verrà ripresa nell'apertura ai primi capitoli del *Traité de la Lumière*. Nel 1629, ad esempio, Descartes discute con Mersenne sulla natura del fuoco: «mais il faudrait un long discours pour l'expliquer, ce que je tascherai de faire en mon petit traité». Descartes a Mersenne, 13 novembre, 18 dicembre 1629, A. T., I, p. 88. L'ammissione, nel gennaio 1630, della reazione elastica all'impatto come causa del rimbalzo di particelle (spiegata da Descartes nei termini di una «continuazione del movimento», Descartes a Mersenne, gennaio 1630, A. T., I, p. 107) costituisce un altro antecedente alla riflessione che più tardi, nella *Dioptrique*, vedrà convergere l'ipotesi sulla natura perfettamente rigida del corpuscolo con il principio fisico della conservazione della quantità di movimento. *Dioptrique*, II, A. T., VI, pp. 94-105 e Descartes a Mersenne, 25 febbraio, 1630, A. T., I, p. 117: «pour le re jaillissement balons, je n'ay pas dit que toute la cause en deust être attribuée a l'air enfermé, dedans, mais principalement à la continuation du mouvement, ce qui a lieu en tous les corps qui rebondissent, c'est a dire ex hoc ipso quod una res coepit moveri, ideo pergit moveri, quamdiu potest; atque si non possit recta pergere, potius in contrarias partes reflectitur quam quiescat».

¹⁸ Descartes a Mersenne, gennaio 1630, A. T., I, p. 107.

lanciata da una fionda, interrogandosi sulle condizioni della traslazione di un corpo in assenza di vuoto¹⁹; la lettera indirizzata a Reneri²⁰ nel 1631 recupera gli studi sulla pressione dei primi anni '20 soffermandosi sulla nozione della *tendenza al movimento* dei corpi. Reneri chiede a Descartes perché del mercurio all'interno di una provetta non fuoriusca se questa viene rovesciata. Questo tema è di centrale importanza sia per le modalità esplicative scelte da Descartes nella spiegazione del fenomeno, sia per l'assunzione dell'impossibilità del vuoto in natura che fonderà la meccanica dell'universo descritta nel *Traité de la Lumière*.

Dal punto di vista epistemologico, Descartes spiega la natura dell'aria mettendola in relazione con l'etere interstiziale, formato dalla materia più sottile (fig. 1), «qui est comme des tourbillons de vent qui se meuvent çà et là dans cette laine [l'air]»²¹. L'analogia fra due fenomeni eterogenei (aria, lana) è giustificata dalla loro comune appartenenza alla sostanza materiale, definita a partire dall'idea chiara e distinta di estensione.

Dal punto di vista fisico, lo studio della pressione è volto ad esporre una matura concezione dei fluidi: nelle circostanze costrette del *plenum* materiale, tutti i movimenti si effettuano attraverso la mutua sostituzione delle parti in un circuito chiuso. La lettera a Reneri riflette insomma problemi teorici che guardano ad una nuova fondazione della fisica: la negazione dell'esistenza del vuoto, le leggi di caduta, l'approfondimento delle cause della gravità, tutti problemi sfiorati nelle esperienze degli anni '20, ora al centro dell'integrazione di una matematica del moto nei principi primi dell'estensione e del movimento locale²².

¹⁹ Si veda la seconda legge del *Monde* [cap. 7, A. T., XI, p. 41] che affermerà il principio secondo cui quando un corpo ne sospinge un altro non può imprimergli nessun movimento senza perderne allo stesso tempo, né sottrarglierne, senza che il proprio non ne sia accresciuto in egual misura.

²⁰ Descartes a Reneri, 2 giugno, 1631, A. T., I, pp. 205-209.

²¹ *Ibid.*, p. 205.

²² P. Tannery, *Descartes physicien*, in *Revue de Metaphysique et de Morale*, 1896, pp. 478-488.

La lettera non tematizza esplicitamente l'assunto del pieno; tale condizione deve essere tuttavia presupposta per giustificare la presenza dei moti circolari all'interno del fluido²³.

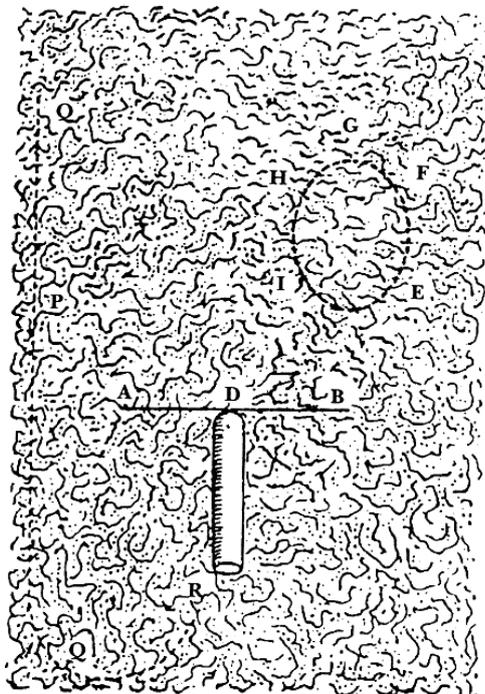


Figura 1

24

²³ Si veda *Le Monde*, A. T., XI, p. 20 e la lettera a Reneri del 24 luglio, 1634, A. T., I, p. 301: «il faut considerer qu'il n'y a point de vuide en la nature, et que par consequent lors qu'un cors se meut, il doit necessairement entrer en la place de quelque autre, de laquelle celui qui en est chassé, doit au même instant occuper celle d'un autre [...] jusque a ce que le dernier occupe la place qui est lasse par le premier, de façon que tous le mouvements qui se font au monde sont en quelque façon circulaires».

²⁴ Descartes a Reneri, 2 giugno, 1631, A. T., I, pp. 205-206: «pour résoudre vos difficultés, imaginez l'air comme de la laine, et l'éther qui est dans ses pores comme des tourbillons de vent, qui se meuvent çà et là dans cette laine; et pensez que ce vent qui se joue de tous côtés entre les petits fils de cette laine, empêche qu'ils ne se pressent si fort l'un contre l'autre, comme ils pourraient faire sans cela. Car ils sont tous pesants, et se pressent les uns les autres autant que l'agitation de ce vent leur peut permettre, si bien que la laine qui est contre la terre est pressée de toute celle qui est au-dessus jusqu'au-delà des nues, ce qui fait une grande pesanteur; en sorte que s'il fallait élever la partie de cette laine, qui est, par exemple, à l'endroit marqué *O*, avec toute celle qui est au-dessus en la ligne *OPQ*, il faudrait une force très considérable. Or cette pesanteur ne se sent pas communément dans l'air, lorsqu'on la pousse vers le haut; parce que si nous en élevons une partie, par exemple celle qui est au point *E*, vers *F*, celle qui est en *F* va circulairement vers *GHI* et retourne en *E*; et ainsi sa pesanteur ne se sent point, non plus que ferait celle d'une roue, si on la faisait tourner, et quelle fût parfaitement en balance sur son essieu».

Descartes spiega dunque perché il mercurio non fuoriesca dalla provetta rovesciata. Anzitutto, occorre distinguere la presenza dell'aria da quella dell'etere: Descartes concede al peso corpuscolare della colonna d'aria OPQ un ruolo determinante nel trattenere il mercurio nella propria posizione. Se la fessura D venisse aperta, il mercurio discenderebbe non a causa del peso dell'aria né per la circolazione dell'etere, ma perché possiede una *tendenza*²⁵ alla discesa che produce gli spostamenti circolari delle particelle ROD ²⁶. $ROPQ$ è la linea percorsa dal mercurio qualora esca in R . Il mercurio non cade, se D è chiuso, per effetto dell'impossibilità del vuoto nella materia: lo spostamento delle particelle rimanda ad una meccanica del pieno e del continuo. Tale condizione, mutuata dalle argomentazioni sulla meccanica dei fluidi ed offerta ancora in via sperimentale nella corrispondenza del 1631, ispirerà la teoria cosmologica della luce nel *Traité de la Lumière*.

Sul finire del 1631, in due lettere a Mersenne, Descartes rifiuta definitivamente l'ipotesi del vuoto per spiegare il fenomeno della caduta: il trasferimento di moto da un corpo all'altro presuppone la

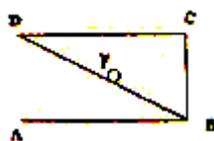
²⁵ Il concetto di *inclination à se mouvoir* ha una lunga evoluzione: viene introdotto nel 1619 a proposito della nota sul paradosso idrostatico per spiegare la pressione dei liquidi (vedi *supra*: Parte I, *L'appredistato Olandese di Descartes: 1618-1620*, cap. I, § III, *I primi principi della dinamica e la «propensio ad motum»*. *Le Cogitationes Privatae e la nota sul paradosso idrostatico*). La teoria cosmologica della luce lo approfondisce sul versante dell'applicazione del modello idrostatico alla materia fluida che compone l'universo; la *Dioptrique* lo legge infine in modo geometrico: *Dioptrique*, II, A. T., VI, p. 94.

²⁶ Descartes a Reneri, 2 giugno, 1631, A. T., I, pp. 206-207: «mais dans l'exemple que vous apportez du tuyau DR , ferme par le bout D par où il est attaché au plancher AB , le vif-argent que vous supposez être dedans, ne peut commencer à descendre tout à la fois, que la lame qui est vers R n'aille vers O , et celle qui est vers O n'aille vers P et vers Q et ainsi qu'il n'enlève toute cette laine qui est en la ligne OPQ , laquelle prise toute ensemble est fort pesante. Car le tuyau étant fermé par le haut, il n'y peut entrer de laine, je veux dire d'air, en la place du vif-argent, lorsqu'il descend. Vous direz qu'il y peut bien entrer du vent, je veux dire de l'éther, par les pores du tuyau. Je l'avoue; mais considérez que l'éther qui y entrera ne peut venir d'ailleurs que du ciel; car encore qu'il y en ait partout dans les pores de l'air, il n'y en a pas toutefois plus qu'il en faut pour les remplir; et par conséquent s'il y a une nouvelle place à remplir dans le tuyau, il faudra qu'il y vienne de l'éther qui est au-dessus de l'air dans le ciel, et partant que l'air se hausse en sa place».

continuità della materia; movimento e grandezza dei corpi sono le determinazioni fisiche principali del nuovo mondo cartesiano²⁷:

Pour la façon de supputer cette vitesse que je vous avais envoyée [Vedi a Descartes Mersenne, 13 Novembre, 1629, A. T., I, pp. 71-73; 18 Dicembre, 1629, A. T., I, pp. 88-90] vous n'en devez faire nul état, car elle suppose deux choses qui sont certainement fausses à savoir, qu'il se puisse trouver un espace tout à fait vide, et que le mouvement qui s'y fait, soit au premier instant qu'il commence le plus tardif qui se puisse imaginer, et qu'il s'augmente toujours par après également. Mais quand tout cela serait vrai, il n'y aurait point moyen d'expliquer la vitesse de ce mouvement par d'autres nombres que ceux que je vous ai envoyés, au moins qui soient rationnels²⁸.

²⁷ Alla domanda di Mersenne su quale sia lo statuto di verità delle dimostrazioni, come quella della caduta su di un piano inclinato, che si servono necessariamente di ipotesi ideali, Descartes risponde: «si on suppose qu'un poids poli, étant trainé sur un plan poli horizontal, ne le touche qu'en un seul point indivisible, et que l'air n'empêche point du tout son mouvement, la moindre force sera suffisante pour le mouvoir, tant grand qu'il puisse être. Et quoique ces deux suppositions soient toujours fausses en la Nature, et que les plus gros poids et les plus pesants soient plus empêchés par l'air, et appuient en plus de parties sur le pian où ils se meuvent, que les plus légers et plus petits; toutefois cela empêche de si peu leur mouvement que, lorsqu'on examine en Mécanique combien il faut de force pour lever un poids, ou pour le trainer sur un plan incliné, qui est une autre de vos questions, on suppose que l'air, ni l'attouchement du poids sur le plan incliné,



n'empêche rien du tout.

Et cela supposé, il faut moins de force à tirer le poids F , suivant la ligne DB , qu'il n'en faut à le tirer suivant la ligne BC , c'est-à-dire que si DB est double de BC , il ne faut que la moitié d'autant de force. Quand on pousse une balle en tournant, outre la force dont on la pousse en ligne droite, il faut encore une outre force pour la faire tourner autour de son centre. Et de plus, l'air lui résiste bien davantage que si elle ne tournait point». Descartes a Mersenne, 3 maggio 1632, A. T., I, p. 247. Mamiani sottolinea che «ben difficilmente si potrebbe attribuire a questi esempi il valore e la funzione di esperimenti, sia pure ideali». La funzione dell'esempio rimarrebbe dunque, per questa linea interpretativa, puramente retorica e persuasiva. M. Mamiani, introduzione a *Le Monde, ovvero Trattato della Luce e L'uomo*, trad. it. di A. L. Merlani, Theoria, Roma, p. 12.

²⁸ Descartes a Mersenne, ottobre, 1631, A. T., I, pp. 221-222. Cfr. anche *ibid.*, pp. 230-231: «je ne me dédis point de ce que j'avais dit touchant la vitesse des poids qui descendraient dans le vide car supposant du vide, comme tout le monde l'imagine, le reste est démonstratif; mais je crois qu'on ne saurait supposer le vide sans erreur. Je tâcherai d'expliquer *quid sit gravitar, levitar, durities, etc.*, dans les

Il principio della conservazione del moto (che diverrà la prima delle tre leggi fisiche del *Traité de la Lumière*) si unisce, nella lettera a Mersenne del 1629, all'idea di una tendenza rettilinea dei corpi al movimento, intuita nelle riflessioni del 1619 con Beeckman sull'idrostatica, e letta ora in opposizione all'ipotesi del vuoto in natura²⁹.

Con il fenomeno della condensazione, analizzato nella lettera a Mersenne del 25 febbraio 1630 grazie all'impiego della teoria della materia sottile³⁰, emergono i contorni del *physique* cartesiana: una fisica molto lontana dall'universo rinascimentale e dal realismo della matematica galileiana³¹.

deux chapitres que je vous ai promis de vous envoyer dans la fin de cette année; c'est pourquoi je m'abstiens de vous en écrire maintenant [...]. Toutes les puissances naturelles agissent plus ou moins, selon que le sujet est plus ou moins disposé à recevoir leur action; et il est certain qu'une pierre n'est pas également disposée à recevoir un nouveau mouvement, ou une augmentation de vitesse, lorsqu'elle se meut déjà fort vite, et lorsqu'elle se meut fort lentement. Mais je pense que je pourrais bien maintenant déterminer à quelle proportion s'augmente la vitesse d'une pierre qui descend, non point *in vacuo* mais *in hoc vero aere*.

²⁹ Si tratta del riferimento galileiano alla caduta in condizioni di vuoto a cui lo studio di Damerow dedica un confronto con la meccanica di Descartes. La rottura fra i due filosofi è giocata – secondo Damerow – sul versante strettamente fisico del moto locale, inizialmente mutuato da Descartes dall'idea dell'*impetus* come forza motrice interna ad un corpo [cfr. *Cogitationes Privatae*, A. T., X, p. 219] continuamente rinnovata ed inserito ora nel postulato della continuità e pienezza della materia, che fa propria la proporzione fra velocità, peso del corpo in caduta e rapporto al mezzo circostante. Cfr. Damerow, *Exploring the limits of pre-classical mechanics. A study of conceptual development in early modern sciences free fall and compounded motion in the work of Descartes, Galileo, and Beeckman*, cit., pp. 8-124; 225-268. Sul diverso trattamento del fenomeno della caduta in Descartes e Galileo si veda anche R. E. Butts, *Some Tactics in Galileo's Propaganda for the Mathematization of Scientific Experiences*, in R. E. Butts e J. C. Pitt, *New Perspective on Galileo*, 1978 pp. 59-86; M. Clevelin, *La Philosophie naturelle de Galilée: Essai sur les Origines et la Formation de la Mécanique Classique*, Armand Colin, Paris, 1968; S. Drake, *Galileo's Discovery of the Law of Free Fall*, in *Scientific American*, 228, n.5, May 1973, pp. 84-92; *Galileo's New Sciences of Motion*, in M. L. Righini-Bonelli, W. R. Shea, *Nature, experiment, and the sciences: essays on Galileo and the history of science in honour of Stillman Drake*, Kluwer, Dordrecht 1990, pp. 131-157; P. Costabel, *Mathematics and Galileo's Inclined Plane Experiments*, in *ibid.*, pp. 175-189; *Essai critique sur quelques concepts de la mécanique cartésienne*, in *Archives internationales d'histoire des sciences*, n. 20, 1967, pp. 235-252;

³⁰ Descartes a Mersenne, 15 aprile, 1630, A. T., I, pp. 139-141.

³¹ Il riferimento è qui alla critica contro l'immediata traduzione delle proprietà matematiche nel mondo empirico (si pensi alle acquisizioni teoriche galileiane

Padrone di una teoria della comparazione fra grandezze che già nelle *Regulæ* aveva reso possibile la determinazione dei rapporti fra i termini di qualunque disciplina a partire dalle nature più semplici e di un discorso fisico che fa dipendere la disposizione dei corpi dalla nozione del *plenum* materiale, Descartes è non solo pronto a redigere la sua fisica (il 4 novembre 1630 compare l'espressione «mon Monde»³² in una lettera a Mersenne), ma anche a comporre insieme, nella garanzia del volere divino, verità matematiche e leggi di natura, queste ultime derivanti dall'idea chiara e distinta di estensione. Lo afferma esplicitamente la lettera a Mersenne del 15 aprile 1630, riguardante lo statuto delle cosiddette «verità eterne», che Dio «a disposé – conformément al nostro intelletto – lorsque nous le concevons distinctement»:

Mais je ne laisserai pas de toucher en ma Physique plusieurs questions métaphysiques, et particulièrement celle-ci: que les vérités mathématiques, lesquelles vous nommez éternelles, ont été établies de Dieu et en dépendent entièrement, aussi bien que tout le reste des créatures. C'est en effet parler de Dieu comme d'un Jupiter ou Saturne, et l'assujettir au Styx et aux destinées, que de dire que ces vérités sont indépendantes de lui. Ne craignez point, je vous prie, d'assurer et de publier partout, que c'est Dieu qui a établi ces lois en la nature, ainsi qu'un Roi établit des lois en son Royaume³³.

nelle *Due Nuove Scienze*), rispetto alle quali Descartes non esita ad esprimere tutta la sua distanza: cfr. Descartes a Mersenne, 11 ottobre, 1638, A. T., II, p. 385: «je trouve en général qu'il [Galileo] philosophe beaucoup mieux que les vulgaires [...] et tâche de examiner les matières physiques par des raisons mathématiques». Tutto ciò che Galileo afferma sul vuoto «est bâti sans fondement», non interrogando le cause della pesantezza e trasferendo al mondo naturale un'analisi puramente matematica, non sostenuta dalla chiarezza dei principi e dalla *regola* dell'ordine. Cfr. *ibid.*, A. T., II, pp. 387-399. Sui rapporti fra scienza galileiana e fisica cartesiana ricordano fra gli altri: A. Koyré, *Studi galileiani*, cit.; M. Grene, *Descartes*, The Harvester Press, Sussex, 1985, in particolare, cap. 3, *Truth and Fiction in Cartesian Methodology*, pp. 53-85.

³² «J'estime fort l'expérience de l'aimant que vous m'apprenez, et je juge tien quelle est véritable; elle s'accorde entièrement aux raisons de *mon Monde*, et me servira peut-être pour les confirmer». Descartes a Mersenne, 4 novembre, 1630, A. T., I, p. 176.

³³ Descartes a Mersenne, 15 aprile, 1630, A. T., I, p. 145. Dio ha creato Le Monde in accordo alla possibilità per ciascuna mente di conoscerlo: «on vous dira que si

La questione delle verità eterne è di decisiva importanza per la presentazione di una scienza certa, completata dalla garanzia metafisica: Descartes espone la teoria della creazione divina delle essenze oltre che dell'esistenza delle cose, istituendo l'inequivocabile trascendenza di Dio rispetto alla mente umana, afferma l'identificazione provvisoria, ma totale, per il momento, delle verità eterne con quelle matematiche, nonché la loro contingenza rispetto alla volontà «infinita e incomprendibile» di Dio. La subordinazione della conoscenza finita alla *puissance* infinita di Dio, esposta a Mersenne il 6 Maggio 1630³⁴, sarà ribadita a Mesland il 2 Maggio 1644³⁵.

Ma attraverso la teoria delle verità eterne Descartes presenta anche una teoria della scienza che rinvia a una fondazione esterna alla scienza stessa: una fondazione che Descartes evoca ora come *les*

Dieu avait établi ces vérités, il les pourrait changer comme un Roi fait ses lois; à quoi il faut répondre que oui, si sa volonté peut changer. Mais je les comprends comme éternelles et immuables». *Ibid.* Tra le principali verità eterne, figurano l'esistenza di Dio e dell'anima in quanto separata dal corpo ed immateriale: si veda anche Descartes a Mersenne 25 novembre, 1630 (A. T., I, pp. 181-182); 6 maggio, 1630 (A. T., I, pp. 149-150); 27 maggio, 1630 (A. T., I, pp. 151-154). Se É. Gilson interpreta la riflessione di Descartes sul tema delle verità eterne come un tentativo di adeguare la teologia alla nuova scienza (*La liberté chez Descartes et la théologie*, Alcan, Paris, 1912), Koyré tende a sottolineare le fonti agostiniane e medievali della teoria cartesiana di Dio: (*Essais sur l'idée de Dieu et les preuves de son existence chez Descartes*, Leroux, Paris, 1922). Si veda anche S. Landucci, *La teodicea nell'età cartesiana*, Bilbiopolis, Napoli, 1986, e J-L. Marion per il confronto fra metafisica e scienza in Descartes, Keplero e Galileo (*Sur la théologie blanche de Descartes*, Presses Universitaires de France, Paris, 1981).

³⁴ Descartes a Mersenne, 6 maggio 1630, A. T., I, p. 150 : «que puisque Dieu est une cause dont la puissance surpasse les bornes de l'entendement humain et que la nécessité de ces vérités n'excède point notre connaissance, qu'elles sont quelque chose de moindre, et de sujet à cette puissance incompréhensible».

³⁵ Descartes a Mesland, 2 maggio 1644, A. T., pp. 118-119: «encore que Dieu ait voulu que quelques vérités fussent nécessaires, ce n'est pas à dire qu'il les ait nécessairement voulues ; car c'est tout autre chose de vouloir qu'elles fussent nécessaires, et de le vouloir nécessairement, ou d'être nécessité à le vouloir». L'articolo 24 della prima parte dei *Principia* affermerà chiaramente che tutte le verità, anche quelle matematiche, la cui certezza fa da modello per le verità fisiche, sono subordinate al carattere onnipotente di Dio; in questo senso, la *scientia perfectissima* dell'uomo, è pur sempre una scienza finita: *Principes*, I, 24, A. T., IX, p. 14.

*fondemans de la Physique*³⁶ e che in seguito chiamerà *Physicae fundamenta*³⁷; su di essa si radica non solo la riflessione epistemologica ma anche quella fisica. Se da un lato, infatti, pur senza menzionarle esplicitamente, Descartes apre il *Traité de la Lumière* con delle «considerazioni metafisiche» nelle quali afferma di non volersi «impegnare oltre», ma che pure esporrà chiaramente quando arriva a dedurre le «due o tre regole principali» del *nouveau Monde* – la legge di inerzia, la conservazione della quantità di moto, la tendenza dei corpi al moto rettilineo – «dal solo fatto che Dio è immutabile e che, agendo sempre allo stesso modo, produce sempre lo stesso effetto»³⁸, la riflessione sulle condizioni di verità della fisica a partire dalla necessità costitutiva dell'essenza divina ridefinisce anche lo statuto della nostra conoscenza: «chi saprà esaminare a sufficienza le conseguenze di tali verità e delle nostre regole, potrà conoscere gli effetti dalle cause [...] e avere dimostrazioni *a priori* di tutto ciò che può essere prodotto in questo *nouveau Monde*»³⁹. In questo modo Descartes corregge l'idea di un'autonomia della scienza, elaborata nelle *Regulae* a partire da una riflessione sull'oggetto delle matematiche e sull'esemplarità delle loro dimostrazioni, ed accantona, sulla base della contingenza delle verità matematiche e fisiche rispetto al volere di Dio, sia il realismo della matematica galileiana⁴⁰, sia i possibili esiti spinozisti che deriverebbero dall'idea di una necessità assoluta delle leggi naturali⁴¹.

³⁶ Descartes a Mersenne, 15 aprile, 1630, A. T., I, p. 144.

³⁷ Descartes a More, 5 febbraio, 1649, A. T., V, p. 275.

³⁸ *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 43.

³⁹ *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 47.

⁴⁰ Descartes a Mersenne, 11 ottobre, 1638, A. T., II, p. 383. Si veda M. Fichant *Science et Methaphysique chez Descartes et Leibniz*, cit., pp. 81-84: «le mathématisme de Galilée repose sur la notion d'une *mathesis divina*, don't la création des vérités éternelles est l'antithèse métaphysique. Pour le mathématisme de Descartes, l'éviction du monde intelligible et des idéalités créées est la condition ontologique de l'égalisation entre les *mathemata* et l'*universitas rerum*».

⁴¹ Nelle parole di M. Fichant: «résulte qu'il était pour Descartes concevable d'instituer une physique globale et unitaire [...]. Cette physique non aristotélicienne, qui abolit la séparation entre son objet et celui de la mathématique ne fait rien d'autre que traiter des questions de ce genre, en connaissant des étendues déterminées, figurées et mobiles, par comparaison avec d'autres étendues mieux connues. Tout le problème était, cependant de conférer à cette procédure sa portée

Nella lettera del 25 Novembre 1630, l'elaborazione del trattato di fisica generale («quasi une Physique toute entière»), si intreccia inoltre ad un progetto più specifico, la *Dioptrique*, indicata da Descartes come una sezione particolare della sua fisica:

je veux faire imprimer la *Dioptrique* [...]. Et je serais font aise qu'on ne sût point du tout que j'ai ce dessein : car de la façon que j'y travaille, elle ne saurait être prête de longtemps. J'y veux insérer un discours où je tâcherai d'expliquer la nature des couleurs et de la lumière, lequel m'a arrêté depuis six mois, et n'est pas encore à moitié fait; mais aussi sera-t-il plus long que je ne pensais, et contiendra quasi une Physique toute entière; en sorte que je prétends quelle me servira pour me dégager de la promesse que je vous ai faite, d'avoir achevé mon Monde dans trois ans, car c'en sera quasi un abrégé⁴².

Un quadro generale degli astri, dei pianeti, della Terra, iscritto nella ferma negazione del vuoto e delle gerarchie ontologiche del cosmo aristotelico, è ormai maturo: «comme, en ce que j'ai maintenant entre les mains, après la générale description des Astres, des Cieux, et de la Terre, je ne m'étais point proposé d'expliquer outre chose touchant les corps particuliers qui sont sur la Terre, que leurs diverses *qualités*, au lieu que j'y mets quelques-unes de leurs formes *substantielles*, et tâche d'ouvrir suffisamment le chemin, pour faire que par succession de temps on les puisse connaître toutes, en ajoutant

ontologique, en établissant que la géométrie qui se propose d'expliquer ainsi les phénomènes de la nature porte sur l'être même des réalités physiques existantes (créées)». *Science et Méthaphysique chez Descartes et Leibniz*, cit., pp. 81-82.

⁴² Descartes a Mersenne, 25 novembre, 1630, A. T., I, p. 178-179. «Dal progetto – come afferma Crapulli – di un trattato unitario e sistematico (mon Monde, ma Physique) si passa a quello dei trattati specifici e viceversa. Talora, il termine *traité* senza ulteriore precisazione rimane equivoco, non sapendo (ma vi sono numerose lacune nella corrispondenza), a quale scritto propriamente Descartes si riporti, anche perché la stessa programmazione redazionale subisce delle modifiche, in particolare per il trasferimento della trattazione di un argomento da uno scritto all'altro». G. Crapulli, *Introduzione a Descartes*, cit., p. 65. Cfr. Descartes a *** Autunno 1635, A. T., I, p. 322. L'ipotesi di un universo creato sul principio della materia in movimento e la preoccupazione d'una modalità espositiva che non scandalizzi la sensibilità religiosa sono i temi al centro dell'attenzione di Descartes in questo periodo: Descartes a Mersenne, 23 dicembre, 1630, A. T., I, p. 194.

l'expérience à la ratiocination»⁴³. Descartes sembra essere risucito a «démêler le chaos pour faire sortir de la lumière»: nel *Traité de la Lumière* ogni fenomeno, celeste e terrestre, troverà piena sistemazione in un disegno di totale razionalità: «après m'être satisfait touchant sa nature et celle des Astres que nous y voyons, et plusieurs autres choses que je n'eusse pas seulement osé espérer il y a quelques années, je suis devenu si hardi, que j'ose maintenant chercher la cause de la situation de chaque Etoile fixe»⁴⁴.

Ma il 22 giugno 1633, la seconda condanna di Galilei, stravolge i progetti editoriali immaginati fino alla decisione, da parte di Descartes, di staccare definitivamente la *Dioptrique* dal *Traité de la Lumière*⁴⁵. Una fisica generale è del resto impossibile senza aver esposto i principi: «il m'est impossible de résoudre absolument aucune question de physique qu'après avoir expliqué tous mes principes, ce qui m'est impossible – concluserà amaramente Descartes – que par le traité que je me suis résolu de supprimer»⁴⁶.

Occorrerà attendere la pubblicazione dei *Principia philosophiae* (1644) per avere un'esposizione completa e sistematica della fisica cartesiana. Le basi della nuova cosmologia, soprattutto il principio movimento della Terra sono radicalmente incompatibili con la dottrina tradizionale e il timore di un contrasto con la Chiesa è forte⁴⁷; un

⁴³ Descartes a Mersenne, 5 aprile, 1630, A. T., I, p. 243.

⁴⁴ Descartes a Mersenne, 10 maggio, 1632, A. T., I, p. 250.

⁴⁵ «l'ayant entièrement séparée de mon *Monde*». Descartes a ***, Autunno 1635, A. T., I, p. 322. Il solo fatto di scorgere, in una lettera stampata a Liegi il 20 settembre 1633, riguardante la condanna di Galilei, le seguenti parole circa il movimento della Terra: «*quamis hypothetice a se illam proponi simularet*, en sorte qui semble même défendre qu'on se serve de cette hypothèse en l'Astronomie –, sono sufficienti per frenare Descartes da qualunque ipotesi di divulgazione delle proprie idee – je n'ose mander aucune de mes pensées sur ce sujet». Descartes a Mersenne, aprile, 1634, A. T., I, p. 288. L'asserzione sull'ipotesi del moto terrestre a cui Descartes fa riferimento riguarda la *Patente* che concerne la condanna di Galilei stampata appunto a Liegi il 20 settembre 1633 e ristampata con qualche modifica da Fromondus nel supplemento alla sua *Vesta seu Ant-Aristarchi vindex* [Antverpiae, 1631]. Descartes la cita nella lettera a Mersenne del 14 agosto, 1634, A. T., I, p. 306.

⁴⁶ Descartes a Mersenne, 14 agosto, 1634, A. T., I, p. 305.

⁴⁷ Descartes a Mersenne, 23 dicembre, 1630, A. T., I, p. 194; fine novembre, 1633, A. T., I, p. 270; aprile, 1634, A. T., I, p. 285.

timore, come afferma Adam⁴⁸, forse dettato più dai risvolti che la pubblicazione del *Traité de la Lumière* avrebbe avuto sui lettori, in particolar modo sui precettori del filosofo, che non da rischi diretti per la propria sicurezza personale in terra olandese. La rinuncia ad una vera fisica dei pianeti e del sistema solare è necessaria dal punto di vista editoriale, ma impossibile sul piano filosofico⁴⁹.

Nel *Traité de la Lumière*, la coerenza dell'edificio cosmologico non viene del resto sconfessata: dalle leggi di natura che governano la formazione delle stelle e dei pianeti fino alla determinazione fisica dei moti celesti e della luce⁵⁰, l'intelligibilità geometrica e *a priori*⁵¹ del *Traité de la Lumière* mantiene inalterata, pur non completandola, la sua fisica copernicana. Nella decisione *de s'instruire soi-même*⁵² e al riparo del motto ovidiano *Bene vixit, bene qui latuit*⁵³ Descartes sospenderà un lavoro le cui premesse teoriche sono irrinunciabili⁵⁴. Una fisica, quella degli anni '30, che lo stesso Descartes, in diverse parti della corrispondenza, dubita di poter completare, non solo a causa delle difficoltà esterne, ma per la stessa vastità del progetto: «une Science qui passe la portée de l'esprit humain», come egli dirà nella lettera a Mersenne del maggio 1632⁵⁵.

⁴⁸ Cfr. Adam, A. T., XIII, p. 168.

⁴⁹ Descartes a Mersenne, fine novembre, 1633, A. T., I, p. 271.

⁵⁰ *Le Monde*, A. T., pp. 698-701.

⁵¹ Scrivendo a Mersenne nel maggio 1632, Descartes ragiona sulla possibilità di decifrare le cause della distribuzione delle stelle fisse a partire da una scienza *a priori* della natura, «science que les hommes puissent avoir touchant les choses matérielles; d'autant que par son moyen on pourrait connaître *a priori* toutes les diverses formes et essences des corps terrestres, au lieu que, sans elle, il nous faut contenter de les deviner *a posteriori*, et par leurs effets». Descartes a Mersenne, 10 maggio, 1632, A. T., I, pp. 250-251.

⁵² Descartes a Mersenne, febbraio, 1634, A. T., I, p. 282.

⁵³ Descartes a Mersenne, aprile, 1634, A. T., I, p. 286.

⁵⁴ «Je confesse que s'il est faux [la dottrina copernicana del movimento terrestre] tous les fondemens de ma Philosophie le sont aussi». Descartes a Mersenne, fine novembre, 1633, A. T., I, p. 270.

⁵⁵ Descartes a Mersenne, 10 maggio, 1632, A. T., I, p. 252: «je crois que c'est une Science qui passe la portée de l'esprit humain; et toutefois je suis si peu sage, que je ne saurais m'empêcher d'y rêver, encore que je juge que cela ne servira qu'à me faire perdre du temps, ainsi qu'il a déjà fait depuis deux mois, que je n'ai rien du tout avancé en mon *Traité*; mais je ne laisserai pas de l'achever avant le terme que je vous ai mandé». Come rileva F. Alquié: «Descartes rêve ici d'un système du monde totalement explicatif, cohérent, où tous les phénomènes seraient déduits, et

Le prossime sezioni procederanno ad una lettura del *Traité de la Lumière* che segue l'ordine evolutivo dei nuclei concettuali esposti nei capitoli più che la ricostruzione sintetica dei risultati a partire dai principi. Le procedure induttive della prima parte del *Traité de la Lumière* elaborano la configurazione degli astri e dei pianeti partendo da una teoria degli elementi che si avvale delle nozioni più semplici dell'estensione, della figura e del moto dei corpi. Avendo classificato induttivamente una teoria della materia nelle principali classi di elementi, Descartes introduce, nel capitolo quinto, l'espedito retorico della favola assumendolo come nuovo modello epistemologico di lettura dell'universo fisico e chiama in causa la perspicuità dell'azione divina per giustificare due condizioni centrali della dinamica dell'intero sistema: la conservazione della quantità totale di moto nell'universo e la trasmissione istantanea del movimento che definisce il comportamento della luce.

où rien, pas même la situation des étoiles, ne serait laissé au hasard. Nul ouvrage de Descartes ne tiendra semblable promesse, et, dès la fin de sa lettre, Descartes semblera presentir que son projet est irréalisable». *Descartes, l'Œuvre*, vol. I, cit., p. 301. Il *Traité de la Lumière* non conterrà peraltro la sezione dedicata allo studio dell'uomo, inizialmente voluta da Descartes [cfr. Descartes a Mersenne, novembre o dicembre, 1632, A. T., I, p. 263], ma poi inserita in un altro trattato, il *Traité de l'Homme*, pubblicato postumo nel 1664. Dalla corrispondenza sappiamo che Descartes inizia a lavorare al trattato nell'estate del 1632 (cfr. le lettere di Descartes a Mersenne di fine giugno 1632, A. T., I, p. 254 e del novembre e dicembre dello stesso anno, A. T., I, p. 263). Sulla fisiologia cartesiana si vedano, fra gli altri, gli studi di R. B., Carter, *Descartes' Medical Philosophy : The Organic Solution to the Mind-Body Problem*, John Opkins University Press, Baltimore, 1983; D. J. de Solla Price, *Automata and the Origin of Mechanism and Mechanistic Philosophy*, in *Technology and Culture*, V, 1964, pp. 9-42.

II) La costruzione d'una teoria degli elementi

Le Monde ou le Traité de la Lumière? Il titolo che apre l'ambizioso progetto cosmologico di Descartes potrebbe esser presentato nella forma di una domanda che esprime la divisione stessa dei temi trattati: *le Monde*, da un lato, pensato da Descartes come una fisica coerente e conclusiva a partire dalla certezza dei principi (materia e movimento) e *la Lumière*, dall'altro, la cui teoria è conseguita attraverso un'epistemologia dell'ordine e dell'induzione che ne scopre l'elemento costitutivo – la materia sottile –, ed è fondata, nella seconda parte del *Trattato*, sulle leggi che ne interpretano il moto. Descartes elabora una fisica generale che ammette essere incredibilmente ambiziosa («j'ai bien pensé que ce que j'ai dit avoir mis en mon traité de la Lumière, touchant la creation de l'Univers, serait incroyable»)¹. Lo studio della luce, su cui culmina il *Traité de La Lumière*, non troverà d'altra parte una piena ricomposizione nella fisica sistematica e completa promessa agli inizi degli anni '30. Il *Discours* del 1637 conferma questa divisione:

Era mio progetto trattarvi tutto quel che, prima di scriverlo, immaginavo di sapere circa la Natura delle cose materiali. Ma, proprio come i pittori, non potendo rappresentare ugualmente sulla tela tutte le diverse facce di un corpo solido, ne scelgono una principale da mettere in luce e, ombreggiando le altre, le fanno apparire soltanto nella misura in cui si posson vedere guardando la prima, così io, temendo di non poter mettere nel mio trattato tutto ciò che avevo in mente, cominciai solo ad esporvi la mia concezione della Luce².

Il *Traité de la Lumière* è dunque diviso in due parti: i primi cinque capitoli ricostruiscono una teoria “regionale” degli elementi a partire da quegli elementi più semplici della conoscenza (grandezza, figura moto), che già le *Regulæ* avevano messo al servizio dell'idea

¹ Descartes a Vatier, 22 febbraio, A. T., I, p. 561.

² *Discours*, V, A. T, VI, pp. 41-42.

chiara e distinta di estensione³, inclusa nel patrimonio delle *naturae simplices* dell'intelletto. Superando le molteplici *naturae* della tradizione aristotelica, Descartes unifica l'intero ambito a cui è rivolta la spiegazione in fisica offrendo all'induzione completa di tutti i fenomeni naturali una teoria degli elementi che dipende dai modi dell'estensione. Sulla base all'induzione, Descartes classifica tutti corpi principali dell'universo, determinandoli a seconda dei diversi gradi materiali (dal più solido al più liquido). La recensione dei fenomeni è ordinata dalla natura comune più semplice, l'estensione, che fonda l'intera realtà materiale.

L'induzione è quindi applicata nei primi quattro capitoli del *Traité de la Lumière* alla prova della natura corpuscolare della materia che si avvale di una serie di condizioni osservabili (grandezza, velocità, superficie occupata dai corpi) per definire la conformazione dei fenomeni studiati⁴. La classificazione cartesiana degli elementi fa convergere un insieme di osservazioni (combustione, processi di liquefazione etc.) con una teoria della materia basata sulla natura corpuscolare dei corpi⁵.

³ Teorizzata per la prima volta nelle *Regulae* (cfr. *Regulae XIV*, A. T., X pp. 446, 452), il concetto di materia-estensione, istituito da Dio e riconosciuto dalla mente come vero carattere essenziale di ogni costituzione corporea, trova nel *Traité de la Lumière* ulteriori precisazioni grazie all'equiparazione con «un vrai corps parfaitement solide qui remplit également toutes les longueurs, largeurs et profondeurs de ce grand espace au milieu duquel nous avons arrêté notre pensée». *Le Monde*, A. T., XI, pp. 33-34. Vedi anche *Principes*, II, 4, 64; *Le Monde* cap. 6, A. T., XI pp. 32-36; *Discours*, V, A. T., VI, pp. 41-60.

⁴ *Le Monde*, cap. 5, A. T., XI, pp. 410-411. Si noti l'utilizzo da parte di Descartes di espressioni quali *je crois, je me persuade, j'imagine*, per definire i tre elementi materiali secondo i principi del movimento, grandezza, figura e arrangemento fra le parti. *Le Monde*, A. T., XI, pp. 25-26, 31.

⁵ Quest'ultima è assunta da Descartes come *compatible* (il ché non significa immediatamente *deducibile*) al principio dell'estensione: *Le Monde*, cap. 2, A. T., XI, pp. 7-8; cap. 3, pp. 13-14. Nel distinguere deducibilità da compatibilità, assumiamo l'interpretazione di Buchdahl che impiega il termine *diamorphs* per indicare la peculiare connessione analogica fra modelli e strutture fisiche nell'induzione cartesiana: «it is more likely that he thought of them [Descartes' models in the *Dioptrics*] as *diamorphs*, that is as models whose spatial configurations, and more still, whose dynamical relationships as expressed through the laws of motion, mirrored an actual physical structure. His models, then, appear as analogies for and interpretations of putative formal systems intended to treat of a physical structure, which was in fact Descartes's celebrated "second element", the ether of light. "Intuitive insight", conceptual clarity,

In questo quadro, l'uso dell'induzione rende possibile una spiegazione meccanica dell'ordine naturale che soggiace non più alla divisione tradizionale degli esseri in specie e categorie, bensì alla pura determinazione dell'ordine e delle scansioni istituite dalla ragione. Pur non essendo nominata esplicitamente nel *Traité de la Lumière*, l'induzione diviene così lo strumento di una ricomposizione della realtà su basi meccaniche che si conforma ai principi del metodo e di una fisica vera: *mouvement, grosseur, figure et arrangement* delle parti della materia sono le uniche condizioni che, a differenza delle qualità stabilite dalla fisica antica (*chaleur, froideur, humidité, sércheresse*), non hanno bisogno di ulteriori dimostrazioni per spiegare i fenomeni⁶. L'esperienza coglie la molteplicità empirica; l'induzione la enumera, partendo dalla nozione di corpuscolo come unità minima da presupporre in ogni modificazione materiale. Dalla composizione degli elementi nascono tre tipi di corpi: il Sole e le stelle fisse, che formano la parte del mondo costituita dal primo elemento e che il *Discours*, analogamente al *Traité de la Lumière*, raggruppa nella medesima classe⁷; i Cieli, definiti dall'elemento intermedio fra la materia sottile della luce e il terzo elemento che forma la Terra e i pianeti.

Dal capitolo quinto, tuttavia, lo stile espositivo utilizzato da Descartes si trasforma trovando nel riferimento all'*invention d'une fable* l'opportunità per presentare le «ragioni» della nuova fisica senza dover ricorrere all'esposizione sistematica dei principi⁸. Sotto questo aspetto, il modello esplicativo della favola, permettendo di inquadrare la fisica generale attraverso uno schema meccanico a cui tutti i fenomeni, anche quelli meno immediatamente decifrabili, possono essere ridotti, rappresenta non solo una strategia retorica efficace per

hence boils down to the provision of an "interpretation" of a formal structure which is the calculus of a physical theory». G. Buchdahl, *Descartes' Anticipation of a Logic of Scientific Discovery*, in *Scientific Change*, A. C. Crombie (ed.), Heinemann, London, 1963, pp. 410-411.

⁶ *Le Monde*, cap. 5, A. T., XI, p. 25.

⁷ «Ajouter quelque chose du soleil et des étoiles fixes, à cause qu'elle en procède presque toute». *Discours*, V, A. T., VI, p. 42.

⁸ *Le Monde*, cap. 5, A. T., XI, p. 31.

la descrizione dell'universo, bensì conferisce alla ricostruzione induttiva della materia, esposta nei primi capitoli del *Traité de la Lumière*, una potenza esplicativa estendibile all'intero campo dei fenomeni. Il modello epistemologico della favola retroagisce infatti sulle tecniche induttive della prima parte del *Traité de la Lumière* come strumento operativo della nuova scienza che descrive efficacemente la meccanica dell'universo avvalendosi di una notevole semplificazione teorica. È compito dell'intelletto rintracciare le vere cause dei fenomeni mediante la comparazione ordinata degli elementi, nonché il modello esplicativo adatto a presentare il quadro fisico più generale. Nell'esame razionale della realtà, anche la presenza di soluzioni ipotetiche partecipa della verità che compete ai principi, essendo l'ipotesi conforme all'impiego della *bona mens* e al dettame che impone di utilizzare al meglio la nostra conoscenza secondo le vie più semplici e più chiare che abbiamo a disposizione nella soluzione dei problemi.

Esercizio dell'induzione da un lato e determinazione dell'ordine delle cause dall'altro interpongono una distanza netta, fin dalle prime pagine del *Traité de la Lumière*, fra ragione e qualità sensibili: Descartes assegna a tale rottura un'impronta anzitutto epistemologica, riferendosi alla differenza fra le nostre sensazioni e le cause meccaniche che le determinano⁹. Citando il titolo del primo capitolo: *della differenza che sussiste tra le nostre sensazioni e le cose che le producono*, risulta fin da subito evidente la separazione fra percezioni sensibili e cause fisiche, le prime riferibili alla sfera delle cosiddette qualità secondarie¹⁰, le seconde spiegabili in termini meccanicistico-corpuscolari. Quest'ultime, a differenza delle qualità non geometriche percepibili dai sensi, sono associate alla sfera del «contatto» e della visione intellettuale. Il tema della luce è assunto come esempio:

⁹ *Le Monde*, cap. I, A. T., XI, pp. 3-5.

¹⁰ «Or, si des mots, qui ne signifient rien que par l'institution des hommes, suffisent pour nous faire concevoir des choses avec lesquelles ils n'ont aucune ressemblance, pourquoi la Nature ne pourra-t-elle pas aussi avoir établi certain signe, qui nous fasse avoir le sentiment de la lumière, bien que ce signe n'ait rien en lui qui soit semblable à ce sentiment ?». *Le Monde*, cap. I, A. T., XI, p. 4.

Di tutti i nostri sensi il tatto è stimato il meno ingannevole ed il più certo: così, se vi mostro che il tatto stesso ci fa concepire molte idee che non assomigliano in alcun modo agli oggetti che le producono, penso che non dobbiate trovare strano se affermo che anche la vista può fare altrettanto [...]. Ora non vedo ragione che ci obblighi a credere che ciò che è negli oggetti da cui deriva la sensazione della Luce sia simile a questa sensazione più di quanto le azioni di una piuma e di una correggia lo siano al solletico e al dolore. Non ho tuttavia riportato questi esempi per indurvi a credere assolutamente che altro è la Luce negli oggetti ed altro nei nostri occhi, ma solo perché lo supponiate, cosicché, astenendovi dal preoccuparvi della (opinione) contraria, possiate ora esaminare meglio con me come effettivamente stiano le cose¹¹.

Nei primi cinque capitoli del *Traité de la Lumière*¹² Descartes propone quindi un'esplicazione puramente meccanica di tutti i fenomeni, solidi o liquidi. Da qui, prende il via la ricostruzione induttiva dei diversi gradi di materia su cui sarà definita la teoria degli elementi. La ricerca inizia nel capitolo secondo a partire da una nozione di materia capace di ridurre qualità fisiche di ogni genere, ad esempio il fuoco e il calore, alle loro determinazioni meccaniche:

Altri dunque immagini in questo legno, se così gli aggrada, la Forma del fuoco, la Qualità del calore e l'Azione che lo brucia come cose del tutto diverse (l'una dall'altra); [...] purché soltanto mi accordiate che si dia qualche forza che muova violentemente le parti più sottili del legno e che le separi dalle più grosse, stimo che ciò solo sarà sufficiente a produrre in esso tutti gli stessi mutamenti che si sperimentano quando brucia¹³.

I cambiamenti prodotti dalla combustione del legno dipendono da una dissociazione e da un trasferimento di corpuscoli tanto più

¹¹ *Le Monde*, cap. 1, A. T., XI, p. 6.

¹² Cap. 1, Cap. 2, *In che cosa consiste il calore e la luce del fuoco*; Cap. 3, *Sulla durezza e sulla fluidità*; Cap. 4, *Del vuoto e donde venga che i nostri sensi non percepiscano certi corpi*; Cap. 5, *Del numero degli elementi e delle loro qualità*.

¹³ *Le Monde*, cap. 2, A. T., XI, pp. 7-8.

velocei quanto minore è il volume occupato dalle parti di materia. Velocità e grandezza dei corpi, modulate secondo i diversi stati del moto locale, sono i due fattori principali della «forza ad agire contro altri corpi»:

Ora, poiché non mi sembra possibile concepire che un corpo possa muoverne un altro se non muovendosi esso stesso, concludo che il corpo della fiamma che agisce contro il legno è composto di piccole parti che si muovono separatamente l'una dall'altra con un movimento velocissimo e molto violento e che, muovendosi in tal modo, spingono e traggono con sé le parti dei corpi che toccano e che non offrono loro troppa resistenza¹⁴.

Dall'osservazione empirica della combustione Descartes inferisce uno spostamento corpuscolare secondo le leggi naturali del movimento e del moto locale:

Se considerate che la forza di muoversi e quella che determina da qual lato il movimento debba compiersi sono due cose del tutto diverse e che possono sussistere l'una indipendentemente dall'altra (come ho spiegato nella *Dioptrique*) I, [vedi *Dioptrique*, II, A. T., VI, p. 94] vi sarà facile giudicare che ciascuna si muove nel modo che le è reso meno arduo dalla disposizione dei corpi che la circondano¹⁵.

Tutti gli altri effetti della fiamma, calore, luce, etc., sono dedotti dalla medesima ipotesi dell'agitazione fra parti inosservabili:

Poiché abbiamo già detto che fuori del nostro pensiero non si dà nulla che sia simile alle idee del solletico e del dolore quale le concepiamo, possiamo anche ben credere che non si dia neppur nulla che sia simile all'idea che concepiamo del Calore, ma che tutto ciò che può muovere in modo diverso le particelle delle

¹⁴ *Le Monde*, cap. 2, A. T., XI, p. 8.

¹⁵ *Le Monde*, cap. 2, A. T., XI, p. 9.

nostre mani o di qualche altra parte del nostro corpo possa suscitare in noi questa sensazione¹⁶.

Il terzo capitolo del *Traité de la Lumière*, intitolato *Della durezza e liquidità*, estende le ipotesi meccaniche sulla natura dei corpi solidi e liquidi al rapporto fra la resistenza di un corpo alla penetrazione e la forza necessaria per vincerla¹⁷:

Ora fra i corpi duri e i corpi fluidi non trovo altra differenza che questa: che le parti degli uni possono essere separate dall'insieme molto più facilmente di quelle degli altri [...]. Credo infine che ogni corpo si avvicini in maggiore o minore misura a questi due estremi, a seconda della maggiore o minore azione che compiono le sue parti per allontanarsi l'una dall'altra¹⁸.

Ogni elemento, individuato da composizione, figura, grandezza e movimento corpuscolare, viene così recensito a partire dalla causa più semplice che ordina la classe dei fenomeni materiali: l'agitazione tra corpuscoli, ultimo anello della scomposizione analitica della materia.

Il capitolo quinto del *Traité de la Lumière* conclude il quadro meccanicistico di spiegazione della materia riprendendo dalla teoria delle nature semplici esposta nelle *Regulæ* le nozioni di grandezza, figura e movimento:

¹⁶ *Le Monde*, cap. 2, A. T., XI, p. 10.

¹⁷ Tale assunto diverrà la prima legge della collisione per la quale la forza necessaria a muovere o scuotere un corpo dipende dall'entità e dalla posizione dei corpuscoli ad esso contigui: *Le Monde*, cap. 3, A. T., XI, pp. 12-13. Tanto più rigido è un corpo, tanto maggiore sarà la vicinanza tra le sue parti. Su questo punto si veda P. Mouy, *Le développement de la physique cartésienne*, cit., p. 59. I liquidi, al contrario, sono caratterizzati da una minor resistenza a separarsi, a causa della più forte agitazione tra le parti: «je pense aussi que c'est assez, pour composer le corps le plus liquide qui se puisse trouver, si toutes ses plus petites parties se remuent le plus diversement l'une de l'autre et le plus vite qu'il est possible; encore qu'avec cela elles ne laissent pas de se pouvoir toucher l'une l'autre de tous côtés, et se ranger en aussi peu d'espace que si elles étaient sans mouvement». *Le Monde*, cap. 3, A. T., XI, p. 13.

¹⁸ *Le Monde*, cap. 3, A. T., XI, pp. 13-14.

Concepisco il primo, che può dirsi l'Elemento del Fuoco, come il fluido più sottile e più penetrante che esista al Mondo [...]. Per non essere costretto ad ammettere alcun vuoto in Natura, non attribuisco a questo (fluido) parti dotate di grandezza o di figura determinata, ma mi convinco che l'impeto stesso del suo movimento sia sufficiente a far sì che venga diviso in tutte le guise e in tutti i sensi allorché si scontra con altri corpi e che le sue parti cambino ad ogni istante di figura per adattarsi a quella dei luoghi in cui entrano [...]. Quanto al secondo Elemento, che può considerarsi quello dell'Aria, raffrontandolo al terzo, lo concepisco pure come un fluido sottilissimo, ma, per confrontarlo al primo, debbo necessariamente attribuire a ciascuna delle sue parti una certa grandezza e una certa figura, e immaginarle quasi perfettamente rotonde e congiunte come granelli di sabbia o di polvere [...]. Oltre questi due Elementi ne ammetto solo un terzo: quello della Terra, le cui parti penso siano tanto più grandi e tanto più lente a confronto di quelle del secondo, quanto queste ultime lo sono a paragone di quelle del primo. Credo anche che sia sufficiente concepirlo come una o diverse grandi masse, le cui parti siano quasi o del tutto prive di movimento che faccia loro cambiare posizione nei confronti dell'altra¹⁹.

Segue la presentazione della luce nei corpi luminosi – sole, stelle, fuoco etc. – come effetto meccanico dovuto alla pressione²⁰. La luce emessa dalle parti sottili del sole e delle stelle si propaga nei cieli

¹⁹ *Le Monde*, cap. 5, A. T., XI, pp. 24-25.

²⁰ Nel capitolo secondo, la fusione del metallo viene associata a quella del legno sulla base della coesione/dissociazione corpuscolare. L'unica differenza fra i due processi dipende dal diverso oscillamento fra le particelle d'aria: «la flamme, dont j'ai déjà dit que toutes les parties sont perpétuellement agitées est non seulement liquide, mais aussi elle rend liquides la plupart des autres corps. Et remarquez que, quand elle fond les métaux, elle n'agit pas avec une autre puissance que quand elle brûle du bois. Mais parce que les parties des métaux sont à peu près toutes égales, elle ne les peut remuer l'une sans l'autre, et ainsi elle en compose des corps tout liquides au lieu que les parties du bois sont tellement inégales quelle en peut séparer les plus petites et les rendre liquides, c'est-à-dire les faire voler en fumée, sans agiter ainsi les plus grosses». *Le Monde*, cap. 3, A. T., XI, p. 14. Come osserva F. Alquié, combustione e liquefazione appartengono per Descartes allo stesso processo: «dans la perspective de son mécanisme purement spatial, et dans l'ignorance des phénomènes chimiques de combinaison avec l'oxygène qui constituent la combustion, Descartes assimile ici, de façon radicale, combustion et liquéfaction (liquéfaction à partir de l'état solide, bien entendu)». *Descartes, l'Œuvre*, vol. I, cit., nota 1, p. 328.

attraverso un mezzo più denso; la terra, la luna, i pianeti e le comete la riflettono in una materia consistente e opaca²¹.

La riduzione di tutto il sensibile al concetto unitario di estensione rischia tuttavia di lasciare indeterminate molteplici qualità corporee, difficilmente riducibili allo schematismo geometrico. Se la divisione della materia è resa possibile dall'idea chiara e distinta di estensione, il concetto di movimento²² ne permette la configurazione "dinamica": la disposizione dei corpi e le loro variazioni in natura dipendono infatti dal solo principio del moto locale («je me contente – come afferma Descartes nel capitolo secondo – d'y concevoir le mouvement de ses parties»)²³. Dall'osservazione degli effetti prodotti dal moto locale e dalla dimensione corpuscolare della materia, Descartes inferisce per via induttiva²⁴, nel capitolo quarto del *Traité de la Lumière*, la condizione fisica principale dell'intera struttura dell'universo: il *plenum* materiale. Il procedimento dimostrativo del *Traite de la Lumière* non si discosta da quello delle *Regulæ*, dove la proprietà comune alle figure geometriche o ai dati di un'equazione era inferita dal confronto con un fattore non ancora conosciuto, ma

²¹ *Le Monde*, cap. 5, A. T., XI, p. 29.

²² Un movimento spogliato delle teorie peripatetiche suoi luoghi naturali, del binomio potenza / atto (*Fisica*, III, I, 200b), del moto circolare relativo agli astri e contrapposto a quello dei corpi terrestri dall'alto verso il basso (*Del Cielo*, I, 3, 269b e 270b, 270a; I, 9, 279a) a cui Descartes sostituisce la continuità senza limite del moto di un corpo in linea retta: *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, pp. 38, 44; Descartes a Mersenne, 25 dicembre, 1639, A. T., II, pp. 626-639; Descartes a Huygens, 18 febbraio, 1643, A. T., III, pp. 805-814. Sull'invalidazione della teoria aristotelica del moto circolare e la conseguente apertura dell'universo alla persistenza uniforme e rettilinea del moto si vedano le annotazioni di A. Koyré, *Etudes Galiléennes*, cit., pp. 15, 258, 274-275; G. Garber, *Descartes' Metaphysical Physics*, The University of Chicago Press, Chicago and London, 1992, pp. 225 e sgg.

²³ *Le Monde* cap. 2, A. T., XI p. 7.

²⁴ Questo è il procedimento è peculiare alla matematica e, più in genere, alle scienze della quantità che «on ne cherche pas – come afferma A. Rivaud nel suo commento alla fisica cartesiana – à proprement parler, des causes. On travaille à résoudre des problèmes». *Remarques sur le mécanisme cartésien*, in *The Philosophical Review*, 46, n. 6, 1937, pp. 292-293. L'arte consiste infatti nel passare «du connu à l'inconnu [...] jusqu'à ce que toutes les données et toutes les inconnues forment une série dans laquelle l'inconnue cherchée a sa place déterminée». *Ibid.*

assunto come tale per procedere nella dimostrazione²⁵. Per provare l'impossibilità del vuoto in natura, Descartes parte dall'osservazione di particelle d'aria derivanti per lo più da esalazioni terrestri, vapori e fluidi prodotti dalla combustione etc. Una volta fissato il medesimo principio del pieno per tutti gli elementi, si dovrà concepire un genere di particelle invisibili che riempiano gli spazi lasciati "liberi" da quelle più spesse:

Ora, se tra le parti dell'aria alcune, a paragone di altre, risultano assai grosse, come quegli atomi che vi scorgono, esse si muovono anche molto lentamente [...]. Che nella fiamma ve ne siano di più piccole lo si può congetturare dal fatto che penetrano attraverso parecchi corpi i cui pori sono così stretti che neppure l'aria può penetrarvi²⁶.

La costituzione di ciascun corpo non differisce che per la grandezza e la posizione reciproca. Ne consegue «che se in qualche luogo dovesse darsi un vuoto, questo dovrebbe essere nei corpi duri piuttosto che nei fluidi: è evidente infatti che le parti di quest'ultimi, essendo in movimento, possono pigiarsi e disporsi l'una contro l'altra ben più facilmente di quanto non facciano le parti degli altri (corpi) che son privi di movimento»²⁷. La dimostrazione cartesiana si

²⁵ *Regulae XVII*, A. T., X, p. 459. Il problema del passaggio dalla dimostrazione matematica delle *Regulae* alla deduzione, in fisica, di un vasto numero di effetti da una serie estremamente limitata di principi, si riflette altresì nel legame fra cause prime (estensione, materia, movimento), ipotesi intermedie (corpuscoli, agitazione fra parti invisibili della materia) e supporto empirico dell'esperienza. Come afferma Recker, tale accrescimento della *deductio* è visibilmente problematico: «even assuming that the laws of nature and other general physical principles are *deducible* (in the ordinary way) from eternal truths, did (or could) Descartes *deduce* (in the ordinary way) the nature of fire, earth, air, etc., from them? I don't see how [...]. These are derived via experience of actual objects and are attempt to explain their behavior in terms of simple, easily understandable assumptions *compatible with* first principles. So, again, it does not appear that Descartes's use of *déduire* here can be understood according to the deductivist interpretation». D. A. Recker, *Mathematical Demonstrations and Deduction in Descartes's Early Methodological and Scientific Writings*, in *Journal of the History of Philosophy*, 21, 2 April, 1993, pp. 235-236.

²⁶ *Le Monde*, cap. 3, A. T., XI, p. 16.

²⁷ *Le Monde*, cap. 4, A. T., XI, p. 17.

regge sull'impossibilità di spazi vuoti tra i diversi livelli di materia: analogamente ai risultati sulla meccanica dei fluidi, discussi nella lettera a Reneri del giugno 1631²⁸, il capitolo quarto del *Traité de la Lumière* legge l'impossibilità del vuoto a partire dall'evidenza di certe conclusioni che chiamano in causa l'esperienza invalidando la differenza scolastica fra moti naturali e innaturali²⁹. Alcuni spazi, che sembrano esser vuoti, devono contenere lo stesso tipo di materia che appare nei corpi visibili, fatto riscontrabile empiricamente nel movimento circolare prodotto dai pesci sotto la superficie d'acqua³⁰. L'esperienza mostra che «tali moti – pur non immediatamente presenti all'evidenza sensibile – sono noti e consueti in natura»:

²⁸ Descartes a Reneri, 2 giugno, 1631, A. T., I, pp. 205-209. Occorre non dimenticare che, parlando dei Cieli, Descartes equipara liquidità e fluidità: «il n'y a pas, dans les corps, de qualités qui seraient la solidité, la liquidité. Tout cela s'explique mécaniquement. Descartes pense non seulement à ce que nous appelons l'état liquide, mais aussi à l'état gazeux. Dans la suite du texte, il tiendra fair pour un «liquide». Liquide, répétons-le, signifie donc fluide». F. Alquié, *Descartes, l'Œuvre*, vol. I, cit., nota 1, p. 327.

²⁹ *Le Monde*, cap. 4, A. T., XI, p. 17. Per l'invalidazione della teoria aristotelica dei moti naturali / innaturali, cfr. F. Alquié: «ce n'est donc pas parce que tend naturellement et tout entière vers le haut que la flamme monte. Ici encore, Descartes s'oppose à la théorie d'Aristote, pour lequel le feu tend à réaliser son essence en regagnant son lieu propre, qui est le haut (le feu est «léger», et son «mouvement naturel» est dirige de bas en haut.) Pour Descartes, il n'y a pas de lieu propre (cfr. cependant, plus loin, A. T., XI, p. 28), et le mouvement d'un corps sera déterminé par l'ensemble des mouvements des corps qui l'entourent [...]. Cette séparation du mouvement et du mobile conduira Descartes à rejeter dans le plan divin la notion de force, à priver le mobile de toute «tendance» à continuer son mouvement, à considérer, enfin, que le mouvement d'un corps se réduit au fait que Dieu le crée, à chaque instant, à un endroit différent. Ainsi, de proche en proche, la critique de la physique des qualités amènera Descartes à séparer le plan du «géométrique» et celui du «dynamique», et à nier toute force intérieure au corps qui se meut». *Descartes, l'Œuvre*, vol. I, cit., nota 1, p. 322.

³⁰ *Le Monde*, cap. 4, A. T., XI, p. 20 : «nous ne remarquons pas communément ces mouvements circulaires quand les corps se remuent en l'air parce que nous sommes accoutumés de ne concevoir fair que comme un espace vide. Mais voyez nager des poissons dans le bassin d'une fontaine: s'ils ne s'approchent point trop près de la surface de l'eau ils ne la feront point du tout branler, encore qu'ils passent dessous avec une très grande vitesse. D'où il parait manifestement que l'eau qu'ils poussent devant eux ne pousse pas indifféremment toute l'eau du bassin, mais seulement celle qui peut mieux servir à parfaire le cercle de leur mouvement et rentrer en la place qu'ils abandonnent. Et cette expérience suffit pour montrer combien ces mouvements circulaires sont aisés et familiers à la Nature».

Da ciò constatate come non sia affatto motivo di meraviglia se intorno a noi vi sono molti spazi ove non avvertiamo nessun corpo, nonostante non ne contengano meno di quelli ove ne avvertiamo in maggior numero [...]. Poiché però, come ho detto sopra, questi interstizi non possono essere vuoti, concludo da tutto ciò che vi debbano essere necessariamente altri corpi [...] i quali riempiono con la massima esattezza i piccoli interstizi che essa lascia tra le sue parti. Ora non resta che considerare quali possano essere questi altri corpi; dopo ciò, spero, non sarà difficile comprendere quale sia la natura della luce³¹.

Il postulato della perfetta pienezza dell'aria, più rarefatta dell'acqua e della terra in accordo alla «comune opinione dei Filosofi», richiede la presenza di «alcuni altri corpi» che ne spieghino la costituzione delle parti. Descartes confronta così le relazioni macroscopiche, osservabili nel movimento circolare prodotto in certi fenomeni naturali, con le relazioni corpuscolari microscopiche non percepibili dai sensi. L'ipotesi della perfetta pienezza dell'aria, provata *a posteriori* grazie all'analogia con fenomeni già conosciuti, annoda i diversi livelli della dimostrazione (principi, modelli comparativi, esperienza). La dimostrazione dell'assenza del vuoto in natura è quindi condotta da un lato attraverso il ricorso ad osservazioni empiriche sul movimento circolare, dall'altro, presupponendo il principio dell'estensione come proprietà fondamentale di ogni grandezza che permette di ridurre il confronto fra proprietà fisiche al confronto fra estensioni dotate di figura³².

³¹ *Le Monde*, cap. 4, A. T., XI, p. 23.

³² Cfr. G. Buchdahl, *Metaphysics and Philosophy of science*, cit., p. 116. Buchdahl propone in tal senso un legame fra principi primi e relazioni spaziali, o empiriche, deducibili dalle ipotesi: «The physical argument involves the construction of a hypothetico-deductive scheme, whose elements are material particles endowed only with the attributes extension, shape and motion. I label this argument hypothetico-deductive, for three reasons, (1) because it involves explanations whose strength rests primarily on their power to lead to verifiable consequences; (2) because the *theoretical entities* involved in this scheme (the particles) are necessarily unobservable, since they do not possess any secondary qualities; (3) because there is a necessary gap between the theoretical hypotheses and the empirical conclusions which they are intended to explain. A theoretical scheme of this type requires certain *coordinating propositions* or *rules of correspondence*

La presentazione della luce come effetto della propagazione del moto nella materia sottile rappresenta il termine ultimo della serie di relazioni fisiche (distinzione fra gli elementi, teoria dei vortici) e logico-causali (assenza del vuoto, leggi del moto, ipotesi corpuscolare), esposte, a partire dal capitolo sesto del *Traité de la Lumière*, nella cornice di una nuova favola del mondo.

which relate the hypothetical concepts to others with an empirical content». *Ibid.*, pp. 102-103.

III) La meccanica celeste e la favola del Mondo

L'elaborazione della seconda parte del *Traité de la Lumière* rivela una significativa trasformazione nello stile espositivo cartesiano: dalle tecniche induttive a cui ricorre la prima parte del trattato per elaborare una teoria degli elementi materiali, la nota presentazione dell'universo celeste in forma di *favola*¹, o costruzione immaginaria, si sposta verso le indefinite regioni di una materia lontana dal «vero mondo»:

Permettete dunque per un certo tempo al vostro pensiero di uscire da questo Mondo per recarsi a vederne un altro del tutto nuovo che farò nascere in sua presenza negli spazi immaginari. I Filosofi ci dicono che tali spazi sono infiniti e debbono ben essere creduti, ché son essi stessi che li hanno costituiti [...]. Poi supponiamo che Dio crei di nuovo tutt'intorno a noi tanta materia che la nostra

¹ Il termine *favola*, introdotto nel *Traité de la Lumière* per descrivere l'ipotesi cosmologica cartesiana, ha assunto significati diversi a seconda delle interpretazioni. In questa sede prenderemo parzialmente le distanze dall'accezione che il termine riflette nella celebre interpretazione di Cavaillé, il quale vira lo spirito a nostro avviso essenzialmente epistemologico del testo verso il problema della natura della *rappresentazione* nella scena barocca del tardo Seicento. Le indagini di Cavaillé tagliano trasversalmente le arti visive e drammaturgiche, magistralmente riassunte nelle pagine benjaminiane sul concetto di *Trauerspiel* [W. Benjamin, *Ursprung des deutschen Trauerspiel*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main, 1963, trad. it. di E. Filippini, *Il Dramma barocco tedesco*, Einaudi, Torino 1971], indicandole come indice storico di un più ampio processo di *teatralizzazione* e riduzione allegorica del mondo [vedi anche F. A. Yates, *The art of Memory*, Routledge, London, 1966, trad. it. di A. Biondi, *L'arte della memoria*, Einaudi, Torino, 1972]. Il concetto di *favola*, utilizzato da Descartes in tensione analogica con le dinamiche della rappresentazione del 1600, viene così esemplificato per Cavaillé, in tutta la sua polivalenza, ma anche nell'ambiguità semantica che tale espressione comporta, da un «jeu de lumière». *La fable du monde*, Vrin, Paris, 1991, pp. 50-51. Più attinente al valore specificamente scientifico del *Traité de la Lumière*, l'interpretazione di W. Shea vede nell'utilizzo dell'ipotesi non solo un *escamotage* retorico e letterario per aggirare possibili censure ecclesiastiche, ma un vero strumento *euristico* di penetrazione nel funzionamento dei fenomeni: «L'univers est une vaste machine que le scientifique peut démontrer et reconstruire pour en comprendre les rouages, même si sa manière de procéder n'est pas celle qui a été suivie historiquement [...]. Descartes a le sentiment très fort d'avoir utilisé son intelligence avec une telle rigueur qu'il a pu déchiffrer le code secret du monde». *La pensée scientifique de Descartes*, in *Lecture cartesiane*, a cura di M. Spallanzani, cit., pp. 66-67.

immaginazione, qualunque sia la parte verso cui può estendersi, non vi scorga più alcun luogo che sia vuoto².

Descartes non è nuovo a un simile approccio: già le *Regulæ* avevano fatto ricorso alla «suppositio» come tipo di argomentazione che chiarifica la «rerum veritas» nonostante tutte le premesse che giustificano la teoria non siano state compiutamente esplicitate³. In matematica, afferma la *Regula XII*, si possono accettare determinazioni della quantità diverse da quelle utilizzate in fisica «supponendo certe cose dalle quali non viene in alcun modo diminuita la forza della dimostrazione»⁴.

La *fable* è perfettamente sovrapponibile all'immagine del *tableau* con cui, nella quinta parte del *Discours*, Descartes illustra «la nature des choses matérielles»⁵. Nel *Traité de la Lumière* la forma ipotetica accompagna sia la riflessione sulle condizioni originarie dell'universo visibile, sia la descrizione della sua configurazione attuale. Molti commentatori hanno giustificato l'uso dell'ipotesi nel *Traité de la Lumière*, all'apparenza così diverso dall'ispirazione matematica che guidava il modello seriale e deduttivo delle *Regulæ*, con la mancanza di una metafisica sufficientemente salda da sorreggere, all'altezza dei primi anni '30, il nuovo sistema naturale⁶. L'ipotesi cosmologica sarebbe ascrivibile da un lato a motivi retorici e di prudenza rispetto ai possibili urti con la sensibilità religiosa

² *Le Monde*, cap. 6, A. T., XI, p. 32.

³ *Regulæ*, XII, A. T., X, p. 412.

⁴ *Regulæ*, XII, A. T., X, p. 412.

⁵ *Discours*, V, A. T., VI, p. 41.

⁶ Vi è ormai un comune accordo nel datare l'inizio della speculazione metafisica di Descartes a partire dal 1629 quando emerge con chiarezza il bisogno di una giustificazione delle verità di ragione. Cfr. Descartes a Mersenne, 15 aprile, 1630, A. T., I, pp. 135-147; 6 maggio, 1630, *ibid.*, pp. 148-150; 27 maggio, 1630, *ibid.*, pp. 151-154. F. Alquié riporta la forma favolistica alla tensione fra l'impianto metodologico seguito da Descartes nella costruzione della sua fisica e l'elaborazione, nei primi anni '30, della dottrina della creazione delle verità eterne: *La Découverte métaphysique de l'homme chez Descartes*, Presses Universitaires de France, Paris 1950, p. 125.

dominante, avversa alle scoperte astronomiche del copernicanesimo⁷. Dall'altro, essa legittima un approccio meccanicistico al funzionamento della materia e alla sua genesi dal caos⁸; un caos che, nella prospettiva cartesiana, le leggi liberamente stabilite da Dio ordinano nella configurazione attuale. D'altronde, gli elementi costitutivi dell'ipotesi includono tutto ciò che di chiaro e distinto può essere immaginato in fisica: nel linguaggio delle *Regulæ*, ogni aspetto geometrico (in particolare il principio del movimento), che escluda il ricorso a forze occulte e immaginarie per descrivere la meccanica dei corpi⁹.

Classificazione empirica e garanzia intuitiva dei principi escludono qualsiasi arbitrarietà dalla modalità ipotetica scelta da Descartes per presentare la sua teoria della materia. La favola del mondo fa convergere una nuova teoria degli elementi, ricostruita nella

⁷ Descartes è sicuramente a conoscenza, come attesta la corrispondenza con Mersenne, alla fine del novembre 1633, del Decreto di sospensione del *De Revolutionibus*, emesso il 5 marzo 1616 dalla Congregazione dell'Indice, nonché della condanna a Galileo nel novembre 1633, a seguito della pubblicazione dei *Dialoghi sui Due Massimi Sistemi del Mondo*. A questo proposito si veda Descartes a Mersenne, fine novembre, 1633, A. T., I, pp. 270-273. La teoria copernicana, per esplicita ammissione di Descartes, sta nondimeno al centro della sua elaborazione cosmologica: «Il est tellement li éavec toutes les parties de mon Traité, que je ne l'en saurais détacher, sans rendre le reste tout défectueux». *Ibid.*, p. 271. La lacerante sovrapposizione fra il filosofo naturale e il «credente», mirabilmente espressa nel proseguio della corrispondenza, condurrà Descartes alla scelta di non pubblicare il *Traité de la Lumière*. Di veda anche Descartes a Mersenne, aprile 1634, A. T., I, p. 285.

⁸ Sull'uso retorico del concetto di favola e il suo rapporto alla realtà materiale si veda P. A. Cahné, *Un Autre Descartes, Le Philosophe et son Langage*, Vrin, Paris, 1980, p. 117: «l'homme et le récit fabuleux dont il est capable, à la condition qu'il le déploie selon les règles de la méthode, se confondent avec le vrai monde en une relation d'identité qui pose comme une simple fiction méthodologique la distinction prudemment mise en place dans les textes du *Monde*». La deduzione di una cosmologia dalla logica dei principi troverà nei *Principes*, IV, 2, A. T., IX, pp. 203-204, l'abbozzo di una presentazione genetico-storica della Terra.

⁹ Buchdahl fa risalire la precedenza logica dei principi rispetto alle ipotesi a Platone, assumendo il punto di vista geometrico del tutto insufficiente fuori dalla garanzia metafisica: «Descartes tells us that he holds his hypothetical explanations to be really deducible from those primary truths which I have explained above – we are not told whether this is a reference to the argument of the *Cogito*, or to the existence, goodness and conserving power of God, to the laws of motion, or to concepts and principles of extension (geometry)». G. Buchdahl, *Metaphysics and Philosophy of science*, cit., p. 145.

prima parte del *Traité de la Lumière* attraverso il metodo induttivo, con uno studio fisico dei corpi che deduce la loro disposizione a partire dalla nozione di materia e dalle leggi del moto. La composizione dell'universo fisico si dà all'interno di una meccanica corpuscolare, estendibile in fisica a tutto ciò che l'intelletto umano può ridurre all'idea chiara e distinta di estensione.

La *fable* presenta così la verità delle cose materiali congiungendo la certezza delle conoscenze fisiche («que chacun ne puisse connaître aussi parfaitement qu'il est possible») alla libertà di immaginare un quadro interpretativo generale («la liberté de feindre cette matière à notre fantaisie»)¹⁰ che renda possibile la determinazione graduale e sistematica di tutte le incognite che in esso andranno inserite. Termine medio fra gli infiniti effetti deducibili dai principi e l'enunciazione dell'ordine finito in cui si esprime l'effettiva libertà e l'impegno conoscitivo dell'uomo, l'artificio della favola e l'uso di modelli ipotetici in ambito cosmologico attestano un aspetto «strumentalista»¹¹ dell'esposizione cartesiana su cui si soffermano Laudan¹² e Hacking proponendo un avvicinamento tra livelli probabilistici e conoscenza certa¹³. Congiungendo ipotesi e finzione, Alquié legge il *Traité de la Lumière* secondo il convenzionalismo di Duhem e Poincaré¹⁴. Le ipotesi, come ribadiranno i *Principia*, sono utili strumenti di spiegazione, a condizione che «tutti gli effetti che esse possono produrre siano simili a quelli che vediamo nel mondo»¹⁵.

¹⁰ *Le Monde*, cap. 6, A. T., XI, p. 33.

¹¹ Un carattere strumentalista che i *Principia* esprimono nel modo seguente: «Que leur fausseté [di alcune ipotesi] n'empêche point que ce qui en sera déduit ne soit vrai. Ce peu de suppositions me semble suffire pour m'en servir comme de causes ou de principes, dont je déduirai tous les effets qui paraissent en la nature, par les seules lois ci-dessus expliquées». *Principes*, III, 47, A. T., IX p. 125.

¹² L. Laudan, *Science and hypothesis: historical essays on scientific methodology*, Reidel, Dordrecht, 1981.

¹³ I. Hacking, *The Emergence of Probability*, Cambridge University Press, Cambridge, 1975, in particolare il cap. 6.

¹⁴ F. Alquié, *La Découverte métaphysique de l'homme chez Descartes*, cit., pp. 113-114.

¹⁵ *Principia*, III, 44, IV, 205, A. T., VIII.

Distinguendo certezza puramente morale¹⁶ e certezza che deriva dal paradigma matematico¹⁷, *Discours* e *Principia* concederanno infatti spazio ai modelli ipotetici, purché essi siano presupposti da quelle «leggi di natura» che fondano l'universo fisico¹⁸.

Ciò che la *fable* mette in gioco non è la certezza cui possono accedere le dimostrazioni fisiche, bensì il semplice grado di *persuasività* delle ragioni che fondano la nuova concezione della realtà («qu'elle ne soit très facile à concevoir en cette sorte»)¹⁹. La «favola» del nuovo mondo o delle parti che compongono l'uomo²⁰ rappresenta così il modello epistemologico privilegiato da Descartes per descrivere la sua fisica²¹; un modello il cui compito è quello di

¹⁶ Descartes opera nei *Principes* (IV, 204-205, A. T., IX p. 322), una distinzione tra «certezza morale» e certezza «più che morale». La seconda è garantita dalle verità metafisiche. La prima concerne invece verità di fatto, scoperte a partire da alcune ipotesi che possono spiegare fenomeni particolari come il magnetismo, il fuoco, il calore, o strutture più generali come per il corpo umano tramite l'immagine della macchina o il funzionamento del mondo grazie all'analogia con l'orologio. La certezza morale è «aussi grande que celle des choses dont nous n'avons point coutume de douter touchant la conduite de la vie, bien que nous sachions qu'il se peut faire, absolument parlant, qu'elles soient fausses». Per un'analisi del concetto di certezza morale in Descartes si vedano fra gli altri D. M. Clarke, *The Concept of experience in Descartes' theory of knowledge*, in *Studia leibnitiana*, VIII, 1976, pp. 18-39; J. Morris, *Descartes and Probable Knowledge*, in *Journal of the History of Philosophy*, 1970, 8, 3, pp. 505-512.

¹⁷ A proposito del paradigma matematico, espresso nelle *Regulae* sotto forma di *mathesis*, vedi: *Regulae IV*, in A. T., X, pp. 371-379.

¹⁸ *Discours*, I, A. T., VI, p. 7: «je me plaisais surtout aux mathématiques, à cause de la certitude et de l'évidence de leurs raisons; mais je ne remarquais point encore leur vrai usage, et, pensant qu'elles ne servaient qu'aux arts mécaniques».

¹⁹ *Le Monde*, cap. 6, A. T., XI, p. 36.

²⁰ *Discours*, V, A. T., VI, p. 45: «je ne voulais pas inférer, de toutes ces choses, que ce monde ait été créé en la façon que je me proposais [...] je me contentai de supposer que Dieu formât le corps d'un homme, *entièrement semblable* à l'un des nôtres».

²¹ *Principes* III, 19, A. T., IX: «je proposerai ici l'hypothèse qui me semble être la plus simple de toutes et la plus commode [...]. Et cependant j'avertis que je ne prétends point quelle soit reçue comme entièrement conforme à la vérité, mais seulement comme une hypothèse ou supposition qui peut être fausse». Cfr. anche III, 44: «je désire que ce que j'écrirai soit seulement pris pour une hypothèse laquelle est peut-être fort éloignée de la vérité». Un uso dell'ipotesi, secondo Marjorie Grene, esplicitamente ammesso da Descartes, purché sia iscritto nell'indubitabile fondazione dei principi: «He does celebrate his world, his man, as fables (A. T., XI, pp. 48, 97, 119-20). Yet in every case, or almost every case, so far as I can tell, he explains the use of invention as ancillary to the indubitability and stability of his fundamental principles». M. Grene, *Descartes*, cit., p. 65.

comporre insieme una teoria della materia, conseguita per induzione a partire dagli elementi primi della conoscenza (estensione, figura, moto) e le leggi fondamentali della conservazione della materia e del movimento.

Mi restano ancora molte cose da spiegare – afferma Descartes nel capitolo quinto del *Traité de la Lumière* – e sarò ben lieto di aggiungere a questo proposito alcuni argomenti per rendere le mie opinioni più verosimili. Al fine però che la lunghezza di questo discorso vi sia meno noiosa, ho deciso di svilupparne una parte inventandola come una Favola²².

Un lessico della *verosimiglianza* («rendre mes opinions plus vraisemblables»), non ancora iscritto nell'ordine sistematico della fisica che competerà ai *Principia*, permette tuttavia di ridefinire le modalità della visione scientifica del mondo secondo la proporzione fra le gradezze di una medesima materia «che riempie in modo uguale tutta la lunghezza, larghezza e profondità di questo grande spazio in mezzo al quale abbiamo fissato il nostro pensiero»²³. L'estensione è l'idea per eccellenza chiara e distinta di una fisica in cui «non vi sia nulla [...] che ciascuno non possa conoscere tanto perfettamente quanto possibile»²⁴; lunghezza, larghezza e profondità sono le condizioni attraverso le quali un «vero corpo, perfettamente solido riempie allo stesso modo tutte le dimensioni»²⁵.

Il mondo di Descartes si apre quindi con l'immagine di uno spazio indefinitamente esteso ed uniformemente riempito di materia, la stessa che l'intelletto concepisce nelle tre dimensioni a sua disposizione e che abbandona le qualità della scolastica:

Ora, dacché ci prendiamo la libertà di immaginare questa materia a nostra fantasia, attribuiamole una natura tale che in essa non si trovi assolutamente cosa

²² *Le Monde*, cap. 5, A. T., XI, p. 31.

²³ *Le Monde*, cap. 6, A. T., XI, p. 35.

²⁴ *Le Monde*, cap. 6, A. T., XI, p. 33.

²⁵ *Le Monde*, cap. 6, A. T., XI, p. 33.

che ciascuno non possa conoscere tanto perfettamente quanto possibile. A tal fine supponiamo espressamente che non posseda né la forma della Terra, né del Fuoco, né dell'Aria [...]. Non pensiamo neppure d'altra parte che sia quella Materia prima dei Filosofi, così bene spogliata di tutte le sue forme e qualità, che non vi è rimasta cosa che possa essere chiaramente intesa.

La modalità puramente geometrica dell'estensione cartesiana invalida la materia prima aristotelica e le sue determinazioni, in particolare il principio del moto definito nei termini di «actus entis in potentia prout in potentia est»²⁶. Termini così oscuri, afferma Descartes, «que je ne les saurais interpréter»²⁷. La nozione di moto locale²⁸ costituisce l'unica causa delle configurazioni corporee; un

²⁶ *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 39. Cfr. *Fisica*, III, I, 200b e III, I, 201a: «il movimento è l'entelechia di ciò che è in potenza in quanto è in potenza». Nelle parole dei commentari alla fisica aristotelica: «Materia secundum se est pura potentia, id est neque actus, nec aliquid ex potentia et actu compositum». *Commentariorum Collegii Conimbricensis S. J. In octo libros Physicorum Aristotelis* [...], Coloniae, sumptibus Lazari Zetzneri, 1599, I, 9, 3, I, cit. in É. Gilson, *Index scolastico-cartésien*, cit., p. 170. Sull'invalidazione del rapporto potenza atto nella definizione cartesiana di movimento si veda *Le Monde*, cap. 6, A. T., XI, p. 39 e la *Regula XII*, A. T., X, p. 426: «nam quis non percipit illud omne quodcumque est, secundum quod immutatur, dum mutamus locum, & quis est qui conciperet eandem rem, cum dicitur illi, *locum esse superficiem corporis ambientis* ? cum superficies ista possit mutari, me immoto & locum non mutante; vel contra mecum ita moveri, ut quamvis eadem me ambiat, non tamen amplius sim in eodem loco. At vero nonne videntur illi verba magica proferre, quae vim habeant occultam & sopra captum humani ingenij, qui dicunt *motum*, rem unicuique notissimam, *esse actum entis in potentia, prout est in potentia* ? quis enim intelligit haec verba? quis ignorat quid sit motus? & quis non fateatur illos nodum in scirpo quaesivisse?». Il riferimento alla nozione di luogo come limite del corpo rimanda alla *Fisica*, IV, 4, 210b-211a-b, dove si legge: «è per la proprietà di avvolgere che la forma sembra essere il luogo: in effetti le estremità di quel che avvolge e di ciò che è avvolto sono le stesse. Non v'è certo dubbio che là si trovano due limiti, ma non della stessa natura: la forma appartiene alla cosa, il luogo al corpo che avvolge».

²⁷ *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 39.

²⁸ «Que les corps passent d'un lieu en un autre et occupent successivement tous les espaces qui sont entre deux». *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 40. Si vedano anche *Principes*, II, 24, A. T., IX: «le mouvement donc [...] n'est autre que l'action par laquelle un corps passe d'un lieu en un autre», nonché II, 23, A. T., IX, p. 75: «il n'y a donc qu'une même matière en tout l'univers et nous la connaissons par cela seul quelle est étendue; pour ce que toutes les propriétés que nous apercevons distinctement en elle, se rapportent à ce quelle peu être divisée et mue selon ses parties, et qu'elle peu recevoir toutes les diverses dispositions que nous remarquons pouvoir arriver par le mouvement de ses parties. Car, encore que nous

moto comunicato alla materia dalla volontà di Dio al momento della creazione quando, grazie ad esso, particelle di differente forma e grandezza hanno assunto l'ordine noto:

Aggiungiamo a ciò che tale materia può dividersi in tutte le parti e secondo tutte le figure che possiamo immaginare; [...] supponiamo inoltre che Dio la suddivida effettivamente in parecchie parti [...] in modo che dal primo istante della loro creazione le une comincino a muoversi da un lato, le altre da un altro [...] e continuino poi il loro movimento secondo le leggi ordinarie di natura²⁹.

Il «mondo reale» viene dunque lasciato alle «sterili dispute dei Filosofi»; quello immaginario è investigato con rigore scientifico a partire da una nozione di materia perfettamente intelligibile. Materia e leggi del moto sono tutto ciò di cui Descartes ha bisogno per esporre la nuova concezione dell'universo consegnandone la teoria degli elementi, raggiunta per induzione nei primi capitoli, alle leggi che ne definiscono la meccanica effettiva.

La favola del mondo ricostruisce così l'architettura del cosmo a partire dall'esistenza di un Dio trascendente che crea la materia e le

puissions feindre, de la pensée, des divisions en cette matière, néanmoins il est constant que notre pensée n'a pas le pouvoir d'y rien changer, et que toute la diversité des formes qui s'y rencontrent dépend du mouvement local». La riduzione di tutti i cambiamenti fisici alle leggi del moto locale è in diretta opposizione, come rileva F. Alquié, alla tradizione aristotelica: «analysant la combustion, où semblent se trouver les trois mouvements d'Aristote (la bûche se transforme en cendres, diminue, etc). Descartes remarque 1) En vertu des réflexions présentées dans le premier chapitre, que supposer dans l'objet des qualités sensibles peut être une source d'erreur. 2) que la seule supposition du mouvement local (ou, plus exactement, de mouvements locaux affectant chacune des parcelles de la buche) suffit à expliquer, d'un point de vue purement physique, tous les «changements» expérimentés. Dès lors, le mécanisme doit remplacer, en physique, tout autre mode d'explication. Et il n'est pas besoin d'invoquer *la forme* du feu ou la *qualité* de la chaleur. Descartes pense ici aux textes scolastiques voyant dans la forme le principe de l'action des choses, et dans la chaleur une des qualités premières des éléments (v. à ce sujet les textes de Suarez et d'Eustache de Saint Paul cités par É Gilson, *Index scolastico-cartésien*, cit., sous les numéros 211 et 392 : *principium causandi non esse aliud quam entitatem et naturam ipsius formae [...] Sunt autem illae (primae qualitates) quatuor: calor, frigus, humiditas, siccitas etc.*)». Descartes, *l'Œuvre*, vol. I, cit., nota 1, p. 320.

²⁹ *Le Monde*, cap. 6, A. T., XI, p. 34.

sue leggi: i cieli, le stelle, il sole e, sulla terra, l'acqua, l'aria, il fuoco, i minerali sono effetti – ribadirà il *Discours* – che possiamo distinguere in classi determinate a partire dalle leggi «che Dio ha posto nella natura in tal modo che, dopo avervi riflettuto a sufficienza, non potremmo dubitare che siano esattamente osservate in tutto ciò che esiste o accade nel mondo»³⁰. In questo senso, Descartes sottolinea a Vatier di non poter rispondere ad alcuna questione in fisica senza l'ausilio dei principi³¹.

Il ricorso alla creazione divina assicura le principali leggi del moto – la conservazione di qualunque stato nella materia, la conservazione della quantità di moto totale nell'universo, la tendenza rettilinea del moto inerziale –, tutte dipendenti «dal semplice fatto che Dio è immutabile e, che agendo sempre nello stesso modo, produce sempre lo stesso effetto»³².

La somma totale di movimento nell'universo è conservata da Dio, istante per istante, e ripartita nello stato attuale dei corpi³³. Dio conserva ogni cosa creata «esattamente come è nell'istante in cui la conserva»³⁴. Ma *che cosa* si conserva nell'istante? La risposta di Descartes è puramente epistemologica: viene conservato ciò di cui si può comprendere l'esistenza con chiarezza e distinzione, ovvero il moto rettilineo, poiché «di tutti i movimenti è l'unico perfettamente

³⁰ *Discours*, V, A. T., VI, p. 41.

³¹ Descartes a Vatier, 22 febbraio, 1638, A. T., I, p. 563. Si veda, inoltre, Descartes a Mersenne, 15 novembre, 1638, A. T., II, p. 437: «je ne répons point aussi à plusieurs questions que tomberions jamais d'accord. Je ne répons point aussi à plusieurs questions que vous me faites touchant la matière subtile, etc. Car ce sont choses fort aisées en expliquant tout mon *Monde*; mais elles ne peuvent être entendues sans lui».

³² *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 43. «Chaque chose demeure en l'état qu'elle est, pendant que rien ne le change». *Principia*, II, 37, A. T., VIII.

³³ «Pour mieux entendre ceci, souvenez-vous qu'entre les qualités de la matière nous avons supposé que ses parties avaient eu divers mouvements dès le commencement qu'elles ont été créées, et outre cela qu'elles s'entretouchaient toutes de tour côtés, sans qu'il y ent aucun vide entre deux. D'où il suit, de nécessité, que dès lors, en commençant à se mouvoir, elles ont commencé aussi à changer et diversifier leurs mouvements par la rencontre l'une de l'autre». *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 37.

³⁴ *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 44.

semplice e la cui natura è contenuta in un solo istante»³⁵. Il ruolo della potenza infinita di Dio nella meccanica cartesiana si unisce così alla distinzione fondamentale fra moto rettilineo e moto circolare: «Dio è l'autore di tutti i movimenti che sono nel mondo in quanto sono, e in quanto sono rettilinei, ma che le diverse disposizioni della materia rendono irregolari e curvi»³⁶.

La terza legge, che afferma il carattere rettilineo del moto inerziale³⁷, è tradotta dal *Traité de la Lumière* nell'analisi della trasmissione istantanea della luce: la luce, come ogni altro corpo in movimento, non può che tendere in linea retta (terza legge). La deviazione curvilinea dei corpi è causata dall'urto³⁸: quest'ultima condizione rimanda alla dottrina dello spostamento circolare e locale delle parti di materia che riempiono uno spazio continuo ed omogeneo.

L'equivalenza di moto e quiete, grazie all'impiego della nozione di *stato* per cui «ogni parte della materia persiste nello stesso stato fino a che l'urto delle altre non la costringa a mutarlo»³⁹, la conservazione della quantità totale di moto, nonché la continuazione

³⁵ *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 45.

³⁶ *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 46.

³⁷ «Tout corps qui se meut, tend à continuer son mouvement en ligne droite». *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 44. Si vedano anche i anche *Principes*, II, 38, A. T., IX; Su questi aspetti della fisica cartesiana ricordiamo: A. Koyré, *Studi galileiani* cit.; S. M. Nadler *Deduction, confirmation and the laws of nature in Descartes's Principia Philosophiae*, in *Journal of the History of Philosophy*, 28, 3, 1990, pp. 359-383; D. Garber, *Descartes' Metaphysical Physics*, Chicago, 1992. M. Gueroult, *Métaphysique et physique de la force chez Descartes et chez Malebranche*, in *Révue de Métaphysique et de Morale*, 59, 1954, pp. 1-37.

³⁸ L'analisi del moto circolare, dedotta dalla tendenza centrifuga del moto costretto in una curva riflette una concenzione inerziale che diversi commentatori hanno accostato all'idea di una forza interna presente nel corpo e prossima alle teorie tradizionali dell'*impetus*: «si elle a une fois commencé à se mouvoir». *Le Monde*, *ibid.*, p. 38; «il suffit de penser q'un corps est en action pour se mouvoir vers un certain côté». *Le Monde*, *ibid.*, p. 45. Sui rapporti tra Descartes e la teoria dell'*impetus* si vedano gli studi di: I. B. Cohen, *Quantum in se est. Newton's Concept of Inertia in Relation of Descartes and Lucretius*, in *Notes and Records of the Royal Society of London*, 19, 1964, pp. 147-148; A. Gabbey, *Force and Inertia in Seventeenth Century Dynamics*, in *Studies in History and Philosophy of Science*, 2, 1971; R. Westfall, *Circular Motion in Seventeenth Century Mechanics*, *Isis*, 63, 1972, pp. 184-189.

³⁹ *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 38.

del movimento in linea retta sono dunque i principi di tutto ciò che può essere osservato nel mondo e che Descartes dirà nel *Discours* di avere scoperto «senza considerare a questo fine niente altro se non Dio che l'ha creati, né traendoli da altra fonte che da certi germi di Verità che riposano naturalmente nelle nostre anime»⁴⁰.

Dal punto di vista cosmologico, la collisione fra le particelle della materia prima, «perfettamente liquida e sottile», causa una «tendenza al movimento» che si identifica con la propagazione della luce e l'agitazione del pianeta solare⁴¹. Seguono la distribuzione, la grandezza e la velocità delle parti costituite dal secondo livello di materia⁴² (fig. 1).

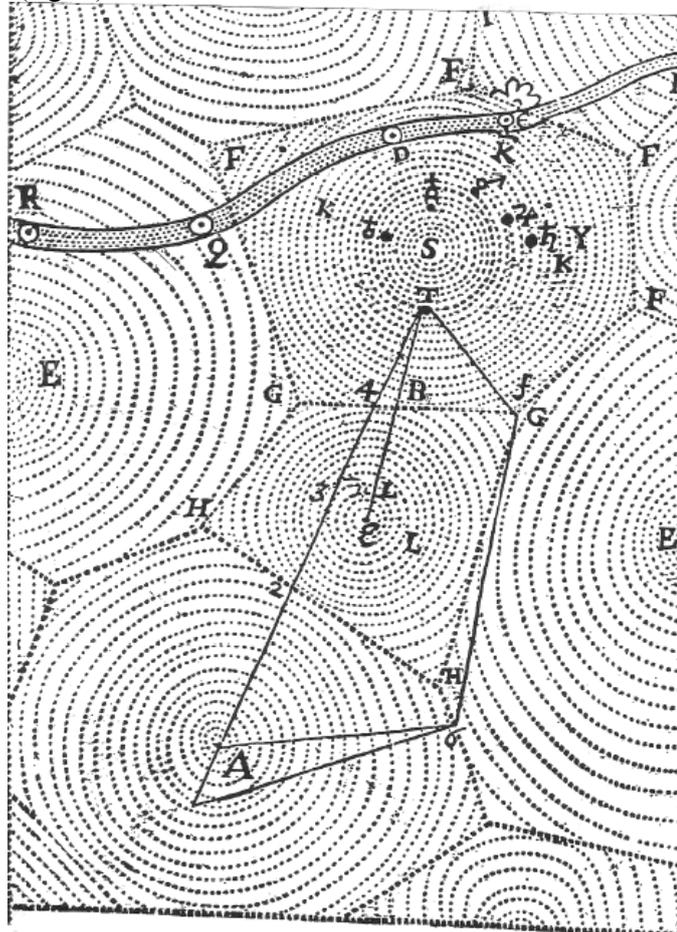


Figura 1

⁴⁰ *Discours*, VI, A. T., VI, p. 64.

⁴¹ *Le Monde*, cap. 8, A. T., XI, p. 53.

⁴² *Le Monde*, cap. 8, A. T., XI, pp. 54-56.

Nel sistema solare, agitazione (velocità) e grandezza delle sfere rispetto al centro del vortice sono variabili reciproche; la prima raggiunge un valore minimo in *K*, dove Descartes colloca il pianeta di Saturno. Da *K* verso l'esterno la velocità tornerà ad aumentare. La grandezza delle sfere, da un valore minimo vicino al sole, ad un valore massimo in *K*, tende poi a mantenersi costante o a diminuire di poco.

L'incremento della velocità è inversamente proporzionale all'aumento di grandezza fino a *K*; l'agitazione indotta dal primo elemento, che tende a diminuire una volta coperta la distanza *K*, sta in rapporto non solo alla variazione del movimento, ma anche alla grandezza relativa di ciascuna parte che concorre all'equilibrio e alla stabilità del sistema complessivo.

La difficoltà ad imprimere velocità a particelle relativamente grandi corrisponde all'agitazione della materia situata nelle zone più distanti dal centro del vortice:

Così in breve tempo si sono tutte disposte ordinatamente in modo tale che ciascuna s'è trovata più o meno lontana dal centro attorno al quale aveva iniziato il suo corso a seconda della sua grandezza e della sua agitazione a paragone delle altre. In quanto poi la grandezza ripugna alla velocità di moto, si deve persino pensare che le più distanti da ogni centro siano state quelle che, essendo un pò più piccole delle più vicine, erano per questo molto più agitate⁴³.

Il moto degli astri è dimostrato da Descartes grazie all'introduzione dei pianeti e delle comete all'interno dei vortici stellari. I pianeti sono anzitutto identificati con la materia più grande del terzo elemento, la cui agitazione (*branle*) condiziona le parti di cielo circostante:

Infatti, se dapprima si sono mosse più rapidamente di questa Materia, non avendo potuto fare a meno – incontrandola sul loro cammino – di sospingerla,

⁴³ *Le Monde*, cap. 8, A. T., XI, pp. 51-52.

hanno dovuto in poco tempo trasmetterle parte della loro agitazione; se poi, al contrario, non possedevano in se stesse nessuna inclinazione a muoversi, tuttavia, circondate da tutte le parti da questa materia del Cielo, hanno dovuto necessariamente seguire il suo corso⁴⁴.

Nell'analogia dei due battelli che attraversano la riva di un fiume, il più massiccio e solido avrà una tendenza centrifuga prodotta dalla forza inerziale che lo spinge maggiormente dell'altro a compiere il proprio corso:

Se immaginate due Fiumi che si congiungano in qualche luogo e che di nuovo si separino qualche tratto dopo, prima che le loro acque, che dobbiamo supporre assai calme e di forza abbastanza uniforme, ma anche assai rapide, abbiano modo di mischiarsi, battelli o altri corpi abbastanza massicci e pesanti che saranno portati dal corso di uno (dei due fiumi) potranno facilmente passare nell'altro, mentre i più leggeri se ne allontaneranno e saranno respinti dalla forza di quest'acqua verso i luoghi dove il suo corso è meno rapido⁴⁵.

Applicando tale analogia al moto dei corpi immersi nel liquido celeste, le comete si riferiscono ai corpi più pesanti, i pianeti a quelli più leggeri:

Sulla base di questo esempio è facile comprendere come, qualunque sia il luogo ove all'inizio si trovassero le parti della Materia che non potevano assumere la forma né del secondo Elemento né del primo, quelle più grandi e più massicce abbiano dovuto in breve tempo dirigere il loro corso verso la circonferenza esterna dei Cieli che le contenevano e passare poi continuamente da alcuni di questi Cieli negli altri, senza mai arrestarsi molto tempo ininterrottamente nello stesso Cielo e come, all'opposto, tutte quelle meno massicce abbiano dovuto essere sospinte

⁴⁴ *Le Monde*, cap. 9, A. T., XI, pp. 57-58.

⁴⁵ *Le Monde*, cap. 9, A. T., XI, p. 58. La relazione tra movimento e quantità di materia dipende anche dalla superficie occupata da un corpo rispetto agli altri. Il vuoto, che dovrebbe permettere tale spostamento, non è altro che la proporzione fra gli interstizi di una materia piena.

verso il centro del Cielo che le conteneva dal corso stesso della materia di questo Cielo⁴⁶.

L'analogia con la riva del fiume lascia incerte molte questioni: l'esatta precisazione del concetto di solidità di un corpo, il rapporto fra la velocità del pianeta e il mezzo circostante, la misurazione della distanza orbitale del pianeta dal centro di ciascun vortice⁴⁷. L'esempio scelto da Descartes per descrivere il movimento di un corpo attorno a un centro è in definitiva confuso e insufficiente; Descartes trasforma possibilità ideali in realtà fisiche, fa corrispondere rapporti macro-meccanici tra fenomeni a relazioni fisiche micro-meccaniche.

Un corpo, circondando di materia del secondo elemento, non può conservare la propria direzione rettilinea. Si consideri il pianeta \hbar ⁴⁸ seguire il corso della materia celeste lungo l'orbita K (fig. 1):

Se questo pianeta avesse appena un pò più di forza di quanta non abbiano le parti del secondo Elemento che lo circondano, invece di seguire sempre questo

⁴⁶ *Le Monde*, cap. 9, A. T., XI, p. 60.

⁴⁷ Incertezze che dipendono, come afferma D. M. Clarke, da un concetto di materia che se equiparato alla semplice estensione non spiega la dimensione concreta dello spazio occupato dai singoli corpuscoli e lascia indeterminato il rapporto tra quantità di materia e velocità: «the concept of matter does not provide any *a priori* insight into the kinds of particles one needs for the success of any scientific theory. Nor does the concept of matter determine in advance what it means for a particle to occupy a given space (or have a determined extension) – Il problema del reale posizionamento dei pianeti può essere risolto solo dalla specificazione del concetto di solidità – Thus the amount of matter in a given body is proportional to its volume and density. The weight of a body is the force it exerts in its motion toward the centre of the earth and is a function of its quantity of matter, its size, and the resistance of the surrounding medium [...]. One finds the same rather vague references to size, surface area, resisting media and speed in that section of the *Principia* between the laws and the rules in which he explains the theory underlying the derivation of the rules of impact». *The impact rules of Descartes' physics*, in *R. Descartes, Critical Assessments*, G. J. D. Moyal, (ed.), Routledge, New York, pp. 112-113.

⁴⁸ Descartes usa i simboli astronomici convenzionali per il suo nuovo mondo, simboli che hanno le seguenti corrispondenze nel sistema planetario solare: ☉ = Sole; ☾ = Luna; ☿ = Mercurio; ♀ = Venere; T = Terra; ♂ = Marte; ♃ = Giove; ♄ = Saturno.

cerchio K , si dirigerebbe verso Y , allontanandosi dal centro S più di quanto non disti da esso⁴⁹.

Il movimento centrifugo del pianeta è impresso dalle parti più sottili di materia che lo spingono fuori dal centro S , via via che attraversa zone più lontane dalla propria circonferenza. Nel caso in cui il pianeta \hbar abbia invece «meno forza delle parti del secondo elemento che lo attorniano» accade che «quelle che lo seguono e che, rispetto ad esso, son poste un pò più in basso, possono deviarlo e far in modo che, invece di seguire il cerchio K , discenda verso il pianeta indicato; può darsi che quand'è in questo luogo si trovi dotato proprio della stessa forza che posseggono quelle parti del secondo elemento che in quel momento lo attorniano»⁵⁰.

Nel muoversi attorno al sole, il pianeta incontra parti di materia molto più agitate di quelle poste in K , ma più piccole, mantenendosi così in equilibrio fra tendenza centrifuga e stabilità all'interno dell'orbita. Il bilanciamento, che risulta dal rapporto fra l'agitazione del corpo e la resistenza del mezzo, sarà maggiore negli spazi sottostanti K , sì da porre il pianeta in condizioni di stabilità. La proporzione tra la forza di movimento e la resistenza incontrata introduce il concetto di «solidità», a cui l'analogia dei due battelli alludeva in modo confuso, e che il decimo capitolo del *Traité de la Lumière* fa invece dipendere da due fattori principali: la quantità di materia appartenente al corpo e la porzione di materia occupata dalle sue parti⁵¹:

⁴⁹ *Le Monde*, cap. 10, A. T., XI, p. 64.

⁵⁰ *Le Monde*, cap. 10, A. T., XI, p. 65.

⁵¹ I *Principia* stabiliranno la solidità di un corpo a partire dalla forza di un corpo come rapporto tra volume (quantità di materia) e resistenza incontrata rispetto alla superficie che occupano le parti: «per soliditatem hic intelligo quantitatem materiae tertii elementi [...] cum eius mole et superficie comparatam». *Principia Philosophiae*, III, 121, A. T., VIII. Sul concetto cartesiano di densità vedi anche *Principia*, III, 122-125. Cfr. A. Gabbey, *Force and Inertia in seventeenth century dynamics*, in *Studies in History and Philosophy of Science*, 1971, 2, pp. 20-28. Se l'estensione, presa isolatamente, non può render conto della divisione attuale delle sue parti né delle differenze fra i gradi di materia, il concetto di movimento come semplice modo o proprietà del corpo, definito dal rapporto tra quantità di moto e volume spaziale, prende forma dall'immagine di una materia assolutamente inerte.

Per quanto sia corretto affermare che quando due corpi si muovono con uguale velocità, se uno contiene due volte più materia dell'altro, ne sarà anche due volte più agitato, non per questo è da dirsi che posseda anche doppia forza per continuare a muoversi in linea retta; ne avrà però esattamente il doppio se, insieme a tutto ciò, anche la sua superficie sarà esattamente due volte più estesa, ché, in tal caso, sarà sempre doppio anche il numero dei corpi che gli opporrà resistenza; avrà assai meno (forza) se la sua superficie sarà estesa di gran lunga più del doppio⁵².

Vi è dunque una proporzione tra forza e resistenza grazie alla quale la tendenza centrifuga dei pianeti è controbilanciata dalla superficie di materia che li attornia e che li tiene in equilibrio nell'orbita. Una resistenza che raggiunge il suo culmine in *K*, a partire dalla maggior spessitudine delle parti coinvolte, e decresce, come affermeranno i *Principia*, nelle porzioni inferiori di materia:

Se scendesse più in basso [il pianeta], verso il Sole, si troverebbe circondato di particelle celesti un pò più piccole che perciò gli sarebbero inferiori

La transizione dal cartesianesimo a Newton sarà contenuta nel passaggio dall'idea di materia-estensione al concetto di *massa*. Nelle parole di R. J. Balckwell: «Descartes does not deny, of course, that an external force, or action, is needed for the production of motion. But what is this force? Originally it is God's creative and conservative power. If it is granted that there is no genuine secondary qualities in the Cartesian physical world, a point which is certainly open to debate, then bodies in the universe are purely passive and Cartesian matter is totally inert and inactive [...] and cannot contain within itself the structures and properties which are needed to explain the variety and especially the dynamic character of the world in which we live». *Descartes Concept of Matter*, in E. Mc. Mullin (ed.), *The Concept of Matter in Modern Philosophy*, University of Notre Dame Press, London, pp. 70, 75. Sul concetto cartesiano di materia vedi inoltre: E. Bréhier, *Matière cartésienne et création*, in *Revue de Métaphysique et de Morale*, 44, 1937, pp. 21-34; J. Laporte, *La connaissance de l'étendue chez Descartes*, in *Revue Philosophique de France et de l'Étranger*, 123, pp. 257-289; J. Moreau, *La réalité de l'étendue chez Descartes*, in *Études Philosophiques*, 5, 1950, pp. 185-200; P. Mouy, *Le développement de la physique Cartésienne*, cit.; D. Clarke, *The impact rules of Descartes' physics*, cit.

⁵² *Le Monde*, cap. 10, A. T., XI, pp. 66-67.

in fatto di forza, e che, dotate di maggiore agitazione, ne aumenterebbero agitazione e forza facendolo tosto salire più in alto⁵³.

La relazione fra la velocità dei pianeti e la loro distanza dal centro risponde così nel decimo capitolo del *Traité de la lumière* al rapporto fra la superficie irregolare delle particelle di materia del pianeta e la corrispondente densità di quest'ultimo. L'esempio utilizzato da Descartes è in questo caso quello di «una grossa sfera composta da parecchi rami d'albero uniti alla rinfusa e ammassati l'uno sull'altro, come dobbiamo immaginare siano le parti della materia di cui sono composti i Pianeti», spinti dalla forza delle parti di Cielo circostante⁵⁴. La dimostrazione non poggia in alcun modo sul fenomeno reale, bensì sull'evidenza del modello che suggerisce l'ipotesi (il rapporto fra superficie e densità delle parti di materia). Nei *Principia*, l'attenzione di Descartes si orienterà al rapporto fra tendenza centrifuga⁵⁵ e volume di un corpo. Sono queste le condizioni che determinano il grado di resistenza del mezzo in cui avviene l'azione: gli elementi più solidi sono trascinati al di là da K sino a diventare comete⁵⁶.

⁵³ *Principia*, III, 140, A. T., VIII, pp. 191-192.

⁵⁴ *Le Monde*, cap. 10, A. T., XI, pp. 68.

⁵⁵ Del resto, la caratterizzazione che Descartes offre della cosiddetta forza centrifuga è tutt'altro che matematica: il nodo concettuale risiede piuttosto nel passaggio fra lo stato di un corpo considerato nel suo isolamento e la sua traduzione alle altre parti di materia circostante: «né l'inerzia né la quantità di materia hanno infatti in Descartes un significato puramente matematico, anche se dei concetti matematici conservano la chiarezza e la distinzione. Così, l'azione per cui in séguito alla legge d'inerzia ogni corpo si muove in linea retta si traduce fisicamente (ossia naturalmente, nel mondo considerato nel suo insieme) nell'urto reciproco che muta e diversifica i moti della materia rendendoli effettivamente curvi [...]. I famosi vortici cartesiani (cfr. cap. VIII e IX) non indicano che un modello di interazione possibile della materia in moto: sono in altre parole la rappresentazione di uno spazio curvo costituito dalla materia in movimento». M. Mamiani, introduzione a *Le Monde*, cit., p. 10.

⁵⁶ Nei *Principia*, la resistenza al movimento è chiaramente esplicitata in funzione della solidità di un corpo, ovvero del rapporto tra superficie e volume. Se un pianeta ha meno solidità delle parti che lo circondano, e dunque minor forza centrifuga, verrà tradotto nelle parti di materia sottostante: «puis enfin, que la force de continuer ainsi à se mouvoir est plus durable et plus constante dans les planètes que dans la matière du ciel qui les environne, et même le est plus durable dans une grande planète que une moins grande. Dont la raison est que les

La meccanica celeste del *Traité de la Lumière* integra dunque la classificazione induttiva degli elementi che formano il mondo all'interno di certe proprietà fondamentali: quantità di materia, velocità, superficie occupata dai corpi.

Rimane un'ultima componente che deve essere investita delle nuove determinazioni meccaniche e sottratta alla fisica antica delle forze e delle cause occulte, ovvero la gravità, come «forza che unisce tutte le parti della Terra»:

Quelle parti del piccolo Cielo che attornia la Terra, ruotando intorno al suo centro assai più rapidamente di quelle (di tale Pianeta), tendono anche con maggior forza ad allontanarsene e, conseguentemente, a spingervele. Se poi avrete qualche difficoltà su quel che ho detto poco fa, cioè che i corpi più compatti e più solidi (come ho supposto che siano quelli delle Comete) procedevano verso le circonferenze dei Cieli e solo quelli che lo erano meno venivano spinti verso i loro centri [...] tenete conto che quando ho detto che i corpi più solidi e più compatti tendevano ad allontanarsi dal centro di qualche Cielo, ho supposto che già prima essi si muovessero con la stessa spinta della materia di questo Cielo⁵⁷.

La tendenza dei corpi verso il centro della terra è il risultato di una scarsa spinta centrifuga. In rapporto al meccanismo dei fenomeni celesti dove maggior solidità significa lontananza dal vortice solare (si veda l'esempio delle comete), per i corpi terrestri la solidità è proporzionale alla forza centripeta. Su tale cambiamento Descartes precisa la cornice meccanica del *Traité de la Lumière* inserendovi un

moindres corps, ayant plus de superficie à raison de la quantité de leur matière que n'en ont ceux qui sont plus grands, rencontrent plus de choses en leur chemin qui empêchent ou détournent leur mouvement». *Principes*, III, 145, A. T., IX, p. 193.

⁵⁷ *Le Monde*, cap. 11, A. T., XI, p. 73. Similmente al metodo seguito nei problemi di idrostatica del 1618, generalizzazioni empiriche e risultati teorici vengono trattati ad un livello geometrico che regola la meccanica microcorpuscolare inserendola nell'azione del vortice. Sull'applicazione del modello idrostatico alla cosmologia del *Traité de la Lumière*, tema principale della prossima sezione, si veda l'analisi di S. Gaukroger: *The foundational role of hydrostatics and statics in Descartes' natural philosophy*, [in *R. Descartes, Critical Assessments*, cit., pp. 69-70], che rileva lo scarto rispetto alle teorie dell'attrazione kepleriana e alla fisica della caduta offerta da Galileo.

importante passaggio concettuale: il confronto fra Terra e comete permette infatti di delineare sia il rapporto superficie-volume di un pianeta, ovvero la sua solidità, sia la forza di movimento che ciascun corpo possiede rispetto alla materia che lo attornia⁵⁸. Ogni movimento nasce dall'impatto tra il volume del corpo e la corrispondente somma di materia del secondo elemento che lo circonda.

Descartes formula dunque un modello di spiegazione scientifica che offre un'esposizione perspicua dei fenomeni naturali confrontandoli fra loro a partire dall'evidenza delle leggi che ne chiariscono la configurazione e dal rapporto di coerenza che li lega al quadro fisico più generale. La relazione fra le leggi del moto e i fenomeni particolari abilita così a formulare, nel capitolo tredicesimo, l'aspetto fisico più importante della meccanica dell'universo, ovvero la distinzione fra la tendenza istantanea e rettilinea al moto e il movimento rotazionale dei corpi. A questo livello dello sviluppo della cosmologia cartesiana, lo studio di un fenomeno particolare – la luce – definisce la condizione fisica più semplice fra quelle che regolano le interazioni meccaniche dei corpi: la trasmissione istantanea del moto.

⁵⁸ Comete e parti di materia terrestre hanno una solidità specifica che le situa all'interno di un vortice, a condizione che il loro movimento rotatorio e centrifugo sia già stato acquisito. Più grande è la solidità di un corpo, più difficoltà incontrerà il movimento ad essere impartito: «Descartes répond ici à l'objection suivante: comment se fait-il que les corps massifs, au lieu d'être poussés vers le centre de la Terre, ne s'éloignent pas d'elle avec d'autant plus de force qu'ils sont *plus massifs et plus solides*? Ils devraient alors se diriger vers la circonférence du tourbillon. Réponse il en serait ainsi si leur vitesse était égale à celle de la matière céleste qui tourne autour de la Terre. Mais les corps pesants sont solidaires, non du mouvement du ciel environnant la Terre, mais de celui de la Terre elle-même, lequel est beaucoup plus lent. Leur force centrifuge est donc beaucoup moins grande». F. Alquié, *Œuvre*, vol 1, cit., nota 1, p. 372. Se pesantezza e leggerezza di un corpo dipendono dal tipo di movimento che riempie le regioni di materia ad esso vicine, «in the last analysis, gravity for Descartes is a function of the comparative velocities of motion». R. J. Blackwell, *Descartes Concept of Matter*, cit., p. 72.

PARTE TERZA

Modelli della conoscenza scientifica Dal *Traité de la Lumière* al *Discours*

I

Dal metodo comparativo delle *Regulae* ad una fisica generale

I) Il *Traité de la Lumière* e la fisica della luce

Nel *Traité de la Lumière*, la presentazione dei principi meccanici e della teoria degli elementi che dà forma all'universo precede la teoria della luce. Quest'ultima consegue dalla meccanica del moto e dalle sue leggi, in particolar modo il movimento rettilineo¹.

¹ Nella terza legge, esposta nel capitolo settimo del *Traité de la Lumière*, il principio dell'inerzia rettilinea afferma che, in assenza di condizionamenti esterni, un corpo procede nella sua condizione di moto rettilineo. Descartes associa tale stato del corpo ad una determinazione istantanea: «or est-il que, de tous les mouvements, il n'y a que le droit qui soit entièrement simple et dont toute la nature soit comprise en un instant. Car pour le concevoir, il suffit de penser qu'un corps est en action pour se mouvoir vers un certain côté, ce qui se trouve en chacun des instants qui peuvent être déterminés pendant le temps qu'il se meut. Au lieu que, pour concevoir le mouvement circulaire, ou quelque autre que ce puisse être, il faut au moins considérer deux de ses instants, ou plutôt deux de ses parties, et le rapport qui est entre elles». *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 45. Si veda anche *Météores*: A. T., VI, pp. 332-333. L'istantaneità del moto della luce è ribadita a Ciermans per rispondere al perché la luce non compia un ritardo nel passare dal Sole alla Terra: «neque tamen ideo percipio rationem, cur particulae materiae coelestis D. vestrae non videantur aequae tenaces ejus gyrationis ex qua colores oriuntur, quan ipsius motus directi, in quo lumen consistit». Descartes a Ciermans, 23 marzo, 1638, A. T., II, p. 74. In altre parole, la rotazione dei corpuscoli di luce non richiede alcuna forza esterna per il mantenimento del suo moto e, in questo senso, può considerarsi inerziale al pari del moto rettilineo uniforme. Gaukroger attribuisce questo risultato alla modellizzazione della cinematica cartesiana su di una fisica statica o, più precisamente, sulle condizioni di equilibrio poste dall'idrostatica: «this arises, for example, where the kinematics that Descartes needs to resolve a question, and the statical concepts in terms of which he tries to pursue the resolution, are in conflict, so that when he should be

Il capitolo settimo del *Traité de la Lumière* definisce la causa del moto centrifugo nei termini di una tendenza radiale del corpo, descritta nella prima e terza legge di natura². In assenza di condizionamenti esterni, tutti gli attributi di un corpo, inclusi movimento e riposo, rimangono invariati³. La prima legge del moto afferma la conservazione della «forza» di movimento; la terza ne specifica la direzione in linea retta⁴. La nozione di moto è quindi letta

thinking (kinematically) in terms of inertia he is in fact thinking (statically) in terms of equilibrium, and when he should be thinking (kinematically) in terms of how unequal bodies behave when they collide, he is actually thinking (statically) in terms of how unequal bodies behave when they are placed on a balance». *The foundational role of hydrostatics and statics in Descartes' natural philosophy*, cit., p. 63.

² *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 38.

³ «C'est-à-dire que: si elle [chaque partie de matière] a quelque grosseur, elle ne deviendra jamais plus petite, sinon que les autres la divisent; si elle est ronde ou carrée, elle ne changera jamais cette figure sans que les autres l'y contraignent; si elle est arrêtée en quelque lieu, elle n'en partira jamais que les autres ne l'en chassent; et si elle a une fois commencé à se mouvoir, elle continuera toujours avec une égale force jusques à ce que les autres l'arrêtent ou la retardent». *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 38.

⁴ «Et ainsi leur action, c'est-à-dire l'inclination qu'elles ont à se mouvoir, est différente de leur mouvement [...]. Cette Règle est appuyée sur le même fondement que les deux autres et ne dépend que de ce que Dieu conserve chaque chose par une action continue et par conséquent qu'il ne la conserve point telle quelle peut avoir été quelque temps auparavant, mais précisément telle quelle est au même instant qu'il la conserve». *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 44. Il tema della creazione / conservazione continua di ciascun stato in quanto dipendenti da Dio come causa efficiente, sta al centro del vasto dibattito storiografico sui rapporti fra teologia e meccanica nel pensiero di Descartes. Secondo J. Wahl, «dire que le choses durent, c'est dire qu'elles sont créés continuellement [...]». Et la pierre lancée par la fronde comme tout à l'heure la lumière ne font que répéter, affaiblie, l'action simple et éternelle par laquelle Dieu se créant lui-même crée tout». *Du rôle de l'idée de l'instant dans la philosophie de Descartes*, Félix Alcan, Paris, 1920, pp. 23, 31. Di diverso avviso è la lettura di Th. Verbeek che equipara il principio dell'immutabilità di Dio alla garanzia della sua non ingerenza nel sistema di rapporti naturali, occasionati meccanicamente: «with the possible exception of the conservation laws no feature of the physical world is explained in its necessity by referring it to God. The idea of God "explains" something (apart from the sheer existence of the world) only if we reintroduce final causes – as in Leibniz, for example, according to whom we can deduce fundamental properties of the world from the idea that God must have perfect reasons for doing something». Th. Verbeek, *Spinoza on the Truth and Certainty of Scientific Knowledge*, cit., p. 12. Per A. Funkenstein, la costanza dell'intervento divino corrisponde ad una fisica puramente geometrica che esclude qualsiasi ricorso a forze o cause finali nell'universo: *Teologia e immaginazione scientifica dal Medioevo al Seicento*, Parte II, cap. V, cit., pp. 86-91.

a partire dal termine *action* ou *inclination à se mouvoir*, che l'analogia con il comportamento di una pietra scagliata da una fionda, esposta nel capitolo tredicesimo del *Traité de la Lumière*, analizza nel triplice aspetto inerziale (tendenza verso la linea *AC*, fig. 1), rotatorio (*AB*), e centrifugo (*AE*), come effetti della resistenza del corpo a costrizioni fisiche esterne⁵:

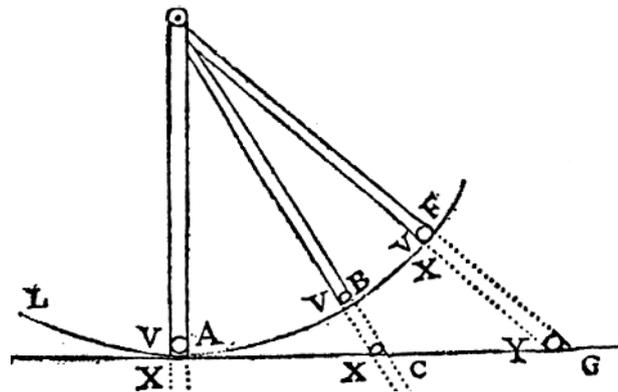


Figura 1

Così, per esempio, la pietra che ruota in una fionda, seguendo il cerchio *AB*, quando si trova nel punto *A*, se non si considera altra cosa al di fuori del suo movimento, tende verso *C*; se si considera invece il suo moto regolato e determinato dalla lunghezza della corda che lo trattiene, tende secondo una linea circolare, da *A* verso *B*; infine, nel caso in cui, senza tener conto della componente del suo moto il cui effetto non è in alcun modo ostacolato, si oppone l'altra parte

⁵ *Le Monde*, cap. 13, A. T., XI, p. 85. Tendenza rettilinea e tendenza centrifuga sono dunque le due dimensioni primarie di un corpo in movimento a seconda che lo si consideri dal punto di vista della conservazione del suo stato, modellato sull'uniformità dell'azione divina, o a partire dal contesto fisico delle costrizioni a cui il corpo è sottoposto: «il faut dire que Dieu seul est l'auteur de tous le mouvements, qui sont droits; mais que ce sont les diverses dispositions de la matière qui le rendent irréguliers et courbes». Si potrebbe dunque ipotizzare, dalla lettura di questo passo, una duplicità fra la volontà divina rispetto alla quale un corpo viene considerato nel suo isolamento (aspetto rettilineo) e l'inevitabile curvatura spaziale prodotta dalla totalità materiale che lo circonda nelle reali condizioni fisiche: «au fond de la conception cartésienne, l'idée aristotélicienne d'une matière rebelle [...]. Tandis que Dieu est le créateur des mouvements, en tant qu'il sont droits, "ce sont les diverses dispositions de la matière qui les rendent irréguliers et courbes". [*Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 46]. La nature est perpétuel changement; il n'y a de substance que parce qu'il y a un esprit». J. Wahl, *Du rôle de l'idée de l'istant dans la philosophie de Descartes*, cit., pp. 27-28.

alla resistenza che le offre di continuo questa fionda, questa stessa pietra tende verso *E*⁶.

Il movimento di un corpo è quindi il risultato di diverse *azioni*, o *collisioni*, che il *Traité de la Lumière* scompone geometricamente⁷ nelle due componenti rettilinea e circolare. L'esempio della fionda è esplicativo dei due principi che, nella meccanica cartesiana, regolano il comportamento dei corpuscoli rispetto al loro centro di rotazione: stabilito infatti il moto circolare di un corpo come il risultato meccanico dell'urto, che a sua volta presuppone una resistenza, Descartes studia l'allontanamento o l'avvicinamento di un corpo rispetto al centro della Terra a seconda che lo si consideri: a) in modo isolato, b) sospinto dalla materia soprastante del cielo, c) adiacente ad altri corpi più massicci⁸.

⁶ *Le Monde*, cap. 13, A. T., XI, pp. 85-86. La congiunzione di movimento rettilineo e moto circolare viene spiegata da F. Alquié secondo una duplice determinazione: rettilinea, se considerata nel suo isolamento e a partire dalla sua qualificazione metafisica, circolare, se posta in relazione alla materia circostante: «l'observation nous ferait penser que la loi du mouvement est celle de la circularité. Et la seule induction nous conduirait à cette erreur. Mais la réflexion métaphysique nous enseigne que la loi du mouvement est celle de sa continuation en ligne droite». *Œuvre*, vol 1, cit., nota 1, p. 362. La destituzione del moto circolare dal privilegio di semplicità e perfezione attribuitogli dalla scolastica, realizza la vera innovazione del concetto cartesiano di moto e della sua indefinita linearità «dans le mobile à chaque instant». A. Koyré, *Studi galileiani*, cit., p. 168.

⁷ La trattazione geometrica della pressione come tendenza direzionale è resa possibile dalla rappresentazione geometrica delle sue linee, o componenti, che Descartes riprende dal parallelogramma delle forze di Stevin, appreso durante gli studi con Beeckman. Vedi supra: Parte I, cap. I, § III: *I primi principi della dinamica e la «propensio ad motum»*. *I Physico-Mathematica e la nota sul paradosso idrostatico*.

⁸ *Le Monde*, cap. 13, A. T., XI, pp. 84-86. Cfr. anche *Principes*, III, 56-57, A. T., IX. La scomposizione del movimento in due aspetti complementari è vista da M. Mamiani in funzione dell'attenzione prestata a ciascun corpo o al risultato delle sue interazioni rispetto alla *totius facie universi*: «affinché la giustificazione risulti valida occorre tuttavia che le parti della materia in moto inerziale siano considerate *singularmente*, cioè prescindendo dal moto delle altre parti nel loro insieme. Ma Descartes aveva già precisato (cfr. l'inizio del cap. VII) che la natura va considerata nel suo insieme e perciò l'effettivo movimento dei corpi sarà necessariamente diverso dalle leggi che regolano le singole azioni dei corpi. Così il rapporto legge-mondo è un rapporto di causalità diretta (che adombra a sua volta il rapporto Dio-mondo), in cui dalla medesima causa (l'inerzia rettilinea) derivano i più diversi effetti (la varietà dei moti materiali)». Introduzione a *Le Monde*, cit., p. 10.

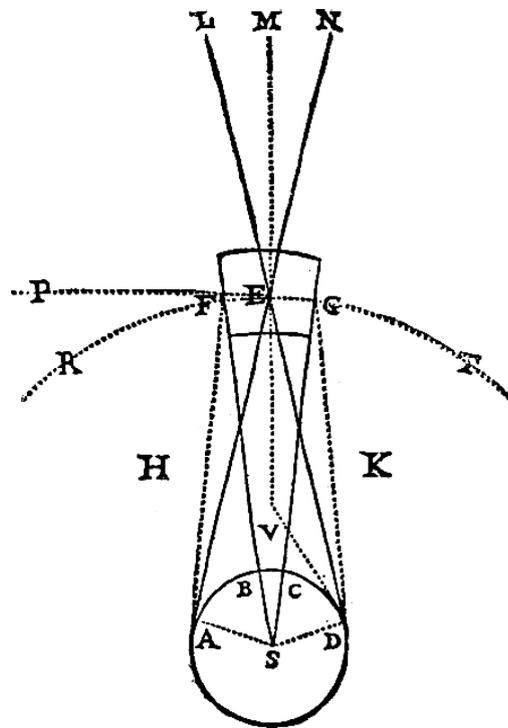


Figura 2

La spiegazione cartesiana dell'azione della luce presenta sorprendenti analogie con i risultati dei primi esperimenti sull'idrostatica del 1618, ripresi nella lettera a Reneri del 1630 sulla meccanica dei fluidi⁹. Sia nella spiegazione degli effetti prodotti dalla pressione di un liquido all'interno di un contenitore, che nella descrizione dell'azione del mercurio all'interno di una provetta, rovesciata ed aperta, Descartes aveva distinto la nozione di moto da quella di «tendenza al movimento». Analogamente, nell'esempio cosmologico del *Traité de la Lumière*, dove si parla della propagazione dei raggi di luce dal sole alle parti di materia circostante, qualora l'area attorno ad *E* fosse vuota (fig. 2), le parti in *H* e in *K* non tenderebbero verso il punto *E* perché «tutti i movimenti continuano a

⁹ Descartes a Reneri, 2 giugno, 1631, A. T., I, pp. 205-209. L'influenza delle prime note sull'idrostatica (1619) è in questo senso decisiva per interpretare la scomposizione dell'istantaneità della luce nei termini dell'inclinazione al moto e del movimento circolare nelle condizioni di un trasferimento continuo della quantità di moto fra i corpi all'interno del pieno.

procedere, per quanto possibile, in linea retta, e di conseguenza la natura, quando ha diverse vie per pervenire a uno stesso effetto, segue sempre immancabilmente la più breve»¹⁰. Per Descartes, il modo più semplice per riempire l'area E implica che la materia nel cono AED occupi istantaneamente lo spazio vuoto lasciato sopra di lei: lo spostamento fra le parti di materia avviene in condizioni di stretta contiguità e secondo le modalità della tendenza istantanea al moto. Per i settori di materia in AFE e DEG sarà quindi naturale la tendenza a riempire gli spazi lasciati liberi in E , che H e K non possono soddisfare:

Desidero che voi consideriate le parti del secondo Elemento assolutamente di per sé, come se tutti gli spazi che sono occupati dalla materia de primo, sia quello dove si trova il sole che gli altri, fossero vuoti [...]. Desidero anche che immaginate che le parti del secondo Elemento che si trovano verso E ne siano tolte e, posto ciò, che osserviate innanzi tutto che nessuna di quelle che si trovano al di sopra del cerchio TER , come verso M , sia disposta a prendere il loro posto, ché, invece, tendono tutte ad allontanarsene [...]. Ancora, che quelle che si trovano al di sotto di questo cerchio, ma che non sono comprese tra le linee AF , DG , come quelle che sono verso H e verso K , non tendano neppure esse ad avanzare in modo alcuno verso questo spazio E per riempirlo, per quanto l'inclinazione che esse hanno ad allontanarsi dal punto S ve le disponga in qualche modo [...]. Ora, la ragione che impedisce loro di tendere verso questo spazio è che tutti i movimenti si susseguono quanto è possibile in linea retta, e conseguentemente che la Natura, quando ha a disposizione diverse vie per raggiungere uno stesso effetto, segue sempre infallibilmente la più breve. Infatti, se le parti del secondo Elemento che si trovano per esempio verso K procedessero verso E , tutte quelle più prossime al Sole di quanto esse non siano avanzerebbero pure nello stesso istante verso il luogo da quelle abbandonato; in tal modo il loro moto non avrebbe altro effetto che quello di riempire lo spazio E e di determinarne un altro di uguale ampiezza che si formerebbe nella circonferenza $ABCD$ e che, nel contempo, diverrebbe vuoto. È chiaro però che questo stesso effetto può

¹⁰ *Le Monde*, cap. 13, A. T., XI, p. 89.

prodursi assai più facilmente se quelle (parti) che si trovano tra le linee AF , DG procedono in linea retta verso E ¹¹.

Lo studio della luce rispetto al movimento e alla disposizione dei corpi celesti è completato dalla presentazione dei pianeti e degli effetti indotti sulla visione da parte degli innumerevoli raggi delle stelle fisse¹². Una volta assunti *a priori* l'identità dell'estensione e della sostanza corporea, nonché il movimento come unico criterio valevole per la descrizione dei corpi e delle loro diverse configurazioni, la ragione conferma la possibilità di applicare il modello fisico corpuscolare alla divisione degli elementi o all'analisi della luce introducendo tutte quelle variabili (rapporto volume-spazio occupato dai corpi, diversa resistenza dei mezzi) che compongono la complessità del fenomeno.

Il *Traité de la Lumière* conclude quindi la teoria della luce facendo ricorso, a partire dal capitolo quattordicesimo, a diverse analogie tratte dall'esperienza. Una volta presentata la meccanica del fenomeno rispetto alla configurazione più generale dei pianeti, Descartes approfondisce lo studio delle sue proprietà. La prima è stabilita dalla legge della propagazione in linea retta del moto. La dimostrazione rimanda all'analogia con un bastone deformato (fig. 3) ed orientato da A verso E . Il bastone si dirige in linea retta verso E allo stesso modo in cui la palla n. 1, inserita in una bottiglia (fig. 4), procede verso la n. 7, pur non essendo tutte quelle che la circondano posizionate in linea retta¹³.

¹¹ *Le Monde*, cap. 13, A. T., XI, pp. 88-89.

¹² *Le Monde*, cap. 13, A. T., XI, pp. 104-109.

¹³ *Le Monde*, cap. 14, A. T., XI, p. 100.

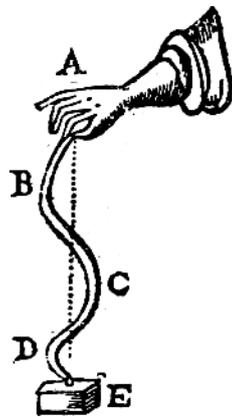


Figura 3



Figura 4

I raggi luminosi possono inoltre convergere o divergere rispetto a un singolo punto: Descartes offre nel *Traité de la Lumière* l'immagine di cinque mani che tirano diverse corde, ognuna delle quali associata ad una resistenza:

Le diverse forze grazie alle quali son tese le corde 1, 2, 3, 4, 5 si riuniscono tutte nella puleggia e la resistenza di tale puleggia si estende a tutte le diverse mani che tirano queste corde.

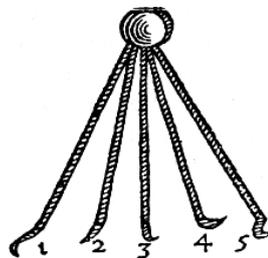


Figura 5

Alcuni raggi, provenienti da punti diversi, interferiscono, a differenza di altri, l'uno con l'altro. La spiegazione è affidata questa volta ad un sistema di tubi interconnessi (fig. 6) all'interno dei quali se dell'aria viene trasmessa da *F* a *G*, da *H* ad *I* e da *K* ad *L* simultaneamente, le correnti non interferiranno l'una con l'altra. Qualora però sia immessa dell'aria in uno dei tubi, poniamo in *F*, non

vi sarà più alcun flusso da *K* ad *L* o da *H* ad *I*. Analogamente, un forte raggio di luce blocca uno più debole¹⁴:

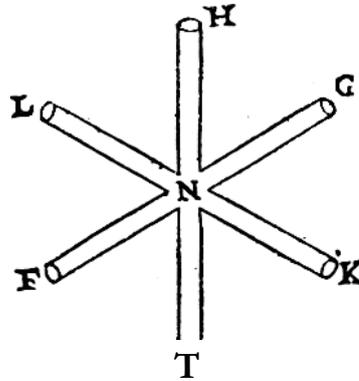


Figura 6

Riflessione e rifrazione della luce, per le quali gli angoli di incidenza e gli angoli di rifrazione sono euguali, rimandano alla duplice scomposizione fra il movimento effettivo del corpuscolo e la *détermination à se mouvoir*, analizzata nella *Dioptrique* per mezzo delle traiettorie geometriche della palla colpita da una racchetta da tennis¹⁵.

La forza della luce può infine crescere o diminuire. In quest'ultima comparazione offerta dal *Traité de la Lumière*, una palla mossa dal vento può accrescere la sua intensità, o viceversa perderla, a seconda che viaggi nella sua stessa direzione o in direzione contraria:

L'azione o inclinazione a muoversi, che è trasmessa da un luogo verso un altro per mezzo di parecchi corpi in contatto tra loro e che si trovano senza soluzione di continuità in tutto lo spazio che sta tra i due, segue esattamente la stessa via attraverso la quale questa stessa azione potrebbe far muovere il primo di questi corpi se gli altri non si trovassero sulla sua strada [...]. Così anche i raggi della Luce, quando incontrano un corpo che impedisce loro di passar oltre, sono costretti a riflettersi¹⁶.

¹⁴ *Le Monde*, cap. 14, A. T., XI, p. 102.

¹⁵ *Dioptrique*, I, II A. T., VI, pp. 91-103.

¹⁶ *Le Monde*, cap. 14, A. T., XI, p. 103.

Il progetto cartesiano di ricostruire l'ordine effettivo nel quale è disposta «la situation de chaque étoile fixe»¹⁷ si traduce, così, negli ultimi capitoli *Traité de la Lumière* in uno studio particolare della luce. Il capitolo quindicesimo, rimasto inconcluso, completa la spiegazione delle stelle fisse e delle comete¹⁸. Se la finzione cosmologica della *fable* aveva consentito la presentazione di una nuova cosmologia, alla fine del *Traité de la Lumière* emerge netta la distinzione fra una fisica generale del *Monde* e lo studio del suo fenomeno più importante, la *lumière*. L'ambizione cartesiana di elaborare una «Physique toute entière» a partire dalle leggi naturali che Dio ha liberamente posto nell'universo si riduce ad uno studio specifico, quello della luce, pur centrale nell'articolazione del sistema. La *Dioptrique* del 1637 approfondirà l'analisi della luce spiegandone per via analogica la geometria del moto. Dopo aver acquisito nel *Traité de la Lumière* una solida teoria della materia, fondata sui principi primi della materia e sulle leggi del moto, Descartes formula infatti all'interno degli *Essais* un metodo ipotetico-deduttivo che si avvale di un nuovo uso dell'analogia.

¹⁷ Descartes a Mersenne, 10 maggio 1632, A. T., I, p. 250.

¹⁸ *Le Monde*, cap. 15, A. T., XI, pp. 108-110.

II) *A priori / a posteriori*. La spiegazione in fisica

Le questioni scientifiche a cui Descartes consegna la corrispondenza degli anni '30 rivelano l'elaborazione progressiva di un metodo – «ma Méthode naturelle» come dirà Descartes a Villebressieu¹ – che, dagli esercizi particolari di una *Mathesis* dell'ordine e della misura, estende la sintassi della scienza ad un vasto repertorio di ricerche: dal problema della caduta dei corpi², allo studio delle comete, di cui Descartes difende la regolarità del moto a partire dalla *clé* fondamentale di una fisica generale³; dalle osservazioni ottiche sulle corone delle candele «digne – scrive Descartes a Mersenne – d'être citée dans mes *Météores*»⁴, all'assunzione del movimento della Terra come effetto delle dimostrazioni «très certaines et très évidentes» che una catena di conoscenze, «dépendantes les unes des autres»⁵, offre alla teoria cosmologica del *Traité de la Lumière*; dallo scambio con Huygens orientato alla costituzione di una filosofia pratica, «à l'usage du monde»⁶, e di una politica della scienza, alla riflessione sulla fondazione metafisica della filosofia, unica via, come afferma Descartes a Mersenne nella lettera del 6 maggio 1630, per trovare «les fondements de la Physique»⁷. Eppure, considerando gli esiti dell'elaborazione metodica che porta al *Discours*, un dato è incontestabile: dopo il 1633, l'evoluzione del lavoro scientifico di Descartes prende forma dalla sospensione della metafisica e dalla sua separazione rispetto agli *Essais* scientifici.

Solo i *Principia* (1644) riunificheranno ciò che la condanna di Galileo, negando il movimento della terra, aveva diviso: le radici della

¹ Descartes a Villebressieu, estate, 1631, A. T. I, p. 251.

² Descartes a Mersenne, 17 maggio, 1638, A. T., II, p. 266.

³ Descartes a Mersenne, 10 maggio, 1632, A. T., I, pp. 250-252.

⁴ Descartes a Mersenne, 25 febbraio, 1630, A. T., I, p. 123. Si veda anche 4 marzo, 1630, A. T., I, p. 126; 19 maggio, 1635, A. T., I, pp. 318-320.

⁵ Descartes a Mersenne, aprile, 1644, A. T., I, p. 285.

⁶ Huygens a Descartes, 28 ottobre, 1635, A. T., I, p. 326.

⁷ Descartes a Mersenne, 15 aprile, 1630, A. T., I, p. 144.

metafisica, il tronco della fisica, i rami delle scienze⁸. La terza parte del *Discours* elide il problema dei fondamenti ricorrendo alle ragioni di una *morale par provision* che prescrive di sottomettere ogni azione (e la pubblicazione del *Traité de la Lumière* sarebbe stata un'azione indubbiamente eclatante) all'autorità religiosa e alle leggi del proprio paese⁹. Dall'altro, gli *Essais* del 1637, *échantillons* del nuovo metodo, hanno il compito di provare il valore complessivo della nuova fisica, benché in una forma sufficientemente frammentaria da permettere all'autore di lasciare in ombra i fondamenti. Problema inverso alle *Meditationes* del 1641, che approfondiscono le riflessioni metafisiche del 1629, senza svilupparne però le conseguenze in una fisica concreta: «car je vous dirai – dichiarerai Descartes a Mersenne – que ce peu de métaphysique que je vous envoie contient tous les principes de ma physique»¹⁰.

L'applicazione del metodo al mondo naturale dipende dalla riduzione dei fenomeni alle cause semplici che le *Regulæ XII e XIV* avevano riportato a grandezza, figura e movimento, concetti geometrici essenziali «a far sì che la varie parti di questo caos si

⁸ L'argomento dei *Principia* corrisponderà molto da vicino a quello della quarta parte del *Discours*. Dalla garanzia metafisica dei principi della conoscenza umana nella parte prima si passa a quelli del mondo materiale nella seconda per offrire, infine, nella terza e nella quarta, la presentazione di una cosmologia, di una teoria della materia ed una fisica generale. Eppure – e su questo punto concordiamo con D. Garber – neanche i *Principia* risolvono lo scarto tra la fondazione metafisica della fisica e la discesa nell'attuale costituzione dell'universo. Quest'ultima è deducibile, fin dalla parte III, solo per via ipotetica: «quand on examine le système de la maturité de Descartes on est frappé par le projet que l'on retrouve esquissé dans les 4^e et 5^e parties du *Discours*, projet développé dans les *Méditations* et les *Principes*. A l'encontre de Galilée, Descartes ne part pas d'une question isolée; il commence par le début, avec les premiers principes qui nous sont intuitivement accessibles et qui fondent le reste [...]. Descartes n'est pas un *pique-problème*, il est un *fonde-système*. Mais en tant que tel, quel rôle est-il à attribuer à une méthode pour la solution des problèmes particuliers?», *Descartes et la Méthode en 1637*, in *Le Discours et sa Méthode*, N. Grimaldi, J. L. Marion, (ed.), Presses Universitaires de France, Paris, 1987, p. 83.

⁹ *Discours*, III, A. T., VI, p. 23.

¹⁰ Descartes a Mersenne, 28 gennaio, 1641, A. T., III, p. 297. «Mais il ne faut pas le dire, s'il vous plaît, car ceux qui favorisent Aristote feraient peut-être plus de difficulté de les approuver; et j'espère que ceux qui les liront, s'accoutumeront insensiblement à mes principes, et en reconnaîtront la vérité avant que de s'apercevoir qu'ils détruisent ceux d'Aristote». *Ibid.*, p. 298.

sbroglino da sole e si dispongano in così buon ordine da acquisire la forma di un Mondo perfettissimo e nel quale si potranno vedere non solo luce, ma anche tutte le altre cose, generali e particolari, che si vedono in questo vero mondo»¹¹.

In particolare, l'idea di movimento, come semplice traslazione dei corpi permette la determinazione di una configurazione materiale nuova e sottratta alle sterili dispute dei Filosofi: «supposi infatti, a bella posta, che in essa non vi fosse nessuna di quelle Forme o Qualità sulle quali si disputa nelle Scuole, né in genere cosa alcuna la cui conoscenza non fosse per le nostre anime tanto naturale da non poter neppure fingere di ignorarla. Mostrai inoltre quali erano le Leggi della Natura; e fondando i miei argomenti esclusivamente sulle perfezioni infinite di Dio, e su nessun altro principio, cercai di dimostrare tutte quelle su cui si potesse nutrire qualche dubbio»¹².

La scienza mette al servizio i criteri di semplicità¹³, chiarezza¹⁴ e coerenza¹⁵ per una spiegazione dei fenomeni talmente evidente che non rimanga più nessun motivo di stupore «né per le cose che son sopra di noi che per quelle che si trovano alla nostra altezza o sotto di

¹¹ *Le Monde*, cap. 6, A. T., XI, pp. 34-35.

¹² *Discours*, V, A. T., VI, pp. 42-43.

¹³ *Discours*, VI, A. T., VI, pp. 64, 71; Descartes a Morin, 13 luglio, 1638, A. T., II, p. 200; *Principes*, III, 47, A. T., IX, pp. 101-102: «ce peu de suppositions me semble suffire pour m'en servir comme de causes ou de principes, dont je déduirai tous les effets qui paraissent en la nature [...]. Et je ne crois pas qu'on puisse imaginer des principes plus simples» Si vedano anche *Principes*, IV, 1, A. T., IX, p. 203: «je suis obligé de retenir encore ici la même hypothèse pour expliquer ce qui est sur la Terre».

¹⁴ *Principes*, III, 45, A. T., IX, p. 100: «quelques principes qui soient fort intelligibles et fort simples, desquels nous fassions voir clairement que les Astres et la Terre, et enfin tout ce monde visible aurait pu être produit ainsi que de quelques semences».

¹⁵ *Discours*, VI, A. T., VI, p. 76; Descartes a Vatier, 22 febbraio, 1638, A. T., I, p. 562, 564: «toutes mes opinions sont si jointes ensemble, et dépendent si fort les unes des autres, qu'on ne s'en saurait approprier aucune sans les savoir toutes [...]. Et la liaison de mes pensées est telle, que j'ose espérer qu'on trouvera mes principes aussi bien prouvés par les conséquences que j'en tire». Vedi anche Descartes a Mesland, maggio, 1645, A. T., IV, p. 216: «je souhaiterais que vous eussiez assez de loisir pour examiner plus particulièrement mes Principes. J'ose croire que vous y trouveriez au moins de la liaison et de la suite».

noi»¹⁶. In questo modo funziona l'analogia matematica: riportare l'ignoto al noto, il naturale all'artificiale secondo un principio di corrispondenza fra cause ed effetti («tous les corps sont faits d'une même matière»)¹⁷.

L'uso della *comparatio*, che aveva retto la proporzionalità fra grandezze nelle *Regulæ*, non basta tuttavia alla fondazione di una fisica completa. Il *Discours* ne è la dimostrazione, segnato com'è dall'idea di una continuità necessaria fra lo studio delle cose celesti, terrestri e viventi¹⁸, che il *Traité de la Lumière* voleva ricomporre assieme ad una fisica della luce¹⁹.

L'estensione, esposta nelle *Regulæ* come risultato dell'immaginazione²⁰, diverrà nei *Principia*, sulla base della veridicità divina, l'armatura geometrica dell'intera fisica. Essendo la natura della materia riducibile all'idea che ne abbiamo nell'intelletto²¹ è possibile affermare della fisica tutto ciò che in geometria si deduce *a priori* dall'idea di estensione²², nella fattispecie i criteri di omogeneità²³, divisibilità all'infinito²⁴ e indefinitezza²⁵. Di qui

¹⁶ *Météores*, I, A. T., VI, p. 231. *Ibid.*, X, p. 366. Spiegando, nei *Principia*, la distanza dei pianeti attorno al sole, il tempo delle loro rivoluzioni, le irregolarità dei loro movimenti, Descartes riconduce ogni modificazione ad un'unica causa semplice, la materia, e alle sue parti più o meno solide, sottili o liquide: *Principes*, III, 93-94, A. T., IX, pp. 147-148; 101-107, pp. 151-155; 109, p. 157.

¹⁷ *Le Monde*, cap. 4, A. T., XI, p. 17; *Météores*, I, A. T., VI, p. 239; Descartes a Mersenne, 28 ottobre, 1640, A. T., III, pp. 211-212.

¹⁸ *Discours*, V, A. T., VI, pp. 41-44.

¹⁹ Si vedano le parole del *Discours* [V, A. T., VI, p. 45], per cui la luce è centrale sia nell'astronomia «qui procède presque toute», sia nell'esame dei corpi terrestri «colorés, ou transparents, ou lumineux» ed infine nello studio de «l'homme, à cause qu'il en est le spectateur».

²⁰ *Regulæ XIV*, A. T., X, p. 442. «Quia vero nihil deinceps sine imaginationis auxilio sumus acturi». *Ibid.*, p. 443.

²¹ *Principes*, II, 4, 9, 10, A. T., IX, pp. 42, 45-46, e Descartes a Mersenne, 9 gennaio, 1639, A. T., II, p. 482: «L'idée que nous avons du corps, ou de la matière en général, est comprise en celle que nous avons de l'espace». Si veda inoltre: *Discours*, VI, A. T., VI, p. 64; *Principes*, I, 24 e II, 10, A. T., IX, pp. 14, 45.

²² *Ibid.*, II, 64, pp. 78-79.

²³ *Le Monde*, cap. 4, A. T., t. 11, p. 17; *Météores*, I, A. T., VI, p. 239; Descartes a Mersenne, 28 ottobre 1640, A. T., t. 3, pp. 211-212; *Principes*, II, 22, A. T., IX, p. 54 e III, 46, pp. 100-101.

²⁴ *Principes*, II, 34-35, A. T., VIII, p. 60.

²⁵ *Ibid.*, II, 21, p. 57.

l'impossibilità degli atomi²⁶ e del vuoto²⁷, che il capitolo quarto del *Traité de la Lumière* aveva indagato *a posteriori*, ovvero utilizzando analogie e comparazioni tratte dall'esperienza²⁸.

Posta la natura di Dio come causa prima del moto²⁹ dei corpi e della sua conservazione in linea retta³⁰ finché un impatto esterno non lo costringa a mutare³¹, la struttura prima della materia e delle sue leggi³² sono fondate da Descartes senza ricorso alcuno a dinamismi interni, cause finali o entelechie di stampo aristotelico: «cosicché, se Dio le conserva [le parti di materia] poi nello stesso modo in cui le ha create, non le conserva nello stesso stato: vale a dire che Dio, agendo sempre nella stessa maniera e, conseguentemente, producendo sempre in sostanza lo stesso effetto; in tale effetto, come per accidente, si trovano parecchie diversità»³³.

Il principio atomistico dell'aggregazione casuale è scartato, e con esso quegli «spazi immaginari» e infiniti, come affermano i Filosofi, che «devono essere creduti veri – sottolinea sarcastico Descartes – ché son essi stessi che li hanno costituiti»³⁴. Partendo dal movimento locale fra le parti di materia³⁵, Descartes può introdurre le

²⁶ *Météores*, I, A. T., VI, pp. 238-239; Descartes a Mersenne, 28 ottobre, 1640, A. T., III, pp. 213-214; Descartes a Gibieuf, 19 gennaio, 1632, A. T., t. 3, p. 477; *Principes*, II, 20, A. T., IX, p. 51.

²⁷ Descartes a Plempius per Fromondus, 3 ottobre 1637, A. T., I, p. 417; Descartes a Mersenne, 9 gennaio, 1639, A. T., II p. 482; *Principes*, II, 16-18, A. T., IX, pp. 49-50.

²⁸ *Le Monde*, cap. 4, 5 A. T., XI; si veda anche Descartes a Mersenne, 25 febbraio, 1630, A. T., I, p. 119; 15 aprile, 1630, A. T., I, p. 140; Descartes a Mersenne, marzo, 1636, A. T., I, p. 341; *Dioptrique*, I, A. T., VI, p. 87; Descartes a Mersenne, 9 gennaio, 1639, A. T., II, pp. 483-585.

²⁹ «Dieu seul est l'auteur de tous les mouvements qui sont au monde». *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 46.

³⁰ *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 37 e Descartes a Huygens, 9 marzo, 1638, A. T., II, p. 50.

³¹ *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 44; Descartes a Debeaune, 30 aprile, 1639, A. T., II, p. 543; Descartes a Silhon, marzo-aprile, 1648, A. T., V, pp. 135-136.

³² O questo è almeno ciò che dichiara a Vatier e Mersenne, rispettivamente nel febbraio 1638 e, successivamente, nel novembre 1640: Descartes a Vatier, 22 febbraio, 1638, A. T., I, p. 563; «ce peu de métaphysique que je vous envoie contient tous les principes de ma physique». Descartes a Mersenne, 11 novembre, 1640, A. T., III, p. 233.

³³ *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 37.

³⁴ *Le Monde*, cap. 6, A. T., XI, p. 32.

³⁵ *Le Monde*, cap. 2, A. T., XI, p. 7.

ipotesi cosmologiche del *Traité de la Lumière* o le *suppositions* del primo capitolo delle *Météores* senza alcun bisogno di dedurle «dai principi generali della natura»³⁶. Ma se al di là della fallibilità delle esperienze e dei limiti della scienza³⁷, la decifrazione del mondo in termini di grandezza, figura e movimento³⁸ non si traduce, nel *Traité de la Lumière*, in una semplice collezione di elementi empirici comparabili fra loro, questo avviene in virtù di una duplice fondazione: epistemologica, che rimanda alla natura più semplice dell'estensione, chiara e distinta, che riduceva già nelle *Regulæ* grandezze diverse ad una comune classe d'appartenenza; metafisica, che accompagna analisi e comparazioni³⁹ alla giustificazione *a priori* di un Dio creatore del mondo. Tale fondazione non nega l'esperienza, ma la subordina allo statuto *a priori* dei concetti di estensione, figura e movimento⁴⁰.

³⁶ *Le Météores*, I, A. T., VI, p. 233.

³⁷ *Discours*, VI, A. T., VI, p. 63; Descartes a Mersenne, 20 ottobre, 1642, A.T., t. 3, p. 590; 2 febbraio, 1643, A.T., t. 3, p. 612; Descartes a Chanut, 15, giugno 1646, A. T., IV, p. 442.

³⁸ Descartes dichiara di aver impiegato «beaucoup de temps [...] en faisant amas de plusieurs expériences, pour être après la matière de raisonnements». *Discours*, II, A. T., VI, p. 22. Sul ricorso all'esperienza si veda, fra gli altri, la corrispondenza con Golius e Renieri: Descartes a Golius, 19, maggio, 1635, A. T., I, pp. 318-320; Descartes a Renieri per Pollot, aprile-maggio, 1638, A. T., II, p. 45.

³⁹ Sul ricorso all'esperienza per la conferma d'una ipotesi cfr. *Discours*, VI, A. T., VI, p. 65; *Le Monde*, cap. 4, A. T., XI, pp. 16, 20; Descartes a Plempius, 23 marzo, 1638, A. T., II, p. 66; Descartes a Mersenne, dicembre, 1640, A. T., III, pp. 256-257.

⁴⁰ *Discours*, V, A. T., VI, p. 41. Si vedano anche lettere a Mersenne del 15 aprile, 1630, A. T., I, p. 145 e del 6 e 27 maggio 1630, A. T., I, pp. 149-150, 151-154. L'idea di Dio interviene dunque surrettiziamente, come suggerisce F. Duchesneau, a garanzia delle strutture pure della conoscenza e dei modelli ipotetici da esse deducibili. *More Geometrico. Pattern in Hypotheses*, in *Nature Mathematized*, vol. 1, W. R. Shea (ed.), D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Boston, 1983, p. 212: «this moral certainty of corroborated hypotheses can be further ensured by reference to God's veracity, since this metaphysical principle warrants applying the evidente criterion in demonstrations, and hypothetico-deductive inferences as well. Knowledge of the existence of material entities and also, all arguments establishing the system of nature are amenable to evidente by means of deductive consistency and/or direction from the "lumière naturelle" (according to the dispositions in our nature)». Analogamente, secondo W. Röd, la funzione della metafisica in Descartes, precorrendo i futuri sviluppi della dottrina kantiana, ha per scopo la determinazione delle condizioni di possibilità delle proposizioni scientifiche: «alors la métaphysique ainsi entendue ne peut délivrer de propositions qui concernent des objets et des rapports entre des objets, c'est-à-dire

Le ricerche degli anni '30 allargano così la *Mathesis Universalis* delle *Regulæ* ad un'epistemologia della comparazione fra grandezze confermata dall'esperienza, ma presupposta dall'idea di estensione come condizione necessaria per la pensabilità della fisica. Due modificazioni essenziali investono altresì il progetto scientifico cartesiano agli inizi degli anni '30: il passaggio da una *Mathesis* dell'ordine all'idea della fondazione di una fisica generale; la sua riduzione, negli *Essais* del '37, allo studio particolare del fenomeno della luce, ritagliato in due sezioni autonome: la *Dioptrique* e le *Météores*.

ne peut servir à la déduction de propositions scientifiques [...]. Si l'on admet que la méthode de la métaphysique cartésienne est fondamentalement celle de l'explication, en analogie avec les explications scientifiques, alors on peut dire que la façon de voir qui depuis Kant s'appelle «transcendantale» est déjà adoptée par Descartes». *L'explication entre Méthode et Métaphysique*, traduction de J. Benoist, in *Le Discours et sa Méthode*, cit., p. 106.

III) Dimostrazione e prova nel *Discours*

La parte principale dell'operosità umana consiste soltanto nel ridurre tali proporzioni a tal punto che appaia chiaramente l'uguaglianza tra la cosa cercata e quella che si conosce. Si deve poi osservare che non si può ridurre a questa uguaglianza se non ciò che accoglie il più e il meno e che tutto ciò è compreso con la parola grandezza: sicché, dopo che secondo la *Regola* precedente sono stati astratti i termini della difficoltà da ogni oggetto, intendiamo qui che ormai non dobbiamo occuparci che delle grandezze in generale¹.

Il passaggio dalle esperienze scientifiche degli anni '30 al *Discours* rappresenta una svolta nella carriera filosofica di Descartes: sarà Huygens a vincere le incertezze di Descartes trovando in Le Marie di Leida, dopo aver contattato i celebri Elzevier di Amsterdam², l'editore del *Projet d'une science universelle*³, divenuto infine *Discours de la Méthode*, la *Dioptrique*, *Les Météores* et la *Géométrie*⁴. La pubblicazione del *Discours* ricapitola le esperienze scientifiche del giovane Descartes contraendone i risultati in pochi precetti chiari ed elucidandone il senso in un quadro storico e autobiografico: la vita ritirata del filosofo, le questioni di scienza, di cui la corrispondenza degli anni '20 e '30 rappresenta il laboratorio, la ricerca della verità attraverso l'applicazione di un ordine certo, offerto pubblicamente al dibattito scientifico. Il *Discours* costituisce il manifesto dei risultati scientifici ottenuti consacrando Descartes ad un nuovo rapporto con la

¹ *Regulae XIV*, A. T., X, p. 440.

² Sul percorso che porta alla pubblicazione del *Discours* si vedano le lettere di Huygens a Descartes 28 ottobre 1635, Descartes a Huygens, 1 novembre 1635, A. T., I, pp. 325, 329; Descartes a Mersenne, marzo, 1636, A. T., I, pp. 339-340; Huygens a Descartes 5 gennaio, 1637, A. T., I, p. 617; Huygens a Descartes, 28 ottobre, 1635, A. T., I, pp. 588-589; Descartes a Huygens, 3 marzo, 1637, A. T., I, pp. 623-624.

³ Descartes a Mersenne, marzo, 1636, A. T., I, 339-340.

⁴ Descartes a Huygens, 27 febbraio, 1637, A. T., I, pp. 620-621.

collettività ed offrendosi a un pubblico vario, vicino alle accademie e alle università. In altre parole, il *Discours* rappresenta l'*échantillon* di una filosofia del tutto nuova, ancora incerta sul ruolo e sull'ampiezza del suo destino, pericolosamente rivale della tradizione. Le esperienze e le interrogazioni che avevano sostenuto la carriera del giovane Descartes sono saldate nel *Discours* in lunghe «chaines de raisons» secondo una prosa che rileva la consapevolezza, da parte del filosofo, del proprio metodo e del suo confronto con la comunità scientifica: un confronto reso esplicito dalla sesta parte del *Discours*⁵.

Discours ed *Essais* sono infatti nelle intenzioni di Descartes l'espressione di un metodo unitario nelle sue istanze di ordine, ma vario nelle sue forme, di cui la trattazione sull'arcobaleno rappresenta in fisica l'esempio più significativo⁶. Tale unità fra discipline diverse era già contenuta nell'idea di *Mathesis Universalis* come scienza universale dell'ordine esposta nelle *Regulæ*, là dove Descartes aveva portato a compimento la riforma dell'algebra e della geometria⁷ affermando l'esigenza di un superamento della geometria tradizionale,

⁵ *Discours* I, A. T., t. 6, p. 4 ; VI, A. T., VI, p. 75 : «je supplie tous ceux qui auront quelques objections à y faire, de prendre la peine de les envoyer à mon libraire, par lequel en étant averti, je tâcherai d'y joindre ma réponse en même temps». Si veda anche Descartes a Mersenne, giugno, 1637, A. T., t. 1, p. 378; Descartes a Mersenne, giugno, 1637, A. T., t. 1, p. 390; Descartes a Mersenne, ottobre, 1637, A. T., t. 1, p. 453sq.; Descartes a Roberval e Pascal, 1 marzo, 1638, A. T., t. 2, p. 12sq. ; Descartes a Mersenne, 27 maggio, 1638, A. T., t. 2, p. 147. Cfr. anche Descartes a Mersenne, 27 luglio, 1638, A. T., t. 2, p. 267. Descartes attenderà, inutilmente, anche le reazioni al *Discours* da parte dei Gesuiti, i quali risponderanno, infine, di non voler inviare nessun commento fintantoché i principi primi della filosofia cartesiana non siano pubblicati: Descartes a Mersenne, 15 novembre, 1638, A. T., t. 2, p. 424.

⁶ Tale giudizio sull'aspetto ad un tempo operativo e sistematico del metodo viene espresso nella celebre lettera a Vatier del 1638, dove l'analisi del fenomeno dell'arcobaleno entra al centro di un progetto di ricomposizione metodologica più ampia: «j'en ai toutefois montré quelque échantillon en décrivant l'arc-en-ciel, et si vous prenez la peine de le relire, j'espère qu'il vous contentera plus, qu'il n'aura pu faire la première fois; car la matière est de soi assez difficile. Or ce qui m'a fait joindre ces trois traités au discours qui les précède, est que je me suis persuadé i qu'ils pourraient suffire, pour faire que ceux qui les auront soigneusement examinés, et conférés avec ce qui a été cidevant écrit des mêmes matières, jugent que je me sers de quelque autre méthode que le commun, et quelle n'est peut-être pas des plus mauvaises». Descartes a Vatier, 22 febbraio, 1638, A. T., I, pp. 559-560.

⁷ *Regulæ IV*, A. T., X, p. 373.

«talmente vincolata alla considerazione delle figure da non poter esercitare l'intelletto senza affaticare molto l'immaginazione»⁸. Il *Discours*, oltre a riprendere dalle *Regulæ* il tema dell'efficacia della *bona mens* in tutti i campi del sapere, traduce l'idea degli anni '20 di una comparazione generale fra tutte le grandezze in una nuova catena di ragioni che fa da modello all'unità della scienza servendosi dei precetti dell'analisi, dell'evidenza, della sintesi e dell'enumerazione.

L'uso della *comparaison*⁹ tra fenomeni diversi, che dipendono dalla medesima idea chiara e distinta di estensione, costituisce lo strumento euristico dei due *Essais* principali del metodo: la *Dioptrique* e le *Météores*. Il precetto delle *Regulæ* di ridurre ogni grandezza all'«unità o natura comune che [...] deve esser condivisa in modo uguale da tutte le cose che si paragonano tra loro»¹⁰ aveva ridefinito, alla fine degli '20, gli oggetti dell'inchiesta metodica (luce, colore, suono) all'interno di un principio di omogeneità generale fra quantità fisiche¹¹, comandato dalle nozioni della *dimensio*, della *ratio* e della *mensura*¹². Il movimento è a sua volta la natura comune¹³ che misura la velocità di un corpo¹⁴. La comparazione era stata quindi

⁸ *Discours*, II, A. T., VI, pp. 17-18.

⁹ Si veda, ad esempio, l'uso del paragone (*comparaison*), nella spiegazione della luce nella *Dioptrique*, I, A. T., VI, p. 83. Cfr. A. G. Gargani, *Funzione dell'immaginazione e modelli della spiegazione scientifica in Harvey e Cartesio*, in *Rivista critica di Filosofia*, 1970, pp. 250-274.

¹⁰ *Regulæ XIV*, A. T., X, p. 447.

¹¹ Il criterio d'omogeneità fra grandezze viene presentato nel Libro V degli *Elementa* di Euclide come una caratteristica fondamentale dei rapporti fra grandezze: cfr. *Euclidis Elementa*, in *Opera Omnia*, ed. I. L. Heiberg und H. Menge, Lipsiæ, in ædibus B. P. Teubneri, 1885, IV, Lib. V, Def. III, p. 2. La traduzione latina della terza definizione del Libro V riportata in Teubner è la seguente: «Ratio est duarum ejusdem generis magnitudinum secundum quantitatem quælibet habitudo». *Euclidis Elementa*, p. 3.

¹² «Per dimensionem, nihil aliud intelligimus, quam modum et rationem, secundum quam aliquod subiectum consideratur esse mensurabile». *Regulæ XIV*, A. T., X, p. 447.

¹³ *Regulæ XIV*, A. T., X, p. 439.

¹⁴ «Non solum longitudo, latitudo et profunditas [sunt] dimensiones corporis, sed etiam gravitas [est] dimensio, secundum quam subjecta ponderantur, celeritas [est] dimensio motus, et alia ejusmodi infinita». *Regulæ XIV*, A. T., X, p. 447. «Ex quibus patet, infinitas esse posse in eodem subjecto dimensiones diversas, illasque nihil prorsus superaddere rebus dimensis, sed eodem modo intelligi, sive habeant fundamentum reale in ipsis subjectis, sive ex arbitrio mentis nostræ fuerint excogitata». *Regulæ XIV*, A. T., X, p. 448. Descartes ritorna più volte sul

indicata dalla *Regula VIII* come modello della conoscenza di grandezze uniformi per la ragione, messe in rapporto attraverso l'analogia (*per imitationem*)¹⁵.

Nel passaggio dai fenomeni particolari ad una fisica generale, lo strumento della comparazione, legittimato nelle *Regulae* da una teoria dell'ordine ed applicato nel metodo alle modalità di scoperta e di presentazione dei risultati scientifici, rimanda tuttavia ad un incremento di conoscenza che solo i principi possono conferire. La complessità dell'*ordo nature* rischia infatti di complicare la relazione fra cause ed effetti, assoluto/relativo, uguale/ineguale, che le *Regulae* avevano affidato al procedere matematico sostituendo l'analogia aristotelica¹⁶ con una gnoseologia fra termini assoluti e relativi¹⁷. La relazione cartesiana fra cause ed effetti, laddove sia troppo complicata, rischia di introdurre una discontinuità nella catena dimostrativa e di infrangere la deduzione quando si passa da questioni «perfettamente determinate» a fenomeni più complessi.

Tale problema è al centro della sesta parte del *Discours* dove Descartes tenta di ricomporre le due vie complementari, ma non identiche, della dimostrazione: sintetica nel senso della discesa dalle cause agli effetti / analitico-induttiva nel senso del collegamento fra

concetto di dimensione come unità di misura delle grandezze. Un riferimento esplicito si trova nella lettera a Mersenne del 12 settembre 1638 dove, spiegando la distinzione tra la forza impiegata nello spostamento di un corpo (ciò che oggi viene designato col concetto di *lavoro*), e quella necessaria a sostenerlo, Descartes afferma la duplice dimensione della prima: «Il faut sur tout considerer que j'ay parlé de la force qui sert pour lever un poids a quelque hauteur, laquelle force a tousjours deux dimensions, et non de celle qui sert en chaque point pour le soutenir, laquelle n'a jamais qu'une dimension, en sorte que ces deux forces different autant l'une de l'autre qu'une superficie d'une ligne». Descartes a Mersenne, 12 settembre 1638, A. T., II, pp. 352-353.

¹⁵ *Regulae VIII*, A. T., X, p. 395.

¹⁶ Aristotele, *An. Pr.*, II, 23, 68b 32-37; *An. Post.*, I, 2, 71b 33-72a 5. Sulla distinzione gnoseologica ed ontologica aristotelica fra ordine dell'Essere / ordine del pensiero e il rimando al dibattito scientifico post-rinascimentale si vedano, fra gli altri, A. Wallace, *Causality and Scientific Explanations*, 2 vols., vol. I, Ann Arbor, The University of Michigan Press, 1972-1974, pp. 117-159; M. W. F. Stone, *Aristotelianism and Scholasticism in Early Modern Philosophy*, in *A Companion to Early Modern Philosophy*, S. Nadler (ed.), Blackwell, Malden, 1988, pp. 7-24.

¹⁷ *Regulae VI*, A. T., X, pp. 381-386.

l'effetto già noto e il principio da provare. Il problema presentato dalla sesta parte del *Discours* è quello del rapporto tra i principi generali della natura – in particolare la definizione del corpo in termini di estensione¹⁸, ma anche la divisibilità della materia, la circolarità del moto dei corpi nel pieno, la somma costante della quantità di moto nell'universo –, e fenomeni più specifici.

Il *Discours* parte dai principi primi, garantiti da un Dio trascendente e creatore:

Questo è stato l'ordine che in proposito ho seguito: in primo luogo ho cercato di trovare in generale i Principi o Prime Cause di tutto ciò che è o può essere nel mondo senza considerare a questo fine niente altro se non Dio che l'ha creato, né traendoli da altra fonte che da certi germi di Verità che riposano naturalmente nelle nostre anime¹⁹.

Viene poi ricostruita la catena delle inferenze che determinano l'intera impalcatura del cosmo: i cieli, le stelle, il sole, la terra, e sulla terra, l'acqua, l'aria, il fuoco, i minerali e tutta la pluralità di effetti che si organizza e si complica mediante le leggi «che Dio ha stabilito nella natura, e di cui ha impresso nella nostra anima nozioni chiare»²⁰:

In secondo luogo ho esaminato quali erano i primi e più comuni effetti deducibili da queste cause e mi pare di aver trovato per questa via Cieli, Astri, una Terra e su di essa Acqua, Aria, Fuoco, Minerali e alcune altre cose tra le più comuni e più semplici di tutte e, quindi, tra le più facili a conoscere²¹.

Senonché la ricostruzione del mondo, operata deduttivamente dalle cause agli effetti secondo principi metafisici e fisici (Dio, la materia, le leggi naturali), ci consegna soltanto la conoscenza dei

¹⁸ *Regulae*, XIV, A. T., X, pp. 446, 452; *Le Monde*, A. T., XI, pp. 33-34. Vedi anche *Principia* II, 4 e 64, A. T., VIII.

¹⁹ *Discours*, VI, A. T., VI, p. 64.

²⁰ *Discours*, V, A. T., VI, p. 41.

²¹ *Discours*, VI, A. T., VI, p. 64.

fenomeni più generali: gli astri, la terra, gli elementi «e alcune altre cose tra le più comuni e più semplici di tutte e, quindi, tra le più facili a conoscere». È a questo stadio che l'ausilio dell'esperienza²² diviene indispensabile al fine di spiegare la formazione dei fenomeni più particolari²³ :

Quando son poi voluto scendere a cose più particolari, se ne presentarono tante e così diverse che non mi è sembrato possibile per l'ingegno umano distinguere le Forme o Specie dei corpi che sono sulla terra da un'infinità di altre che potrebbero esservi solo che Dio lo avesse voluto, né, di conseguenza, volgere al nostro uso, se non procedendo dagli effetti alle cause e utilizzando diverse esperienze particolari. Dopo di ciò, ripercorrendo con il pensiero tutti gli oggetti che avevano colpito i miei sensi, oso dire di non avervi mai trovato nulla che non potessi facilmente spiegare mediante i miei Principi²⁴.

Per aggirare quella che sembra essere la sua «più grande difficoltà»²⁵ di natura metodologica, ovvero stabilire, tra le infinite specie di fenomeni, quelle a cui la combinazione di materia e movimento ha dato effettivamente forma, Descartes inverte così l'ordine della ricerca: una volta dedotti i fenomeni più generali dalle cause prime, nel rivolgersi allo studio delle cose più particolari, è necessario procedere *a posteriori*, dagli effetti osservabili alle cause:

Debbo però riconoscere che la potenza della Natura è tanto ampia e vasta (*que la puissance de la nature est si ample et si vaste*) e quei Principi così semplici e generali (*et que ces principes sont si simples et si généraux*), che non osservo quasi più nessun particolare (*que je ne remarque quasi plus aucun effet particulier*) di cui non sappia immediatamente che potrebbe venirme dedotto in parecchi e

²² Sul tema dell'esperienza in Descartes segnaliamo lo studio di H. Wickes e A. C. Crombie *A propos de la Dioptrique : l'expérience dans la philosophie naturelle de Descartes*, in «Problématique et réception du *Discours de la méthode* et des *Essais*», cit., pp. 65-79.

²³ Si vedano anche i *Principia III*, 46, A. T., VIII.

²⁴ *Discours*, VI, A. T., VI, p. 64.

²⁵ *Discours*, VI, A. T., VI, pp. 63-64.

diversi modi e che la mia più grande difficoltà sta in genere nell'individuare in quale di questi modi ne derivi²⁶.

Solo l'esperienza consente di integrare la dimostrazione certa dei fenomeni dai principi²⁷ con l'inferenza esatta dei collegamenti fra le cose²⁸. L'osservazione empirica assolve il compito di indicarci quale, tra le diverse combinazioni egualmente possibili fra i fenomeni, è stata di fatto realizzata:

A tal fine infatti non so far altro che cercare ancora alcune esperienze tali che il loro risultato sia diverso a seconda che lo si debba spiegare in un modo piuttosto che in un altro²⁹.

Così, l'esperienza non si limita a confermare la verità delle supposizioni. Come ha notato J.-M. Beyssade³⁰, essa è il principio di determinazione di ciò che la deduzione *a priori* lascia indeterminato poiché rivela le relazioni costanti che compongono l'intelligibilità della natura. Il rapporto causa/effetto dipende dal modo in cui si considerano le cose; un rapporto – sottolinea Descartes nel *Discours* – né circolare, né probabilistico, ma non per questo unidirezionale:

²⁶ *Discours*, VI, A. T., VI, p. 64.

²⁷ Si vedano in proposito le parole molto nette di Descartes a Mersenne [27 luglio, 1638, A. T., II, p. 268]: «s'il plait (à M. Desargues) de considérer ce que j'ai écrit du sel, de la neige, de l'arc-en-ciel etc., il connaitra bien que toute ma physique n'est autre chose que Géométrie».

²⁸ Nelle parole dei *Principes* (III, 46, A. T., IX, pp. 124-125): «il nous est maintenant libre de supposer celle que nous voudrions, pourvu que toutes les choses qui en seront déduites s'accordent entièrement avec l'expérience». Si veda anche III, 44, A. T., IX, p. 123 : «que ce que j'écrirai soit seulement pris pour une hypothèse, laquelle est peut-être fort éloignée de la vérité; mais encore, que cela fût, je croirai avoir beaucoup fait si toutes les choses qui en seront déduites sont entièrement conformes aux expériences» e III, 46 A. T., IX, p. 124 : «nous n'avons pu déterminer en même façon combien sont grandes les parties auxquelles cette matière est divisée, ni quelle est la vitesse dont elles se meuvent, ni quels cercles elles décrivent; car ces choses ayant pu être ordonnées de Dieu en une infinité de diverses façons, c'est par la seule expérience, et non par la force du raisonnement, qu'on peut savoir laquelle de toutes ces façons il a choisie».

²⁹ *Discours*, VI, A. T., VI, p. 64.

³⁰ J. M. Beyssade, *Sur le Discours de la méthode*, in «Etudes sur Descartes», cit., p. 44.

«l'esperienza, infatti, rendendo la maggior parte degli effetti estremamente certa, le cause da cui li deduco non servono tanto a spiegarli; anzi, all'opposto, sono proprio queste che trovano la propria prova in quelli»³¹. L'estensione geometrica e la divisibilità della materia sono esempi di verità *a priori* che il *Discours* interpreta come modelli esplicativi di fenomeni diversi e come termini ultimi della scoperta che, per induzione, risale ad essi attraverso gli effetti.

Ma non basta. In questo stesso passo del *Discours*, Descartes evoca anche l'uso dell'ipotesi (*supposition*), attraverso la quale egli afferma di aver spiegato adeguatamente il fenomeno della luce nella *Dioptrique* e nelle *Météores*:

Se poi certi argomenti che ho trattato all'inizio della *Diottrica* e delle *Meteore* urtano a prima vista, dato che li chiamo ipotesi (*je le nomme des suppositions*) e sembra che non abbia l'intenzione di darne la prova, si abbia la pazienza di leggere tutto con attenzione e spero che si resterà soddisfatti. Mi pare infatti che le ragioni si susseguano in tal modo che, come le ultime sono dimostrate dalle prime che sono loro cause, così queste, reciprocamente, lo sono dalle ultime che sono i loro effetti³².

L'ipotesi afferma che un certo fenomeno (causa) è necessariamente accompagnato da un altro fenomeno (effetto). Essa si combina così all'ultimo precetto della sesta parte del *Discours* che autorizza il ricorso ad esperienze particolari per accertare la validità delle cause: «a tal fine infatti non so far altro che cercare ancora alcune esperienze tali che il loro risultato sia diverso a seconda che lo si debba spiegare in un modo piuttosto che in un altro». Già nelle

³¹ *Discours*, VI, A. T., VI, p. 76. Tuttavia, concordiamo con G. Buchdahl quando afferma: «was it perhaps that the elements of the physical theory, the doctrine of the three elements, involved intuitions, clear and distinct? Not at all! They are purely hypothetical elements, in the formal sense of that term. It is a scholars' legend that Descartes consistently believed that his physics was deducible from first principles, let alone that the postulation of the second element itself was such a principle». *Descartes' Anticipation of a Logic of Scientific Discovery*, in *Scientific Change*, cit., p. 411.

³² *Discours*, VI, A. T., VI, p. 76.

Regulae compariva il riferimento all'uso strategico della *suppositio* «per distinguere accuratamente le nozioni delle cose semplici da quelle che risultano dalla loro composizione. Qui, come in precedenza, – afferma Descartes –, è necessario ammettere certe cose che non sono riconosciute da tutti; ma non ha importanza, anche se non vengono ritenute più vere di quei cerchi immaginari con i quali gli astronomi descrivono i loro fenomeni»³³.

La validità delle supposizioni non deve essere dimostrata³⁴: per confutarne la portata basta provare che ciò che è stato supposto sia falso o che siano state dedotte da esso conseguenze che non era possibile dedurre. L'ipotesi non si presenta come una verità incontrovertibile, ottenuta sulla base di principi immediatamente veri ed evidenti³⁵, bensì come una supposizione, per l'appunto, la cui verità deve essere dimostrata *a posteriori*. Tale dimostrazione³⁶ esige una serie di operazioni pratiche ed esperimenti. Nel caso della spiegazione della formazione dei colori nell'arcobaleno, ad esempio, Descartes riproduce il fenomeno stesso con l'intento di *verificare* o *falsificare* l'ipotesi corpuscolare che lo spiega. Nell'esperimento risiede dunque l'ultimo livello di verifica empirica delle cause.

Il collegamento fra principi ed ipotesi è tuttavia pensato in stretta analogia con la dimostrazione matematica che certifica i primi attraverso un numero di effetti compatibili alle seconde³⁷. Descartes lo afferma con chiarezza discutendo, nella lettera a Plempius del 20

³³ *Regulae* XII, A. T., X, p. 417.

³⁴ Descartes lo dice esplicitamente a Mersenne nel maggio 1638 (A. T., II, 143-144).

³⁵ Si veda il commento di É. Gilson al passo citato del *Discours* (VI, A. T., VI, p. 76, 8-9): «Descartes veut dire que ses principes sont des suppositions par rapport aux principes metaphysiques dont ils dépendent, non par rapport à la science physique qui en découle». *Discours de la méthode: Texte et commentaire*, cit., pp. 470-471.

³⁶ É. Gilson commenta così il nesso tra ipotesi ed esperienza: «la sola cosa che si può esigere da un'ipotesi è che essa *spieghi* i fatti, e tutto ciò che possono fare in seguito i fatti è di *provare l'ipotesi*. L'insieme costituito dalle ipotesi che spiegano dei fatti e di fatti sperimentalmente constatati che provano queste ipotesi, si chiama dimostrazione». *Études sur le rôle de la pensée médiévale dans la formation du système cartésien*, cit., p. 132).

³⁷ *Discours*, VI, A. T., VI, p. 50. La certezza dell'argomentazione in astronomia procede da un'analogia chiarezza e plausibilità del modello invocato. *Le Monde*, cap. 12, A. T., XI, pp. 80-83. Vedi anche *Principia*, III, A. T., VIII.

Dicembre 1637, dei modelli di spiegazione scientifica utilizzati nella *Dioptrique* e nelle *Météores*. Plempius fraintende, agli occhi di Descartes, le nozioni di materia e movimento: tali nozioni – sottolinea Descartes –, vanno lette come principi o cause conosciute intuitivamente e provate dagli effetti sul piano dell’esperienza. I principi, ossia le premesse da cui vengono dedotte le conclusioni della fisica, sono gli stessi «assiomi di cui si servono le dimostrazioni dei geometri come *il tutto è maggiore della parte; se da cose uguali sottrai cose uguali, le rimanenti saranno uguali, etc.* Tuttavia – continua Descartes – queste nozioni non devono essere astratte da ogni materia sensibile, come per i Geometri³⁸, ma applicate a varie esperienze conosciute con il senso». Così, ad esempio, le proprietà delle parti del sale sono tratte dal concetto di figura «come gli effetti attraverso la causa; in nessun modo, però, le ho volute provare, poiché erano già note a sufficienza; al contrario ho voluto dimostrare quell’assioma (la nozione di figura) *a posteriori* per mezzo di quelle proprietà»³⁹.

Alla prova del principio attraverso le sue conseguenze corrisponde il significato che Descartes accorda al termine *démontrer*⁴⁰ nella corrispondenza con Morin della fine degli anni ’30.

³⁸ Ad esempio, il fatto che il concetto di materia estesa risulti dalla relazione intuitiva fra figura e movimento di un corpo. Cfr. *Regulae XII*, A. T., X, p. 421; *Regulae XIV*, p. 444. *Regulae IV*, pp. 371-379. Del resto, Descartes distingue esplicitamente un’accezione *astratta* del termine *geometrico*, che pertiene propriamente alla matematica, da una concreta: «je n’ai résolu de quitter que la Géométrie abstraite, c’est-à-dire la recherche des questions qui ne servent qu’à exercer l’esprit; et ce afin d’avoir d’autant plus de loisir de cultiver une autre sorte de Géométrie, qui se propose pour questions l’explication des phénomènes de la nature». Descartes a Mersenne, 27 luglio, 1638, A. T., II, p. 26. Analogamente, nel *Discours*, una volta aver distinto matematica pura ed applicata, l’ultima delle due comprensiva di scienze quali musica, astronomia, ottica, Descartes parla di un tipo particolare di geometria, «qui enseigne généralement a connaître les mesures de toutes les corps». *Géométrie*, II, A. T., VI, p. 389. Cfr. *Discours de la méthode: Texte et commentaire*, cit., pp. 216-217.

³⁹ Descartes a Plempius, 20 dicembre, 1637, A. T., I, pp. 475-477.

⁴⁰ Descartes a Morin, 13 luglio, 1638, A. T., II, p. 198.

⁴⁰ Sull’uso flessibile della dimostrazione nel *Discours* rispetto al lessico della *deductio* nelle *Regulae* (*motus cogitationis, sagacitas, deductio, inductio, etc.*: *Regulae XI*, A. T., X, p. 409; *Regulae X*, A. T., X, p. 400; *Regulae XII*, A. T., X, p. 425; *Regulae XVI*, A. T., X, p. 454) e sulla prova delle cause tramite gli effetti

La lettera a Morin del 13 luglio 1638 difende infatti esplicitamente un uso non-scolastico del verbo *démontrer* aggiungendo: «il y a grande différence entre *prouver* et *expliquer*»⁴¹. Con il termine *démonstration* Descartes intende tutti gli aspetti del ragionamento «chiaro ed evidente»: analisi e induzione sono allora aspetti complementari del medesimo processo di scoperta e di prova delle cause di un fenomeno⁴² là dove la sesta parte del *Discours* approfondisce la distinzione fra *démonstrer*, *prouver*, *expliquer*.

Non si deve pensare – afferma infatti Descartes nel *Discours* – che in ciò commetta l'errore che i Logici chiamano circolo; l'esperienza, infatti, rendendo la maggior parte di questi effetti estremamente certa, le cause da cui li deduco non

sperimentalmente osservabili si vedano: S. M. Nadler, *Deduction, Confirmation, and the Laws of Nature in Descartes' Principia philosophiae*, in *Journal of the History of Philosophy*, July 1990, pp. 359-383; D. Garber, *Science and Certainty in Descartes*, in *Descartes: Critical and Interpretive Essays*, cit., pp. 114-151; M. Grene, *Descartes*, cit., pp. 58-59; D. Clarke, *Descartes' Philosophy of Science*, The University of Chicago Press, Chicago, 1982, p. 208. Sulla distinzione fra spiegazione e prova cfr. D. A. Recker che aggiunge: «Descartes also states that he uses the verb *démonstrer* in the ordinary way to mean either to prove or to explain (A. T., II, p. 198). But he also sometimes uses *démonstrer* and *déduire* interchangeably, indicating that to deduce can similarly connote either to prove or to explain. There are also many cases in which Descartes claims that he proves a proposition via experiential verification rather than through logical deduction». *Mathematical Demonstrations and Deduction in Descartes's Early Methodological and Scientific Writings*, cit., p. 226.

⁴¹ Descartes a Morin, 13 luglio, 1638, A. T., II, p. 198.

⁴² «A quoi j'ajoute qu'on peut user du mot démontrer pour signifier l'un et l'autre, au moins si on le prend selon l'usage commun, et non en la signification particulière que les Philosophes lui donnent. J'ajoute aussi que ce n'est pas un cercle de prouver une cause par plusieurs effets qui sont connus d'ailleurs, puis réciproquement de prouver quelques autres effets par cette cause. Et j'ai compris ces deux sens ensemble en la page 76 [*Discours*, VI, A. T., VI, p. 76] par ces mots: Comme les dernières raisons sont démontrées par les premières qui sont leurs causes, ces premières le sont réciproquement par les dernières qui sont leurs effets. Où je ne dois pas, pour cela, être accusé d'avoir parlé ambigument, à cause que je me suis expliqué incontinent après, en disant que, l'expérience rendant la plupart de ces effets très certains, les causes dont je les déduis ne servent pas tant à les prouver qu'à les expliquer, mais que ce sont elles qui sont prouvées par eux. Et je mets qu'elles ne servent pas tant à les prouver, au lieu de mettre qu'elles n'y servent point du tout, afin qu'on sache que chacun de ces effets peut aussi être prouvé par cette cause, en cas qu'il soit mis en doute, et quelle ait déjà été prouvée par d'autres effets. En quoi je ne vois pas que j'eusse pu user d'autres termes que je n'ai fait, pour m'expliquer mieux». Descartes a Morin, 13 luglio, 1638, A. T., II, p. 198.

servono tanto a dimostrarli quanto a spiegarli; anzi, tutto all'opposto, sono proprio queste che trovano la propria prova in quelli⁴³.

Alla prova del principio segue il suo utilizzo, come dichiara la lettera a Morin del 13 Luglio 1638, per dimostrare un'ulteriore e ben più vasta serie di fenomeni:

Encore qu'il y ait véritablement plusieurs effets auxquels il est aisé d'ajuster diverses causes, une à chacun, il n'est pas toutefois si aisé d'en ajuster une même à plusieurs différents, si elle n'est la vraie dont ils procèdent; même il y en a souvent qui sont tels, que c'est assez prouver quelle est leur vraie cause, que d'en donner une dont ils puissent clairement être déduits; et je prétends que tous ceux dont j'ai parlé sont de ce nombre. Car si l'on considère qu'en tout ce qu'on a fait jusqu'à présent en la Physique, on a seulement tâché d'imaginer quelques causes par lesquelles on pût expliquer les phénomènes de la nature, sans toutefois qu'on ait guère pu y réussir; puis si on compare les suppositions des autres avec les miennes c'est-à-dire toutes leurs *qualités réelles*, leurs *formes substantielles*, leurs éléments et choses semblables, dont le nombre est presque infini, avec cela seul, que tous les corps sont composés de quelques parties [...] j'espère que cela suffira pour persuader à ceux qui ne sont point trop préoccupés, que les effets que j'explique n'ont point d'autres causes que celles dont je les déduis⁴⁴.

Del resto, Descartes è oltremodo preoccupato nel distinguere il ruolo dell'esperienza dai principi. Interrogato da Vatier sullo statuto dell'ipotesi nella pratica scientifica, Descartes risponde:

J'avais bien prévu que cette façon d'écrire choquerait d'abord les lecteurs, et je crois que j'eusse pu aisément y remédier, en ôtant seulement le nom de suppositions aux premières choses dont je parle, et ne les déclarant qu'à mesure que je donnerais quelques raisons pour les prouver; mais je vous dirai franchement que j'ai choisi cette façon de proposer mes pensées, tant parce que croyant les pouvoir déduire par ordre des premiers principes de ma Métaphysique, j'ai voulu

⁴³ *Discours*, VI, A. T., VI, p. 76.

⁴⁴ Descartes a Morin, 13 luglio, 1638, A. T., II, pp. 199-200.

négliger toutes autres sortes de preuves; que parce que j'ai désiré essayer si la seule exposition de la vérité serait suffisante pour la persuader, sans y mêler aucune dispute ni réfutation des opinions contraires»⁴⁵.

Ma l'assicurazione a Vatier della perfetta deducibilità metafisica delle ipotesi usate in fisica⁴⁶ si affianca, nella corrispondenza con Plempius⁴⁷, Huygens⁴⁸, Mersenne⁴⁹, alla difesa dei benefici che possono derivare dall'esercizio di una scienza ipotetica. Similmente, scrivendo a Mersenne nel 1642, Descartes rifiuterà di offrire un'opinione su fenomeni che non siano sperimentalmente confermati⁵⁰. Insomma, nella discesa dai principi allo studio dei fenomeni particolari, la sintassi dimostrativa cartesiana si fa tutt'altro che rigida e il ricorso a comparazioni ed esempi tratti dall'esperienza

⁴⁵ Descartes a Vatier, 22 febbraio, 1638, A. T., I, p. 563. Si veda anche la lettera con Mersenne sulla natura del magnete [Descartes a Mersenne, 14 novembre, 1630, A. T., I, p. 172] o sul cambiamento di peso di un corpo in prossimità del centro della terra: Descartes a Mersenne, 13 luglio, 1638, A. T., II, p. 225. Cfr. anche *Principes*, II, A. T., IX, p. 23.

⁴⁶ Descartes a Vatier, 22 febbraio, 1638, A. T., I, p. 563; 11 novembre, 1640, A. T., III, p. 233. Si veda anche la prefazione all'edizione francese dei *Principes*, A. T., IX, p. 10.

⁴⁷ Descartes a Plempius, 15 febbraio, 1638, A. T., I, p. 527.

⁴⁸ Descartes a Huygens, 16 ottobre, 1639, A. T., II, p. 588; 2 novembre 1643, A. T., IV; 14 gennaio, 1643, A. T., III.

⁴⁹ Descartes a Mersenne, 20 ottobre, A. T., III, pp. 587-588.

⁵⁰ «Je ne vous en puis rien déterminer ; car cela dépend de quelques expériences que je n'ai jamais faites». Descartes a Mersenne, 20 ottobre 1642, A. T., III, p. 590. Sul valore dell'esperienza vedi anche Descartes a Mersenne, 11 marzo 1640: «car c'est une question de fait, où le raisonnement ne sert de rien sans l'expérience». A. T., III, p. 35. Nella lettera a Mersenne del 4 gennaio 1643 si fa riferimento a «toutes les expériences qui seraient nécessaires pour découvrir la nature particulière de chaque corp». A. T., III, p. 610. Ad Huygens viene espressa la preoccupazione che la mancanza di un lavoro sperimentale in chimica ne possa frenare i progressi: «J'ai eu de la peine à me résoudre de vous envoyer cette lettre, sans y quelque discours touchant la Chimie, ainsi que vous avez témoigné le désirer [...]. Mais, ayant déjà écrit tout le peu que je savais touchant cette matière en la quatrième partie de mes *Principes*, lorsque j' y ai traité de la nature des minéraux et de celle du feu, et de tous les divers effets auxquels se peut quasi rapporter toute la Chimie, il ne m'est pas possible d'en rien écrire davantage, sans me mettre en hasard de me méprendre, à cause que je n'ai point fait les expériences qui m'auraient été nécessaires pour venir à la connaissance particulière de chaque chose». Descartes a Huygens, 4 agosto, 1645, A. T., III, p. 781. La stessa riflessione è inviata al Marchese di Newcastle nell'ottobre 1645 a proposito dello studio anatomico sugli animali: A. T., IV, p. 326.

sempre più frequente: se già nel *Traité de la Lumière* il moto rettilineo dei corpi era stato considerato compatibile alla rotazione di una pietra in una fionda⁵¹, lo studio della luce nel *Discorso secondo della Dioptrique* ricorre ampiamente all'uso della comparazione. Descartes oscilla fra la pretesa di giustificare come assolutamente vere le supposizioni impiegate nella *Dioptrique* e nelle *Météores* a partire dai principi («le ho definite ipotesi – egli afferma nella sesta parte del *Discours* – solo perché si sappia che penso bensì di poterle dedurre da quelle verità prime che sopra ho ricordato»)⁵² e la pressoché totale assenza d'un ruolo fondativo della metafisica al cuore della dimostrazione scientifica degli *Essais*. Rimangono valide, semmai, nella *Dioptrique*, quelle supposizioni degli astronomi che, pur essendo «false, o poco sicure [...], tuttavia dato che si riferiscono ad osservazioni da essi fatte, non mancano di trarre molte conseguenze verissime e certissime»⁵³.

Così, l'accordo con l'esperienza è duplice: è un accordo *forte* quando verifica, come nel caso del rapporto fra angoli di incidenza e di rifrazione negli esempi della luce e dell'arcobaleno, le componenti quantitative e matematiche della teoria; in un senso più *debole*, la semplice assunzione della non conflittualità dell'ipotesi con i fatti empiricamente osservabili rappresenta il criterio che in *negativo* decide la validità del modello per un numero indefinito di effetti.

L'introduzione di ipotesi ausiliarie per rendere conto dell'indefinita collezione di effetti deducibili dai principi potrebbe rappresentare in questo senso il segno di un certo pessimismo circa la possibilità d'un controllo sperimentale delle teorie. In alcuni casi, come nella lettera a Villebressieu del 1631, dove il fisico francese viene incoraggiato a pubblicare i suoi esperimenti al fine di costruire «une physique claire, certaine, démontrée, et plus utile que celle qui s'enseigne d'ordinaire»⁵⁴, o nella lettera a Plempius del 20 dicembre

⁵¹ *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, pp. 44-46; *Principia*, III, 57, A. T., VIII.

⁵² *Discours*, VI, A. T., VI, p. 76.

⁵³ *Dioptrique*, I, A. T., VI, p. 83.

⁵⁴ Descartes a Villebressieu, estate, 1631, A. T., I, p. 261.

1637, in cui la spiegazione *a posteriori* delle cause dagli effetti («contra illud per haec *a posteriori* demonstrare»)⁵⁵ viene esplicitamente paragonata al procedere geometrico, Descartes sembra ammettere il ruolo costitutivo dell'esperienza nella verifica dei modelli. Le spiegazione dei fenomeni fisici si basa tuttavia su un numero limitato di cause: figura, moto e grandezza dei corpi, come modi dell'unica sostanza geometrica, hanno il compito di spiegare la differenza fra i corpi solidi e quelli liquidi⁵⁶, la ripartizione dell'universo (Sole e stelle fisse, i cieli, la Terra e i pianeti)⁵⁷, la materia sottile che forma la luce⁵⁸ e, secondo un'ulteriore di discesa verso i dati particolari, la natura della pesantezza⁵⁹, del freddo, del caldo⁶⁰ e delle forme viventi in generale che la pratica scientifica riflette nei diversi lati della sperimentazione.

L'accordo con l'esperienza offre dunque un tipo di certezza diversa da quella del sapere matematico, l'unico capace di fornire il quadro teorico delle dottrine più generali del mondo fisico, nonché i criteri di verità della ricerca scientifica. La certezza dell'esperienza è soltanto morale⁶¹ e riguarda un campo di fatti il cui comportamento

⁵⁵ «Nequaquam autem probare, quia jam erant satis nota, sed contra illud per haec *a posteriori* demonstrare». Descartes a Plempius, 20 dicembre, 1637, A. T., II, p. 476.

⁵⁶ Descartes a Plempius per Fromondus, 3 ottobre, 1637, A. T., I, pp. 233-234; *Météores*, I, A. T., VI, p. 237.

⁵⁷ *Le Monde*, cap. 5, A. T., XI, pp. 29-30; *Principes*, II, 54-55, A. T., VIII, pp. 70-71

⁵⁸ *Dioptrique*, I, A. T., VI, pp. 91-92; *Météores*, I, A. T., VI, p. 234.

⁵⁹ *Le Monde*, cap. 11, A. T., XI, p. 73; *Principes*, IV, 20, 23, A. T., VIII, pp. 212-214. Descartes a Mersenne, 27 agosto 1639, A. T., II, pp. 572-573.

⁶⁰ *Météores*, II, A. T., VI, p. 243-245.

⁶¹ *Principia*, IV, 205-206, A. T., VIII, pp. 327-329. Si veda anche Descartes a Plempius per Fromondus, 3 ottobre, 1637, A. T., I, pp. 422-423. Il valore puramente morale della certezza scientifica è del resto utile per la costruzione di una meccanica, di una medicina e di una morale, come rilevano le lettere a Elisabetta (cfr. Descartes a Elisabetta, 4 agosto e 6 ottobre, 1645, A. T., IV, pp. 263-265; pp. 304-309), o la lettera a Cristina del 20 novembre 1647, A. T., V, pp. 82-83. Vedi anche Descartes a Mersenne, 21 aprile, 1641, A. T., III, p. 359. Sul passaggio dalla certezza matematica al valore morale / strumentale della conoscenza si vedano le riflessioni di D. A. Recker relative alle diverse applicazioni del concetto di *natura semplice* nella metodologia cartesiana: «when they [the starting points of reasoning] display order *and* begin with absolutely simple natures, they have the cognitive status of narrow mathematical demonstrations. When they do not, they merely confer as much certainty as it is

non è direttamente deducibile dal sistema fisico generale, condizione che Descartes esprime nei *Principia* nei termini delle indefinite modalità nelle quali Dio potrebbe aver fatto le cose⁶². L'assunzione di modelli esplicativi ricavati dalle interazioni meccaniche dei corpi e confermati dall'esperienza riduce la molteplicità dei modi attraverso cui opera la natura, riducendone l'indecidibilità dal punto di vista epistemologico.

Il problema del rapporto fra la certezza della dimostrazione matematica e i livelli più complessi della dimostrazione fisica era del resto già noto agli antichi: Aristotele demarca nettamente i confini dell'indagine matematica rispetto ad altre discipline in cui la perfetta convertibilità (*αντιστρέφειν*, implicarsi reciprocamente) fra i termini della dimostrazione si scontra col carattere accidentale e contingente dei fenomeni trattati⁶³. A questa limitazione nell'uso dell'analisi matematica, parte delle filosofie naturali del XVII secolo rispondono con un duplice approccio, fra salvaguardia delle cause prime ed utilizzo di schemi *a posteriori* di descrizione empirica. Si pensi alla Scuola padovana, dove la *resolutio* matematica⁶⁴, che parte da cose

possible for us to achieve in such matters (moral certainty). This, I maintain, is the key to understanding many of the passages where Descartes seems to “waffle” concerning the status of his scientific explanations». *Mathematical Demonstrations and Deduction in Descartes's Early Methodological and Scientific Writings*, cit., p. 243. W. Röd aggiunge che le conseguenze del ragionamento, qualora siano «vraies manifestement parce qu'elles s'accordent avec les observations, il est particulièrement frappant dans les propos de Descartes qu'ils semblent renoncer à la prétention à la vérité quant aux hypothèses de l'explication. Si les *suppositions* sont justifiées par le fait même qu'elles sont appropriées à fournir l'explication recherchée, alors la question de la vérité n'a effectivement plus besoin d'être posée pour elles». *L'Explication entre Méthode et Métaphysique*, cit., p. 104. Sul tema della *certezza morale* si vedano anche gli interventi di C. Larmore, *L'Explication Scientifique*, *ibid.*, pp. 109-128, e S. Voss, *Scientific and Practical Certainty in Descartes*, in *American Catholic Philosophical Quarterly*, vol. LXVII, no. 4, pp. 569-585.

⁶² *Principia*, IV, 204, A. T., VIII, p. 327.

⁶³ «L'induzione è cosa più convincente e più chiara e più nota secondo la percezione e comune ai più; invece il sillogismo è cosa più forte e più efficace contro gli oppositori». *Top.* I 12. Cfr. anche *An. Post.* II 19; *An. Pr.* II 2, 53 b 7-8; *An. Post.* I, 6, 75 a 3-4.

⁶⁴ Il percorso della *resolutio* ha infatti il compito di determinare la ricerca dei principi su cui la *demonstratio* degli effetti, come forma corretta, ovvero *compositiva*, della deduzione, può essere effettuata. Cfr. Zabarella, *De natura Logicae*, III, p. 18, in J. H. Randall, *The school of Padua*, cit., p. 52.

ignote per giungere a cose note, e l'induzione fisica, che giunge ai termini ignoti (*principia*) procedendo dal noto (*effectus*), sono nettamente distinte. La fedeltà di Zabarella ad Aristotele su questo punto è chiara: induzione fisica e matematica sono due processi ugualmente rigorosi sul piano dimostrativo, benché appartenenti ad ambiti separati. L'*inductio*, specialmente la *demonstratio ab effectu*, costituisce il vero metodo della scoperta che dall'esperienza raggiunge i principi⁶⁵; l'analisi matematica, che è lo strumento dell'evidenza astratto per eccellenza, pone invece il punto di partenza come noto per ipotesi, sì da dimostrarlo tale (*iam cognitum*) nelle conseguenze⁶⁶.

Tale distinzione è del tutto abbandonata da Descartes, o meglio riletta alla luce del modello matematico-algebrico come unico riferimento per la garanzia intuitiva dei principi e la piena convertibilità fra i termini della dimostrazione. Se nelle *Regulae* il problema non consiste nell'abolire la distinzione fra scienze fisiche e matematiche, bensì nell'impiegare il modello matematico per definire ogni scienza all'interno della *Mathesis Universalis* come teoria dell'ordine in ogni campo del sapere, la riduzione dei fenomeni ai principi nel *Discours* è operata da un modello ritenuto *compatibile* sia con la certezza delle cause prime che con un criterio di *generalità* tale da poter descrivere un grande numero di effetti. Rimane fermo, per Descartes, sia nelle questioni di fisica che in quelle di matematica, il

⁶⁵ La logica tradizionale legge infatti l'induzione come semplice prova della priorità della causa rispetto agli effetti. Il riferimento risale al pensiero medievale. San Tommaso, ad esempio, definisce l'analisi come verifica dei principi e la sintesi come scoperta ovvero nella vera dimostrazione degli effetti: «et quia motus semper ab immobili procedit, et ad aliquid quietum terminatur; inde est quod ratiocinatio humana, secundum uniam inquisitionis vel inventionis, procedit a quibusdam simpliciter intellectis, quae sunt prima principia; et rursus, in via iudicii, resolvendo redit ad prima principia, ad quae inventa examinat». *Summa Theologiae*, I-I, Q. 79, a. 8 Vedi anche *De Veritate*, Q. 15, a 1 c.; *In Posteriorum Analyticorum, Proemium*, n. 5; *In Boetium de Trinitate*, Q. 6, a. 1, c.; *Summa Contra Gentiles*, I, c. 57.

⁶⁶ Zabarella, *Opera Logica*, (Venetiis, 1578), Coloniae, 1597, (rec. Hildesheim, 1996) col. 266 D-E, *De Methodis*, III, p. 17. Sulle differenze fra Zabarella e Aristotele riguardanti il grado di certezza ottenibile dall'induzione fisica vedi: A Poppi, *La dottrina della scienza in Giacomo Zabarella*, Antenore, Padova, 1972; W. Risse, *La dottrina di Zabarella*, in *Aristotelismo Veneto e Scienza Moderna*, in L. Olivieri, (ed.), Antenore, Padova, pp. 173-186.

principio dell'equazione: formulare una catena di proporzioni che arriva «al punto di trovare quel che è ignoto uguale a ciò che si conosce».

Le elaborazioni metodiche del tardo XVII secolo confermano la problematicità del rapporto fra la generalità dei principi e la pluralità empirica dei fenomeni, specialmente in quelle dimostrazioni in cui un effetto può essere prodotto da più cause o persino mancare la corrispondenza con la causa ipotizzata⁶⁷. Al di là degli sviluppi di una teoria dell'esperimento nella tradizione post-cartesiana⁶⁸ o del suo utilizzo, già nel *Discours*, come modalità di ricomposizione fra ipotesi e principi⁶⁹, il nodo teorico da sciogliere consiste nella complicazione, in fisica, del rapporto causa / effetto che chiede al metodo ipotetico-deduttivo cartesiano della metà degli anni '30, così come alle tradizioni di ricerca del cartesianesimo del tardo XVII secolo, di unire una fisica generale allo studio di casi empirici particolari.

In Hobbes, ad esempio, la filosofia è definita come la conoscenza degli effetti o dei fenomeni (*phaenomenon sive effectuum*) attraverso le cause e la prova di quest'ultime (*generationes*) secondo gli effetti⁷⁰. La filosofia prima (*prima philosophia*) forma definizioni e

⁶⁷ Tale consapevolezza, presente già nella tradizione aristotelica, era stata usata per circoscrivere il valore delle formulazioni scientifiche ed astronomiche. Sia Averroè che Tommaso d'Aquino difendono nei rispettivi commenti al *De caelo* la perfetta plausibilità delle dottrine di Tolomeo, senza per questo doverne postulare la verità. La prefazione di Osiander al *De revolutionibus* di Copernico, pubblicata nel 1543 e sicuramente conosciuta da Descartes, esprime lo stesso punto: cfr. Osiander, *Ad Lectorem, de hypothesibus huius operis*; Copernicus, *De revolutionibus orbium coelestium*, Nuremberg, 1543, citata nello studio di P. Duhem sull'uso dell'ipotesi nella fisica aristotelica: *To save the phenomena: an essay on the idea of physical theory from Plato to Galileo*, transl. from the French by C. Maschler; with an introductory essay by S. L. Jaki, University of Chicago Press, Chicago, 1969.

⁶⁸ Fra la vasta bibliografia a riguardo, segnaliamo per la ricezione francese dell'uso cartesiano dell'ipotesi e dell'analisi in fisica si veda D. Clarke, *Occult powers and hypotheses. Cartesian natural philosophy under Louis XIV*, Clarendon Press, Oxford, 1989. Per il dibattito nei Paesi Bassi: E. G. Ruestow, *Physics at 17th and 18th century Leiden*, cit.

⁶⁹ *Discours*, VI, A. T., VI, p. 76.

⁷⁰ Hobbes, *Physica*, Pars I, 1, in *Opera Philosophica*, G. Molesworth, (ed.), Londini, 1839-1845, 5 voll.; Verlag, (Second Reprint), Germany, 1966, vol. 1, pp. 58-59.

assiomi; la fisica spiega i fenomeni per mezzo delle cause (ipotesi) che potrebbero figurare in una *demonstratio propter quid*⁷¹, rendendo così fattuale la *demonstratio quia*⁷². Nella fisica di Hobbes, analogamente a quella di Descartes, tali principi sono i concetti di materia e moto locale ridotti alle determinazioni di figura e movimento⁷³. Il movimento sta all'origine sia del mutamento dei corpi, sia della nostra conoscenza di essi in quanto causa delle nostre sensazioni⁷⁴; la riproduzione indefinita del moto e la contiguità fra tutte le parti di materia sono le condizioni esplicative sufficienti dell'intero universo fisico⁷⁵.

⁷¹ Centrale, infatti, è il recupero della distinzione aristotelica *propter quid / quia* non solo in Hobbes, ma anche nella dimostrazione scientifica del primo XVII secolo. Cfr. Suarez, *Disputationes metaphysicae*, iii, Salmanticae, 1597, Hildesheim, Olms, 1965, I, p. 113; Eustachius a S. Paulo, (1573-1640) citato in É. Gilson, *Index scolastico-cartésien*: «At vero demonstratio propter quid assumit pro medio seu argomento causam rei proximam [...]. Ex quo intelligis prius genus demonstrationis fieri posse tum a priori, idque improprie cum nempe fit per causare remotam; tum a posteriori, cum nempe fit per effectum. Posterius vero genus fieri tantum a priori, et quidem proprie, cum non tantum per causam, sed per veram et proximam fiat, onde nascitur illud discrimen inter utrumque genus demonstrationis, quod prius illud certam quidem et indubitam rei notitiam, non tamen scientiam nisi improprie; al vero posterius scientiam proprie dictam pariat. Scire enim proprie est effectum per causam propriam seu proximam cognoscere». E. a S. Paulo, *Summa philosophica quadripartita, de rebus Dialecticis, Moralibus, Physicis et Metaphysicis*, 2 vol., Carolus Chastellain, Paris, 1609, I, pp. 222-224, in É. Gilson, *Index scolastico-cartésien*, cit., pp. 66-67.

⁷² Hobbes, *Physica*, Pars IV, 25, in *Opera Philosophica*, vol. 1, cit., p. 316: «Aggredior jam partem alteram, a phaenomenis sive effectibus naturae nobis per sensum cognitum ad modum investigandum aliquem, juxta quem, non dico generata sunt, sed generati potuerunt. Principia igitur, unde pendent quae sequuntur, non facimus nos, nec pronunciamus universaliter, ut definitiones, sed a naturae coeditore in ipsis rebus posita observamus; nec universaliter prolatis, sed singulis utimur. Neque necessitatem haec faciunt theorematis, sed tantum, non absque propositionibus universalibus sopra demonstratis, generationis alicujus ostendunt possibilitatem. Atque huic parti, quia cognitio, quae hic traditur, principia habet in natura; phaenomenis et desinit in aliqua scientia causarum naturalium, inscripsi PHYSICAM sive *de nature Phaenomenis*. Phaenomena autem appellantur quaecunque apparent sive a natura nobis sunt ostensa».

⁷³ Cfr. W. F. Edwards, *Paduan Aristotelianism and the Origins of Modern Theories of Method*, in *Aristotelismo Veneto e Scienza Moderna*, cit., pp. 205-221.

⁷⁴ Come è noto, in Hobbes la conoscenza stessa dei principi ha inizio dalla sensazione come base di tutta la scienza. *Physica*, Pars IV, 25, 26, in *Opera Philosophica*, vol. 1, cit.

⁷⁵ «Accidentia autem caetera praeter magnitudinem sive extensionem omnia generari et inferire posse manifestum est, ut quando ex albo fit nigrum, albedo,

Analogamente, in Spinoza, movimento e riposo sono nozioni comuni che identificano la composizione individuale di ciascun corpo all'interno del sistema più generale di proporzioni fissato dal concetto di estensione⁷⁶. Dio, come sostanza o «causa immanente e non transitiva di tutte le cose»⁷⁷ funge da premessa al binomio corpo-movimento, aggiungendovi la garanzia della conservazione costante della quantità di moto e la tendenza di ciascun modo a perseverare nel proprio stato⁷⁸.

quae erat amplius, non est, et nigredo, quae non erat, oritur. Corpora itaque et accidentia, sub quibus varie apparent, ita differunt ut corpora quidem sint res non genitae, accidentia vero genita sed non res». *Physica*, Pars IV, in *Opera Philosophica*, vol. 1, cit., pp. 103-104.

⁷⁶ «Lemma II. Omnia corpora in quibusdam conveniunt. Demonstratio. In his enim omnia corpora conveniunt, quod unius, ejusdemque attributi conceptum involvunt (*per Defin. I. hujus*). Deinde, quòd jam tardiùs, jam celeriùs, & absolute jam moveri, jam quiescere possunt». *Ethices II*, (Eth.), *De Natura & Origine Mentis*, Lemma II, dem., in Spinoza, *Opera*, C. Gebhardt (ed.), 4 vols., Carl Winters, Heidelberg, II, p. 98. Si vedano in proposito, gli studi di: A. Lécirvan, *Spinoza et la Physique cartésienne*, in *Cahiers Spinoza*, 1, 1977, pp. 235-265; A. Rivaud, *La Physique de Spinoza*, in *Chronicon Spinozanum*, 4, 1924-1926, pp. 24-57; P. Rossi, *La fisica spinoziana e la fisica moderna*, in *Spinoza nel terzo centenario della sua nascita*, Facoltà di filosofia dell'Università cattolica del Sacro Cuore, Milano, 1934, pp. 117-131; nonché i saggi contenuti in M. Grene, *Spinoza and the sciences*, Reidel, Dordrecht e Boston, 1986.

⁷⁷ *Eth.*, I, prop. XVIII, C. Gebhardt ed., II, cit. Sullo statuto dell'idea di Dio nella fisica hobbesiana, si vedano le riflessioni di E. Giancotti: *La funzione dell'idea di Dio in Hobbes*, in E. Giancotti, *Studi su Hobbes e Spinoza*, Bibliopolis, Napoli, 1995, che distingue la fondazione del sistema naturale dall'assetto fisico attuale, garantito dalle pure nozioni di moto e materia: «col dire che l'idea del Dio creatore non svolge alcuna funzione nell'ambito della filosofia naturale non intendo negare che il riferimento all'idea di Dio trovi posto anche in quell'ambito; ritengo, tuttavia, che il chiarimento del modo in cui tale riferimento viene fatto porta alla conclusione che l'universo hobbesiano ha al proprio interno le ragioni della sua spiegazione e della sua conoscibilità, poiché i concetti di materia esterna e di movimento che è causa di se stesso sono sufficienti a spiegarne l'esistenza e le modalità». E. Giancotti, *ibid.*, p. 240. A simili conclusioni perviene A. Pacchi sulla linea del doppio aspetto di Dio (il Dio dei filosofi e il Dio biblico), essendo il primo semplice «causa efficiente del movimento [...], struttura garante della scansione meccanicistica dell'universo materiale e della sua intelligibilità razionale». A. Pacchi, *Hobbes e il Dio delle cause*, in *La storia della filosofia come sapere critico*, Studi offerti a M. Dal Pra, Franco Angeli, Milano, 1984, p. 14, citato in E. Giancotti, *Studi su Hobbes e Spinoza*, cit., p. 242.

⁷⁸ «Hinc sequitur corpus motum tamdiu moveri, donec ab alio corpore ad quiescendum determinetur ; & corpus quiescens, tamdiu etiam quiescere, donec ab alio ad motum determinetur». *Eth.* II, cor. Lemma III, C. Gebhardt ed., II, cit., p. 98. In Descartes, come rileva F. Alquié nella nota alla propria edizione del *Monde*, la garanzia metafisica della conservazione della quantità di moto completa la

Si hanno dunque due procedure essenziali: quella, in termini hobbesiani, «dalla generazione agli effetti possibili» e quella dagli effetti, o fenomeni, alla loro generazione. Un'identica distinzione fra la conoscenza *del fatto* e la conoscenza *per causam proximam*, fra livelli deduttivi e livelli ipotetici, o *a posteriori*, della dimostrazione scientifica è rintracciabile nel *Tractatus de Intellectus Emendatione*, spinoziano dove, ancora una volta, è il nesso causa-effetto a creare difficoltà quando si passa dai principi intuitivi della geometria (punti, linee, unità, superfici) ad una conoscenza inizialmente confusa degli effetti.

Se conoscere significa pervenire alla conoscenza della causa prossima⁷⁹ o, nell'accezione tradizionale, alla *demonstratio propter quid* di una proprietà⁸⁰, il modello sintetico, che dimostra l'effetto a partire dall'idea chiara e distinta della causa determinata a produrlo, rimarrà inequivocabilmente distinto da un *modello ipotetico* che dall'osservazione di taluni effetti estrae leggi e schemi generali di spiegazione⁸¹. Per Spinoza, la conoscenza delle cause⁸² si dà

teoria della materia esposta nei primi cinque capitoli del trattato: «car quel fondement plus ferme et plus solide pourrait-on trouver pour établir une vérité, encore qu'on le voulût choisir à souhait, que de prendre la fermeté même et l'immutabilité qui est en Dieu?» (cfr. *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 43). Dal sesto capitolo in poi, l'esposizione si rovescia in un ordine rigorosamente deduttivo che non lascia più spazio ad alcun procedimento induttivo: «ainsi les deux premières règles, qui constituent, en sa forme la plus générale, le principe d'inertie, ont, dans la physique cartésienne, un fondement métaphysique. Il en sera de même de la troisième, affirmant que tout corps abandonné à lui-même tend à continuer son mouvement en ligne droite. En tout ceci, Descartes ne procede pas inductivement. Il part des lois et des règles qui doivent s'imposer à la Nature. Comme le dit Koyré: *les lois de la nature, ce sont des lois pour la nature, des règles auxquelles elle ne peut pas ne pas se conformer* [A. Koyré. *Études galiléennes*, cit. p. 159]». *Descartes, Œuvres*, I, cit., nota 1, p. 357. Eccetto il principio di conservazione del moto, nessun altro aspetto dell'universo fisico cartesiano discende tuttavia, di necessità, dall'idea di Dio.

⁷⁹ «Quoad primum ut jam tradidimus, requiritur ad nostrum ultimum finem, ut res concipiatur vel per solam suam essentiam vel per proximam suam causam». TIE, Gebhardt ed., II, cit., p. 34.

⁸⁰ TIE, Gebhardt ed., II, cit., pp. 85, 92.

⁸¹ Altresi definiti *entia rationis* o universali: «entia rationis, seu imaginationis, notiones mensurae numeri, temporis». Spinoza a Meijer, Ep. 12, Gebhardt ed., IV, cit., p. 57. «Ens denique rationis, nihil est praeter modum cogitandi, qui inservit ad res intellectas facilius retinendas explicandas, atque imaginandas». *Cogitata Metaphysica*, (C. M.), I, cap. 1, Gebhardt ed., I, cit., p. 233. Sulla ricorrenza del

attraverso la conoscenza degli attributi infiniti e la definizione dell'attributo non richiede alcun soccorso da parte dell'esperienza. Così, se si desidera acquisire la conoscenza di un modo finito, il ricorso ai modelli della fisica rimane alquanto problematico⁸³: il modo finito dei corpi dipende da un lato dalla nozione di quantità come ente dell'immaginazione⁸⁴ e dall'idea di Dio, dall'altro, come

termine *ens rationis* nei *Cogitata* e nel *Trattato*, cfr. E. Giancotti Boscherini, *Lexicon Spinozanum*, Martinus Nijhoff, La Haye, 1970. Per una bibliografia essenziale, vedi: W. Klever, *Remarques sur le Tractatus de intellectus emendatione, (Experientia vaga, paradoxa, ideae fictiae)*, in *Revue des Sciences Philosophiques et Théologiques*, 71, 1987, pp. 101-112; H. De Dijin, *The significance of Spinoza's Treatise on the Improvement of the Understanding*, in *Algemeen Nederlands Tijdschrift voor Wijsbegeerte*, 66, 1974, pp. 1-16; F. Mignini, *Ars Imaginandi. Apparenza e Rappresentazione in Spinoza*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli, 1981; nonché in saggi contenuti in M. Grene, *Spinoza. A Collection of Critical Essays*, University of Notre Dame Press, Indiana, 1979 (Anchor Books, New York, 1973), in particolare: E. M. Curley, *Experience in Spinoza's Theory of Knowledge*, pp. 25-59 e G. Fløistad, *Spinoza's Theory of Knowledge in the Ethics*, pp. 249-275.

⁸² «Cogitatio enim vera est res conoscere per primas suas causas». TIE, Gebhardt ed., II, cit., p. 26. «At ideam veram simplicem esse ostendimus, aut ex simplicibus compositam, & quae ostendit, quomodo, & cur aliquid sit, aut factum sit, & quod ipsius effectus objectivi in anima procedunt ad rationem formalitatis ipsius objecti». *Ibid.*, p. 32.

⁸³ Si veda la distinzione fra cose increate e create nel *Tractatus de Emendatione* a partire dalla definizione del cerchio: «Si res sit creata, definitio debebit, uti diximus, comprehendere causam proximam. Ex. gr. circulus secundum hanc legem sic efficitur definiendus: eum esse figuram, quae describitur à linea quacunque, cujus alia extremitas est fixa, alia mobilis, quae definitio clarè comprehendit causam proximam». TIE, Gebhardt ed., II, cit., p. 35.

⁸⁴ L'*Ethica* distingue un concetto astratto di quantità quale quello usato abitualmente dalla scienza per ridurre ogni entità fisica alle nozioni di estensione materia, movimento da un'idea *assoluta*, o *infinita*, di quantità che dipende non dall'immaginazione, ma dall'intelletto: «quantitas duobus modis à nobis concipitur, abstracte scilicet, sive superficialiter, prout nempe ipsam imaginamur, vel ut substantia, quod à solo intellectu sit. Si itaque ad quantitatem attendimus, prout in imaginatione est, quod saepe, & facilius à nobis sit, reperietur finita, divisibilis, & ex partibus conflata; si autem ad ipsam, prout in intellectu est, attendimus, & eam, quatenus substantia est, concipimus, quod difficillimè sit, tum, ut jam satis demonstravimus, *infinita, unica, & indivisibilis reperietur*. [Corsivo nostro]. Quod omnibus, qui inter imaginationem, & intellectum distinguere sciverint, satis manifestum erit: Praecipuè si ad hoc etiam attendatur, quod materia ubique eadem est, nec partes in eadem distinguuntur, nisi quatenus materiam diversimodè affectam esse concipimus, onde ejus partes modaliter tantum distinguuntur, non autem realiter». *Eth.*, I, schol. prop. 15, Gebhardt ed., II, cit., p. 59. Sulla distinzione fra percezioni immaginative e idee di ragione che dipendono, in ultima analisi, dal collegamento all'attributo infinito si veda anche TIE, Gebhardt ed., II cit., p. 39: «cum tamen motus non percipiatur, nisi percepta quantitate, & motum etiam ad formandam

premessa per la definizione dell'essenza singolare. Vi è dunque un'inesorabile distanza fra la conoscenza vera (o conoscenza delle essenze che dipendono dall'attributo) e i modelli astratti della conoscenza scientifica. Enti geometrici e fisici possono essere conosciuti per enumerazione delle loro proprietà (*propria*)⁸⁵ o attraverso la definizione *genetica* che, sull'esempio della geometria, ne dimostra il processo di costruzione⁸⁶. Tuttavia, la riduzione geometrica di un corpo ad una quantità finita e determinata dai rapporti di moto e quiete non esprime, di per sé, la relazione necessaria di ogni serie materiale con l'attributo infinito ed eterno dell'estensione⁸⁷. Segue, inevitabilmente, una concezione della quantità, quella appunto di cui si serve la scienza, «astratta dalla sostanza. Da essa nascono il tempo e la misura. Infine, dalla separazione delle affezioni della sostanza dalla sostanza stessa, e dalla loro riconduzione a *classi* al fine di immaginarle facilmente, nasce il numero»⁸⁸.

Il problema del rapporto fra i principi primi della conoscenza e lo studio dei fenomeni particolari permane al centro del dibattito delle

lieneam in infinitum continuare possumus, quod minime possemus facere, si non haberemus ideam infinitae quantitatis». Vedi inoltre Eth. I, def. 4; Eth. II, prop. 40, schol. 1, Gebhardt ed., II cit., pp. 45, 121; Spinoza a Meijer, 20 aprile, 1663, Ep. 12, Gebhardt ed., IV cit., pp. 56-57.

⁸⁵ «Hoc cum sit, nihil de causa intelligimus praeter id, quod in effectu coafideramus: quod satis apparet ex eo, quod tum causa non nisi generalissimis terminis explicetur, nempe his, Ergo datur aliquid, Ergo datur aliqua potentia, &c. Vel etiam ex eo, quod ipsam negative expriment, Ergo non est hoc, vel illud, &c. In secundo casu aliquid cause tribuitur propter effectum, quod clare concipitur, ut in exemplo ostendemus; verum nihil praeter propria, non vero rei essentia particularis». TIE, Gebhardt ed., II cit., p. 10.

⁸⁶ Si veda la duplice definizione del cerchio (TIE, Gebhardt ed., II cit., p. 35) che Spinoza ritiene estendibile anche a grandezze fisiche (entia Physica & Realia): «Et quamvis ut dixi, circa figuras, & caetera entia rationis hoc parum refereat, multum tamen refert circa entia Physica & realia». *Ibid.*, p. 35.

⁸⁷ Eth. I, scol. prop. 15, Gebhardt ed., II, cit., p. 57; C. M., I, cap. 1, Gebhardt ed., I, cit., p. 234; *Principia*, I, proleg., Gebhardt ed., I, cit., p. 142.

⁸⁸ Spinoza a Meijer, aprile / agosto, 1663, Ep. 12, in *Opere*, a cura di Mignini, Mondadori, Milano, 2007, pp. 1324-1325; Gebhardt ed., IV, cit., p. 56-57. La terza parte dell'edizione spinoziana dei *Principia* ribadisce la necessità di un metodo deduttivo da accordare all'esperienza: «Diximus denique, nobis licere hypothesin assumere, ex qua, tamquam ex causa, naturae Phaenomena deducete quaemus». *Principia Philosophiae*, III, Gebhardt ed., I, cit., p. 227.

filosofie naturali di ispirazione cartesiana. Nella *Clavis Philosophie Naturalis ad Naturae Contemplationem Aristotelico-Cartesiana*⁸⁹ del 1654, Johannes de Raey⁹⁰, filosofo cartesiano all'università di Leida, riformulerà il metodo cartesiano della riduzione di un problema ad elementi noti (nature semplici, in termini di Descartes, *praecognita* o *axiomata* nei termini di De Raey) sotto forma di modelli mentali indotti dalla meccanica e dalla matematica. Estensione e moto locale, nozioni pure dell'intelletto, costituiscono per Descartes le precondizioni per la pensabilità di qualunque effetto visibile⁹¹. L'interessante operazione teorica di De Raey consiste nel formulare, a partire dal linguaggio della matematica, un modello esplicativo

⁸⁹ J. De Raey, *Clavis philosophiae naturalis sive introductio Aristotelico-cartesiana in contemplationem naturae*, Elsevier, Leiden, 1654.

⁹⁰ Johannes de Raey (1622-1702), uno dei più influenti rappresentanti del cartesianesimo Olandese presso l'Università di Leiden (1652) è uno dei filosofi che maggiormente tentarono la conciliazione fra le posizioni di Descartes e la tradizione. Per una bibliografia essenziale si vedano i lavori di: Th. Verbeek, *Les cartésiens face à Spinoza: le cas de Johannes de Raey*, in *L'hérésie spinoziste*, P. Cristofolini (ed.), Holland University Press, Maarssen, 1995, pp. 77-88 ; *Tradition and Novelty: Descartes and some Cartesians*, in *The rise of Modern Philosophy*, T. Sorrel (ed.), The Clarendon Press, Oxford, 1993, pp. 167-196; *Descartes and the Dutch*, cit.; C. L. Thijssen Schoutte, *Nederland Cartesianisme*, cit.; E. G. Ruestow, *Physics at 17th and 18th century Leiden*, Nijhoff, The Hague, 1973; T. A. McGahagan, *Cartesianism in the Netherlands. 1639-1676 The new Science and the Calvinist Counter-Reformation*, Phd Dissertation, University of Pennsylvania, 1976, esp. pp. 243-260. Sulla ricezione della filosofia cartesiana nei Paesi Bassi si veda: D. Des Chene, *Physiologia: Natural Philosophy in Late Aristotelian and Cartesian Thought*, Cornell University Press, Ithaca, 1957; J. A. Van Ruler, *The Crisis of Causality: Voetius and Descartes on God, Nature and Change*, Brill, Leiden, 1995; W. Van Bunge, *From Stevin to Spinoza: An Essay on Philosophy in the Seventeenth Century Dutch Republic*, Brill, Leiden, 2001, nonché la ricostruzione del cartesianesimo olandese operata da Th. Verbeek, *Spinoza's Theologico-political Treatise: exploring "the will of God"*, Aldershot, Hants, Ashgate, 2002, pp. 151-152.

⁹¹ *Le Monde*, cap. 6, A. T., XI, p. 56. «Distincte quidem imaginamur quantitatem illam geometricam seu extensionem, quae omnium corporum communis est, & sine ullasensibili forma consideratur: partibus autem hujusce quantitatis quaslibet magnitudines, figuras, situs, motus locales, motibusque istis quaslibet assignamus durationes. Et prout motus cum motibus, figuras cum figuris, magnitudines cum magnitudinibus varie componimus, hinc innumerae exurgunt horum ad se invicem habitudines proportionalesque. Et haec quidem sic in genere spectata nulli non nota esse possunt: Geometrae autem & mechanici, omnesque illi qui imaginationem rationemque suam horum contemplationi assuescunt, multa etiam particularia de figuris, motibus & numero praecipue ac magnitudine, quae purae matheseos objecta vocantur, attendendo ac meditando percipiunt». J. De Raey, *Clavis philosophiae* cit., p. 21.

adeguato ai fenomeni naturali ed intrinsecamente certo poiché basato sull'idea chiara e distinta⁹². Segue la netta separazione tra filosofia speculativa e filosofia pratica: la prima modellata sui costrutti puri della matematica, la seconda segnata dall'incertezza dei sensi che l'allontana inesorabilmente dalla scienza *contemplativa*⁹³. In questo senso De Raey, approfondendo il tentativo di conciliazione fra aristotelismo e cartesianesimo⁹⁴, radicalizza la deduzione *a priori* della fisica che Descartes aveva esposto nella sesta parte del *Discours* e riaffermato all'interno dei *Principia*. Del resto, nel testo del '44, i filosofi e i logici olandesi del tardo XVII secolo individueranno un vero e proprio manuale del cartesianesimo, offerto ad una pedagogia della conoscenza semplice e chiara, pronta per essere insegnata: una messa in forma scolastica del pensiero cartesiano da parte dello stesso Descartes, divenuto ormai negli anni '40 maestro della propria filosofia.

De Raey introduce, quindi, in perfetto accordo alla nozione cartesiana di modello, un elemento intermedio fra le nozioni prime e

⁹² J. De Raey, *Cogitata de interpretatione*, Wetstein, Amsterdam, 1962, p. 659.

⁹³ J. De Raey, *Clavis philosophiae*, cit., pp. 303, 338, 709, 713. L'ideale cartesiano d'una scienza *a priori* può esser dunque reso possibile solo sacrificando il lato propriamente sperimentale, ovvero misconoscendo il tentativo fondamentale compiuto da Descartes di applicare i modelli puri della conoscenza matematica ai domini della fisica. Nelle parole di McGahagan, «in distinguishing between the method of physics and the method of mathematics as sharply as he did, de Raey was implicitly questioning the cartesian ideal of an *a priori* physics, and making sense experience the origin rather than merely the test of physical theory». T. A. McGahagan, *Cartesianism in the Netherlands. 1639-1676*, cit., p. 256. Sul rapporto teoria / esperienza nel cartesianesimo presso l'Università di Leida, si veda anche il cap. 6 di E. G. Ruestow, *Physics at 17th and 18th century Leiden*, cit., esp. pp. 89-109 e Thijssen Schoute, *Nederland Cartesianisme*, cit., p. 131.

⁹⁴ Ricordiamo il ruolo dei logici olandesi della prima metà del XVII secolo, in particolare Keckermann, Timpler, Goclenius, Burgersdijk, nel processo di elaborazione della logica *vetus-nova* che accomunerà, fra gli altri, Heereboord (1614-1661), Clauberg (1622-1665), Witthichius (1625-1687). Soprattutto, l'*Institutionum logicarum libri duo* de Franciscus Burgersdijk (1590-1635) incontra grande favore nelle Università, a partire dal 1625, facendo coabitare i precetti ramisti della disposizione corretta degli argomenti e logica aristotelica. Cfr. P. Dibon, *Regards sur l'Hollande du siècle d'or*, cit., ; C. Vasoli, *La dialettica e la retorica dell'Umanesimo*, Feltrinelli, Milano, 1968 ; W. Risse, *Die Logik der Neuzeit, Band I*, Stuttgart, 1964; L. Jardine, *Humanism and Teaching of Logic*, in *The Cambridge History of Later Medieval Philosophy*, N. Kretzman, A. Kenny and J. Pinborg (ed.), Cambridge University Press, Cambridge, 1982, p. 797-807.

la complessità dell'esperienza, ovvero fra le leggi del moto che dipendono dall'idea di estensione e spiegano gli aspetti più generali del mondo – la gravità o la posizione e il movimento dei corpi celesti – e i fenomeni materiali più complessi (magnetismo, luce etc.). Tale principio è l'etere o materia sottile. Compatibile con i concetti di estensione e movimento, pur non essendo da essi direttamente dedotta⁹⁵, la nozione di materia sottile è la nuova figura che la modellistica cartesiana acquista nella fisica di De Raey. Un modello, la cui dipendenza dalla causa prima dell'estensione non è dimostrata⁹⁶ e che, soprattutto, De Raey, tiene separato da un uso propriamente strumentale, ovvero esplicativo dei fenomeni particolari⁹⁷, distinguendo nettamente tra filosofia «speculativa» e pratica scientifica⁹⁸.

⁹⁵ «Praecognita, quae ex naturae lumine [...] ad profundiore naturae contemplationem summe necessaria atque utilia demonstrare [...] quatuor tantum erunt. Primum de *natura seu essentia materiae* [...]. Secundum de *origine motus*; tertium de *propagatione motus*; quartum de *materia* quadam valde *subtili* ac mobili». J. De Raey, *Clavis philosophiae*, cit., p. 43. Si vedano anche le due lunghe sezioni che posizionano il concetto *a priori* di materia sottile [subtilis materia ex mundi origine, coelorumque motu ac fluiditate probatur *a priori*, *ibid.*, p. 138] all'incrocio fra i principi primi e l'analisi del mondo visibile: J. De Raey, *ibid.*, pp. 125-198.

⁹⁶ Non diversamente dal principio ipotetico cartesiano sulla natura corpuscolare della materia, la nozione di etere in De Raey, «although it is compatible with those of extension and local motion, is not deduced from those notions – indeed, its necessity is imposed by what we see to be the case in nature». Th. Verbeek, *Dutch Cartesian Philosophy*, in *A Companion to Early Modern Philosophy*, cit., p. 45.

⁹⁷ «In a strictly parallel way one could make philosophy profitable for medicine by introducing the *praecognitum* machine for the explanation of living bodies and ultimately for the cure of the sick – something which De Raey refuses to do. In sum, De Raey as yet does not realize the vast difference there is between what Descartes calls “going from the causes to the effects” and “going from the effects to the causes” (*Discourse*, VI, A. T. t. 6, p. 76; *Principles*, IV, 203-206, A. T., VIII, pp. 325-329) or what Hobbes (chapter 22) calls the science of nature, based on definitions, and the explanation of phenomena, based on probable suppositions (*De Corpore*, I, i)». Th. Verbeek, *ibid.*

⁹⁸ J. De Raey, *Clavis philosophiae*, cit., p. 46. Cfr. E. G. Ruestow *Physics at 17th and 18th century Leiden*, cit., pp. 99-106, che rileva in De Raey alcuni cenni al ruolo dell'esperienza (experimenta) in particolar modo riguardo al dibattito sulla natura del vuoto che coinvolge attorno al barometro torricelliano cartesiani e sperimentatori quali Roberval, Pascal, Huygens, etc. Le conclusioni di De Raey rilegano tuttavia all'esperimento un ruolo del tutto marginale nella ricerca della vera natura delle cose: «rare experiences were, for the most part, useless [...]. Thought of little use to philosophy, they were nonetheless a source of considerable

La specificità della scienza cartesiana rispetto allo schema tradizionale *quia / propter quid* rimanda come si è visto da un lato alla struttura comparativa del modello proposto dalle *Regulae*, un modello che recupera l'algebra antica contro l'ispirazione aristotelica di buona parte delle filosofie naturali del 1600, dall'altro al nuovo statuto che il lessico della dimostrazione scientifica assume nel *Discours*. Benché Descartes distingua l'espressione *a priori* come spiegazione secondo le cause⁹⁹ e l'*a posteriori* che segue dagli effetti, l'*a priori* cartesiano esprime un ordine di relazione che, pur nella conoscenza delle «cause attraverso gli effetti», non porta ad alcuna rottura con il procedimento deduttivo proprio in virtù della formalizzazione matematica e non logica della dimostrazione: «infatti alcuni [termini] sono senza dubbio più assoluti di altri da un punto di vista, ma, considerati da un altro, sono più relativi [...]. Abbiamo annoverato espressamente la causa e l'eugualianza tra i termini assoluti, sebbene la loro natura sia propriamente di relazione»¹⁰⁰.

L'oscillazione fra *a priori* e *a posteriori*, ovvero fra la dimostrazione degli effetti e la prova dei principi, è al centro sia dei testi che della corrispondenza cartesiana degli anni '30. Se per Descartes rimane centrale l'obiettivo di formulare una fisica modellata

plasure, for we were much affected by that which was new and unusual [*Clavis philosophiae*, cit., *Epistola dedicataria* e p. 191]». E. G. Ruestow, *ibid.*, p. 99.

⁹⁹ Da non confondere con l'uso kantiano del termine *a priori*. Nel diciassettesimo secolo, il termine identifica un movimento del ragionamento che deduce alcuni effetti dalle cause corrispondenti. Dopo Kant l'*a priori* indica un argomento o un concetto indipendente dall'esperienza.

¹⁰⁰ *Regulae VI*, A. T., X, p. 383. Descartes a Mersenne, 10 maggio, 1632, A. T., I, p. 250. La certezza offerta dall'equazione fra termini antecedenti e conseguenti rappresenta un punto condiviso sia dalla Scuola padovana che dalla riformulazione dei procedimenti induttivi da parte di Descartes. L'esempio della *demonstratio quia* in Zabarella è in questo senso un tentativo di fondere il criterio aristotelico della ricerca dei principi partendo da ciò che è più noto per noi, ovvero l'esperienza, e l'assunto geometrico della perfetta convertibilità fra i nessi della dimostrazione. Cfr. Zabarella, *Opera Logica*, cit., 830 C. Sull'uso della *resolutio* in fisica e sul possibile accostamento di tale procedura al metodo moderno di Descartes e Hobbes si vedano gli interventi di: P. Rossi, *Aristotelici e moderni: le ipotesi e la natura*, in *Aristotelismo Veneto e Scienza Moderna*, cit., pp. 125-155; W. F. Edwards, *Paduan Aristotelianism and the Origins of Modern Theories of Method*, *ibid.* pp. 205-221; E. Berti, *Differenza tra il metodo risolutivo degli aristotelici e la resolutio dei matematici*, *ibid.* pp. 435-459.

sui criteri della certezza matematica e delle sue dimostrazioni, d'altra parte, un controllo in fisica di tutte le variabili di un fenomeno compatibili alla sua causa rimanda ad un compito impossibile. Coloro che lo richiedono, afferma inequivocabilmente la lettera a Mersenne del 1638, «ne savent pas ce qu'ils demandent, ni ce qu'ils doivent demander»¹⁰¹.

Osservando che non si possono esigere dimostrazioni aventi il rigore e la certezza del sapere geometrico in materie come la fisica, Descartes ricorre dunque alla supposizione di regole e principi generali che non risultino in conflitto con l'esperienza. L'induzione dagli effetti alle cause è la modalità specifica della dimostrazione fisica; l'utilizzo dell'ipotesi risolve problemi particolari (lo studio dell'arcobaleno nelle *Météores*), o rappresenta le cause di un fenomeno (la natura corpuscolare della luce nella *Dioptrique*). I primi due capitoli della *Dioptrique* e gli otto *Discorsi* delle *Météores* costituiscono l'ambito su cui verificare tale confronto fra esperienza e modelli della spiegazione scientifica entro un contesto dominato dal criterio dell'evidenza, dalla rappresentazione del fenomeno a partire dalle nature più semplici (figura, moto, grandezza) e da un utilizzo dell'analogia che serve a presentare i risultati scientifici ottenuti.

¹⁰¹ Descartes a Mersenne, 27 maggio 1638, A. T., II, p. 144.

II

La meccanica della luce. La *Dioptrique* e le *Météores*

I) I modelli euristici della *Dioptrique*

Il *Discorso secondo* della *Dioptrique* si chiude con un apprezzamento del modello della *comparaison* nella scoperta scientifica che recupera la riflessione delle *Regulæ* sulla *comparatio*. Nel *Discorso secondo* Descartes chiama infatti esplicitamente in causa il criterio della *sufficienza* che aveva guidato, nella *Regula VII*, la scoperta degli elementi più semplici di un problema: analogamente allo schema comparativo offerto dalla *Regula XIV*, le acquisizioni scientifiche della *Dioptrique* sono legittimate dalla possibilità di riferire i vari fenomeni ad una stessa classe concettuale, stabilita a partire dall'idea chiara e distinta di estensione; il confronto della luce con altre grandezze eterogenee includerà soltanto i dati sufficienti alla spiegazione del fenomeno¹. «Come conclusione – afferma quindi Descartes – oso affermare che i tre paragoni (*comparaisons*) di cui mi sono appena servito sono così pertinenti che tutte le particolarità che vi si possono trovare si riportano a certe altre che si trovano in modo del tutto simile alla luce; ma in queste pagine mi sono preoccupato di spiegare soltanto quelle che maggiormente si adattano al mio argomento (*celles que j'ay mise ici suffiront pour expliquer tout ce qui sert a mon sujet*)»².

La lettera di Descartes a Jan-Baptiste Morin del settembre 1638 sottolinea che i confronti fra grandezze note e sconosciute «sont le moyen le plus propre pour expliquer la vérité des questions Physiques,

¹ «N'aydant en rien votre intelligence, ne seroyent que divertir votre attention». *Dioptrique*, II, A. T., VI, p. 104.

² *Dioptrique*, II, A. T., VI, p. 104.

que l'esprit humain puisse avoir»³ : *plus propres*, perché l'inferenza è legittimata da un'idea chiara e distinta di materia che consente lo stretto collegamento dei termini all'interno di una classe⁴. Per questo, dice Descartes nella *Dioptrique*, «stimo che due o tre paragoni che aiutino a concepirla [la natura della luce] nel modo che mi sembra più agevole, mi basteranno per spiegare tutte le proprietà che l'esperienza ci fa conoscere e per dedurre in seguito le altre che non possono con uguale facilità venir osservate»⁵.

In definitiva, la comparazione fra grandezze diverse è diretta a presentare le nozioni prime di un fenomeno («en représenter quelque idée par des comparaisons»)⁶: grazie ad essa, l'intelletto elabora modelli che, pur essendo derivati da contesti particolari, assumono valore di universalità in virtù della loro assunzione a paradigmi di confronto fra classi di fenomeni ordinate dall'idea chiara e distinta di estensione. Così, nella *Dioptrique*, tra il comportamento della luce e la sua riconducibilità al principio generale del moto locale Descartes inserisce analogie e similitudini di tipo meccanico che spiegano il fenomeno particolare rinvenendone la causa corpuscolare. L'adozione, nella *Dioptrique*, di modelli di spiegazione ritagliati sulla base di analogie e somiglianze con i fenomeni concreti è diretta a rispondere al problema posto dalla sesta parte del *Discours*: coprire la distanza fra i principi primi e la spiegazione dei fenomeni particolari. Nel *Discours*, infatti, per colmare il dislivello tra l'adozione di un modello di esplicazione causale e una molteplicità indefinita di effetti, Descartes suggeriva di ricorrere all'esperienza, verificando così a quali effetti particolari corrisponde la causa supposta spiegarli. Il termine supposizione (*suppositions*) può esser sostituito con principi (*principes*) mano a mano che si procede nella prova della causa («en ôtant seulement le nom de suppositions aux premières choses dont je parle, et ne les déclarant qu'à mesure que je donnerais quelques

³ Descartes a Morin, 12 settembre, 1638, A. T., II, p. 368.

⁴ Descartes a Morin, 13 luglio, 1638, A. T., II, p. 208.

⁵ *Dioptrique*, I, A. T., VI, p. 83.

⁶ *Dioptrique* I, II, A. T., VI, pp. 81-105; *Regulae VIII*, A. T., X, pp. 394-395.

raisons pour les prouver»⁷. E, tuttavia, Morin non esista a definire la prova cartesiana delle cause a partire dagli effetti «un cercle logique» :

Car vous étant réservé la connaissance des principes et notions universelles de votre Physique nouvelle (dont la publication est passionnément désirée de tous les doctes) et ne fondant vos raisonnements que sur des comparaisons, ou suppositions, de la vérité desquelles on est pour le moins en doute [...]. Et s'il est vrai que prouver des effets par une cause posée, puis prouver cette même cause par les mêmes effets, ne soit pas un cercle logique⁸.

La risposta di Descartes poggia sulla certezza che i modelli impiegati, a dispetto delle disanalogie di forma col fenomeno specifico della luce, possano ricondurre quest'ultimo alla semplicità dei suoi elementi costitutivi, ovvero ai rapporti fra grandezza e movimento:

Il est vrai que les comparaisons dont on a coutume d'user dans l'Ecole, expliquant les choses intellectuelles par les corporelles, les substances par les accidents ou du moins une qualité par une autre d'une autre espèce, n'instruisent que fort peu; mais parce qu'en celles dont je me sers, je ne compare que des mouvements à d'autres mouvements, ou des figures à d'autres figures etc., c'est-à-dire, que des choses qui à cause de leur petitesse ne peuvent tomber sous nos sens à d'autres qui y tombent, et qui d'ailleurs ne diffèrent pas davantage d'elles qu'un grand cercle diffère d'un petit cercle, je prétends qu'elles sont le moyen le plus propre, pour expliquer la vérité des questions Physiques, que l'esprit humain puisse avoir⁹.

Il fenomeno della luce, definito all'interno del *Traité de la Lumière* nei termini di una propagazione di moto attraverso la

⁷ Descartes a Vatier, 22 febbraio, 1638, A. T., I, p. 563.

⁸ Morin a Descartes, 22 febbraio, A. T., I, pp. 537-538. La stessa obiezione è applicata alla spiegazione della rifrazione ottica e del comportamento dei corpuscoli attraverso l'immagine di sferette di legno. *Ibid.*, pp. 542-546.

⁹ Descartes a Morin, 12 settembre, 1638, A. T., II, pp. 367-368.

materia più sottile, viene descritto nella *Dioptrique* attraverso il confronto con l'immagine di un bastone i cui estremi, a seguito dell'urto, sono mossi nello stesso istante:

Per trarre da ciò un paragone, desidero che pensiate che la luce, nei corpi che si dicono luminosi, altro non sia che un certo movimento o azione rapidissima e vivissima che si trasmette ai nostri occhi attraverso l'aria ed altri corpi trasparenti, nello stesso modo in cui il movimento o la resistenza dei corpi, che incontra quel cieco, si trasmetterebbe alla sua mano attraverso il bastone¹⁰.

Nell'esempio della *Dioptrique* assume importanza il valore che la *Regula VII* aveva attribuito all'enumerazione di tutte le potenze naturali rispetto alle quali è possibile determinare per analogia l'azione della luce¹¹. La *comparatio* delle *Regulæ* definiva infatti la propagazione istantanea della luce per *esclusione* rispetto ai quei corpi che non «possono giungere da un luogo a un altro in un solo istante (una pietra, ad esempio)»¹², e per *confronto* a quel corpo, il bastone, le cui parti sono caratterizzate da un'analogia trasmissione istantanea di moto. Descartes, riconoscendo nel *Discours* che la varietà dei fenomeni naturali è tale da implicare la possibilità di differenti modalità di implicazione fra cause ed effetti, ed avendo già realizzato, nelle *Regulæ*, la consapevolezza di non poter dedurre la natura della luce dalla semplice intuizione di una potenza naturale, inferisce lo statuto delle entità più semplici che compongono il fenomeno, ossia

¹⁰ *Dioptrique*, I, A. T., VI, p. 84.

¹¹ *Regulæ VIII*, A. T., X, pp. 388-393. Da non confondere con l'aspetto puramente empirico o immaginativo dell'analogia, più volte criticato da Descartes nelle *Regulæ*: vedi *Regula XII*, A. T., X, p. 412: «neque hoc per analogiam dici putandum est; sed plane eodem modo concipiendum figuram externam corporis sentientis realiter mutari ab objecto» e *Regulæ XIV*, p. 441. La traduzione di J.-L. Marion, nella *Regula VIII*, del termine *imitationem* con *comparison* (*Règles*, cit., p. 28; A. T., X, p. 395], ci sembra appropriata a definire l'*imitatio* come inferenza dal *particolare al particolare* che supera tanto la semplice raccolta empirica, quanto la sua indefinita generalizzazione, per guardare, piuttosto, nella *Dioptrique*, ad un uso della *comparatio* come ausilio alla presentazione dei risultati scientifici, ottenuti a partire dalla chiarezza e distinzione delle nature più semplici: *Dioptrique*, I, II, A. T., VI, pp. 83-84, 86, 87, 93, 104, 114.

¹² *Regulæ IX*, A. T., X, p. 402.

determinate particelle materiali dotate di una certa forma, grandezza e moto, da modelli analogici tratti dall'esperienza. L'esperienza interviene così a restringere l'ambito delle possibilità esplicative di un fenomeno ponendo limiti e determinazioni precise al quadro teorico della fisica più generale.

In questo senso, se in accordo all'interpretazione di Sabra, dimostrazione matematica e fisica possono essere giustamente equiparate fintantoché «le cause prime siano state poste»¹³, ciò non toglie l'aporeticità della connessione, in fisica, fra principi primi e un vasto numero di effetti *possibili*¹⁴. Del resto, le esperienze che Descartes suggerisce di compiere non sono indiscriminate: da un lato, egli prescrive di servirsi di quelle «che si presentano da sé ai nostri sensi e che non si possono ignorare, sol che vi si presti un po' d'attenzione, invece di cercarne altre più rare e studiate»¹⁵. Dall'altro, qualunque comparazione fra grandezze poggia sul concetto chiaro e distinto di estensione che definisce la loro natura comune. Gli effetti possono essere conosciuti soltanto in base ad una previa conoscenza delle cause: i principi del mondo fisico assolvono in questo senso la funzione di strumenti concettuali per l'organizzazione stessa dei modelli sperimentali sui quali andranno verificate le ipotesi. Per questo, secondo Descartes, l'esperienza non offre semplici generalizzazioni, formulate a partire dal confronto tra i fenomeni, bensì è un ausilio della ragione nel conseguimento delle cause, ovvero dei modelli strutturali di spiegazione delle cose. Una volta acquisiti i principi, ci si può persino risparmiare la verifica sperimentale: è

¹³ A. I. Sabra, *Theories of Light from Descartes to Newton*, cit., p. 38.

¹⁴ Ancora, nelle parole di Sabra: «this difficulty brings out a distinction between mathematical deduction, which has to do with necessary connections, and the kind of deduction which Descartes here had in mind. In a mathematical system the same conclusion might be deducible from either of the two different groups of axioms belonging to the same system [...]. Thus again the problem is for Descartes that of bridging the gap between possibility and actuality, between possible causes and the *true* cause – In ogni caso, ed questo è il senso ultimo del carattere matematico della dimostrazione cartesiana –, the terms in which the problems would be solved and the principles, or first causes to which all explanations must ultimately be reduced are themselves determined beforehand». *ibid.*, pp. 39-41.

¹⁵ *Discours*, VI, A. T., VI, p. 63.

quanto avviene, ad esempio, nell'osservazione sulla corona delle candele che Descartes descrive a Mersenne in una lettera del 1629¹⁶.

In rapporto all'utilizzo dei modelli meccanici nella scienza cartesiana, Sabra ha osservato che la struttura della teoria fisica cartesiana è principalmente di tipo deduttivistico, ma che non tutte le sue dimostrazioni sono inferite deduttivamente: in particolare quelle legate all'aspetto non matematico ed empirico dell'analogia¹⁷. L'assunzione di modelli esplicativi basati su analogie tratte dall'esperienza deve esser vista in realtà come parte integrante della deduzione, perché inscritta, come si è detto, nella premessa dei principi e nell'istanza dell'ordine. Il modello corpuscolare, ad esempio, determina la spiegazione dei fenomeni più particolari che i principi primi lasciano indecisa, ma la sua adozione non può essere sciolta dall'articolazione generale del sistema. Non si spiegherebbe altrimenti l'affermazione di Descartes, contenuta nella lettera a Vatier del 1638, in merito all'inscindibilità dell'esperienza dai principi. Alla critica di Vatier circa lo scambio continuo, nella fisica cartesiana, fra certezza intuitiva delle cause e prova empirica, quest'ultima perfettamente deducibile, nelle parole della sesta parte del *Discours*, «dalle verità prime»¹⁸, Descartes risponde in maniera duplice: da un lato con l'intenzione di offrire una dimostrazione *a posteriori* nelle questioni di ottica (poiché quella *a priori* richiederebbe una trattazione completa della fisica)¹⁹; dall'altro con la dichiarazione di aver dimostrato «les réfractions Géométriquement et *a priori* en ma *Dioptrique*»²⁰. È pur vero che la replica a Mersenne, relativa all'uso di

¹⁶ «Je m'émancipe beaucoup de parler d'une chose que je n'ai point vue devant ceux qui en ont l'expérience, mais vous m'obligerez de me mander si je me trompe [...] car si je dis vrai, vous verrez à même temps que les deux cercles rouges». Descartes a Mersenne, 18 dicembre, 1629, A. T., I, p. 98.

¹⁷ A. I. Sabra, *Theories of Light from Descartes to Newton*, cit., pp. 28-29: «some of Descartes' statements may give one to understand that he believed his use of comparisons in the *Dioptric* to be purely accidental and that therefore they do not represent a significant feature of what, in his view, constituted a perfected physical explanation [...]. Descartes recognized that this mode of explanation does not attain the certainty of the principles under whose auspices it is performed».

¹⁸ *Discours*, VI, A. T., VI, p. 76.

¹⁹ Descartes a Vatier, 22 febbraio, 1638, A. T., I, p. 563.

²⁰ Descartes a Mersenne, 1 marzo, 1638, A. T., II, p. 31.

modelli e analogie nella *Dioptrique*, ripiega nelle precedenti posizioni espresse a Vatier: «exiger de moi des démonstrations Géométriques en une matière qui dépend de la Physique, c'est vouloir que je fasse des choses impossibles»²¹; tuttavia, non va dimenticato il ruolo che Descartes assegna all'esperienza: essa «è tanto più necessaria quanto più si progredisce nella conoscenza» per il semplice fatto di restringere il campo delle differenti possibilità esplicative dei fenomeni. L'esperienza funge così da ausilio nell'organizzazione delle condizioni certe della ricerca scientifica: condizioni basate su una certezza non fattuale, ma apodittica, perché stabilite dal criterio dell'ordine e dalla chiarezza e distinzione che contraddistinguono le cause.

È in questo nesso tra i fenomeni particolari dell'esperienza e la delineazione delle loro cause, istituite sulla conoscenza delle nature intellettuali più semplici che spiegano un problema, che Descartes elabora le premesse per la spiegazione della luce all'interno della *Dioptrique*. In essa, i fenomeni della riflessione e della rifrazione sono presentati nei termini di un modello meccanico, ricavato dal comportamento di una palla che al momento dell'incontro con una superficie rigida, non potendo avanzare nella direzione del proprio moto, è costretta a deviare secondo uno schema geometrico che definisce l'equivalenza fra l'angolo di incidenza e l'angolo di riflessione²².

Descartes assimila le leggi del comportamento della luce alle stesse leggi che governano il moto degli oggetti fisici dell'esperienza ordinaria²³. Ma il modello meccanico del moto della palla non assolve una funzione di similitudine fra termini empirici; esso è un paradigma di analisi e di confronto fra le componenti matematiche della riflessione e della rifrazione: in particolare, il maggiore o minore

²¹ Descartes a Mersenne, 27 maggio, 1638, A. T., II, p. 142.

²² *Dioptrique*, II, A. T., VI, p. 93sgg.

²³ «L'action de la lumière suit en ceci les mêmes lois que le mouvement de cette balle».

angolo di inclinazione rispetto al quale i raggi risultano deviati nel mezzo che li recepisce²⁴.

Per dimostrare che la luce emanata da un corpo si propaga in tutte le direzioni, la *Dioptrique* presenta quindi il fenomeno della pressione ricorrendo all'analogia con il movimento meccanico del moto che si applica a dell'uva premuta in un tino (fig. 1),:

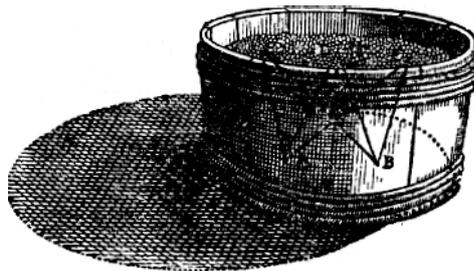


Figura 1

Immaginate un tino in tempo di vendemmia, tutto pieno d'uva semipigiata, sul fondo del quale siano stati praticati uno o due fori, come *A* e *B*, per esempio, attraverso i quali possa scorrere il dolce vino che contiene. Poi pensate che, non essendoci assolutamente vuoto in natura, come quasi tutti i filosofi riconoscono, mentre vi sono molti pori in tutti i corpi che vediamo d'intorno, come l'esperienza può mostrare molto chiaramente, è necessario che questi pori siano riempiti da qualche materia sottilissima e fluidissima, che si estende senza interruzione dagli astri fino a noi²⁵.

Il percorso più semplice, da verso *A* e verso *B* nell'esempio del mosto è quello retto. Il fluido nel punto *C* dovrà quindi procedere in

²⁴ *Dioptrique*, II, A. T., VI, p. 100sgg.

²⁵ *Dioptrique*, I, A. T., VI, pp. 86-87. Il modello del tino e della pressione esercitata alla sua base da diversi grappoli d'uva sarà ripreso nella corrispondenza con Ciermans per ribadire la teoria del movimento della materia celeste e la distinzione fra moto e inclinazione al moto: «dum vas uvis plenum proponit (fol. 6 Diopt.), haec corpuscula ultro citroque sine offensa commear quod illis, cum quasi materiae coelestis sint, concedere insolens non est». Ciermans a Descartes, marzo, 1638, A. T., II, p. 58-59. Cfr. anche Descartes a Ciermans, 23 marzo, 1638, A. T., II, p. 72: «vinum, quod est ad *C*, tendere versus *B* ideo impedire quominus illud, quod est ad *E*, tendat versus *A*, singulasque ejus particulas propendere, ut descendant versus plurimas partes diversas, etsi non risi unam versus eodem tempore possint moveri. Monui autem variis in locis me per lumen non tam motum ipsum, quam inclinationem sive propensionem ad motum intelligere».

linea retta verso *A* o *B*, indipendentemente da quale sia il comportamento reale del succo d'uva al di fuori dalla geometria del problema: «considerando – infatti – che non è tanto il movimento, quanto l'azione dei corpi luminosi ciò che si deve ritenere come loro luce, dovete concludere che i raggi di questa luce altro non sono che le linee secondo cui questa azione tende»²⁶.

Che il numero delle analogie impiegate sia limitato (bastone, tino, pallina) e che le dimostrazioni proposte siano puramente ipotetiche non creano a Descartes alcun problema in merito alla certezza intuitiva delle leggi (moto locale e tendenza al moto), rispetto alle quali la comparazione svolge una funzione puramente illustrativa²⁷. La relazione di isomorfismo²⁸ fra modello mentale e fenomeno da spiegare è ispirata dalla semplice «considerazione dei diversi rapporti o proporzioni fra le cose». In questo senso, deduzione ed esperienza sono componenti che si integrano coerentemente all'interno della fisica cartesiana. Descartes scopre nel modello delle interazioni meccaniche tra gli oggetti fisici la possibilità di un nuovo linguaggio non più fondato su ragioni di somiglianza, ma su un sistema di differenze che strutturalmente corrispondono alle differenze fra le proprietà dei corpi. Gli esempi del bastone e del tino non esprimono qualità empiriche, ma un contesto di interazioni meccaniche, stabilite a partire dall'idea chiara e distinta dell'estensione materiale. Alla teoria tradizionale delle specie

²⁶ *Dioptrique*, I, A. T., VI, p. 88.

²⁷ Cassirer parla in tal senso di una sottodeterminazione logica della struttura della cosa all'interno della mente: cfr. E. Cassirer, *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie, Berlin*, Bruno Cassirer, 1906, p. 402. Cfr. anche A. I. Sabra, *Theories of Light from Descartes to Newton*, cit., p. 44; G. Buchdahl, *Metaphysics and Philosophy of science*, cit., pp. 118segg.

²⁸ Nei termini di R. Harré (*The Philosophy of Science*, Routledge, London, 1972, pp. 111-112): «the proper use of models is the basis of scientific knowledge [...] Our lack of knowledge of the real mechanisms at work in nature is supplemented by our imagining something analogous to mechanisms which we know, which could perhaps exist in nature and be responsible for the phenomena we observe». Cfr. anche H. J. Hoenen, *Descartes's Mechanicism*, in *Descartes: A Collection of Critical Essays*, cit., pp. 353-368; A. Kenny, *Descartes, A Study of his Philosophy*, Random House, New York, 1968; G. Rodis-Lewis, *Limitations of the mechanical model*, in *Critical and Interpretative Essays*, cit., pp. 152-170.

intenzionali Descartes sostituisce così un nuovo linguaggio della comparazione fra grandezze capace di tradurre le proprietà della realtà esterna in un ordine di rapporti istituito dalla ragione e confermato dall'esperienza. Un ordine che non presenta soltanto le conoscenze scientifiche acquisite, come nel caso dello studio della luce, ma promuove anche, come vedremo nelle prossime sezioni, una nuova classificazione delle meteore, conseguita per enumerazione ordinata e completa, nonché l'analisi dei colori prodotti dall'arcobaleno, effettuata attraverso l'impiego dell'ipotesi e dell'esperimento.

II) Riflessione e rifrazione nella *Dioptrique*

Il percorso che porta alla scoperta della legge di rifrazione e al suo utilizzo in una teoria meccanica del movimento e della materia contraddistinguono la ricerca scientifica cartesiana fra la metà degli anni '20 e la prima metà degli anni '30. Il lavoro sull'ottica convoca una riflessione più ampia sul metodo che le *Regulæ* avevano esteso ad una serie di ricerche (medi proporzionali, anaclastica, teoria dei colori), presentate nell'opera incompiuta del 1628 come applicazioni esemplari dell'ordine.

Con l'elaborazione della fisica generale degli anni '30, l'interrogazione cartesiana si sposta sulla possibilità di utilizzare il modello dell'ordine nella ricostruzione induttiva di una teoria della materia che dipende dai principi primi dell'estensione e del moto¹ culminando in una teoria della luce² e in una cosmologia generale³. Le ricerche fisiche parallele al *Traité de la Lumière*⁴, includono le acquisizioni scientifiche sulle leggi di riflessione e rifrazione della luce che la *Dioptrique* presenta attraverso l'uso dell'analogia o *comparaison*⁵. Nella *Dioptrique*, si tratta di presentare le leggi che governano la riflessione e la rifrazione della luce. Per spiegare la riflessione Descartes si serve dell'analogia con una palla che rimbalza su una superficie perfettamente rigida. La dimostrazione non si fonda

¹ *Le Monde*, cap. 4-5, A. T., XI, pp. 17-31.

² *Le Monde* cap. 6-8, A. T., XI, pp. 32-56.

³ *Le Monde* cap. 8-15, A. T., XI, pp. 57-118.

⁴ Tali ricerche, antecedenti, la pubblicazione degli *Essais*, spaziano dal problema della caduta dei corpi, destinato allo studio più generale sulla natura della pesantezza [cfr. Descartes a Mersenne, 17 maggio, 1638, A. T., II, p. 266], all'osservazione della corona di luce nella candela, degna d'essere citata, come scrive Descartes a Mersenne, «dans mes *Météores*», Descartes a Mersenne, 25 febbraio, 1630, A. T., I, p. 123; 4 marzo, 1630, A. T., I, p. 126; 19 maggio, 1635, A. T., I, pp. 318-320. L'indagine sui *parheli*, o falsi soli, condurrà a sua volta ad un «examen par ordre de toutes les *Météores* et de toutes les phénomènes sublunaires». Descartes a Mersenne, 8 ottobre, 1629, A. T., I, pp. 22-23. Il rapporto fra angolo d'incidenza e di rifrazione si rivelerà di massima importanza per la *Dioptrique*: «la première partie de ma *Dioptrique* ne contiendra autre chose que cela seul». Descartes a Mersenne, giugno 1632, A. T., I, p. 255.

⁵ *Dioptrique*, I, II, A. T., VI, pp. 81-105.

su una semplice astrazione geometrica, bensì sul trasferimento, per analogia, della natura fisica dell'oggetto da studiare – la luce – nel fenomeno assunto a modello: la palla che rimbalza⁶. Tendenza al movimento e cause che ne provocano la continuazione sono esplicitamente definiti da Descartes come due diversi fattori del moto: il primo non necessita della resistenza del mezzo in cui avviene la collisione, né della figura e del peso del corpo che colpisce la superficie, trattando la pura dimensione *direzionale* del moto⁷; il secondo ha a che vedere invece con l'aspetto *quantitativo* della forza (fig. 1):

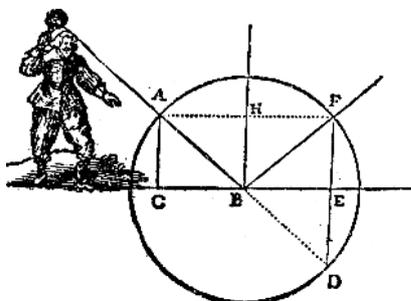


Figura 1

⁶ L'analogia del rimbalzo di una pallina su una superficie rigida e del recipiente riempito con del mosto nel *Discorso primo* della *Dioptrique* rende conto del rapporto complementare fra i due tipi di azione fisica [cfr. *Dioptrique*, I, A. T., VI, pp. 83-84], eludendo tuttavia l'origine della tendenza al moto: «sans nous enquerir en aucune façon de la puissance qui continue de la mouvoir, après qu'elle n'est plus touchée de la raquette». *Dioptrique*, II, A. T., VI, pp. 93-94. L'attenzione alle *componenti* del moto più che alle *cause* della sua origine era ribadita anche nel *Traité de la Lumière*: «et ainsi tout action, c'est-à-dire l'inclination qu'elles ont à se mouvoir, est differente de tout mouvement [...]. Car pour le concevoir, il suffit de penser qu'un corps est en action pour se mouvoir vers un certain côté, ce qui se trouve en chacun des instants qui peuvent être déterminés pendant le temps qu'il se meut. Au lieu que, pour concevoir le mouvement circulaire, ou quelque autre que ce puisse être, il faut au moins considérer deux de ses instants, ou plutôt deux de ses parties, et le rapport qui est entre elles». *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, pp. 44-45.

⁷ «Car il n'est pas ici question d'y regarder de si près [Descartes si riferisce ai modi della pesanteur, grosseur, figure et puissance] et il n'y a aucune de ces choses qui ait lieu en l'action de la lumière à laquelle ceci se doit rapporter. Seulement faut-il remarquer que la puissance, telle quelle soit, qui fait continuer le mouvement de cette balle, est différente de celle qui la détermine à se mouvoir plutôt vers un côté que vers un autre». *Dioptrique*, II, A. T., VI, p. 94.

Bisogna soltanto notare che, qualunque sia la forza che fa continuare il moto della palla, essa è diversa dalla forza che ne determina il movimento in una direzione piuttosto che in un'altra, come si comprende con gran facilità dal fatto che il movimento della palla dipende dalla forza che la racchetta le ha impresso e che questa stessa forza avrebbe potuto costringerla a muoversi in tutt'altra direzione con la stessa facilità con cui la sospinge verso *B*, mentre è la posizione della racchetta che fa muovere la palla proprio verso *B* e che avrebbe ugualmente potuto determinarla, anche se a spingerla fosse stata un'altra forza. Già questo dimostra che non è impossibile che questa palla sia deviata dall'incontro con la terra e che la sua determinazione a tendere verso *B* sia così mutata, senza che per questo vi sia nulla di cambiato nella forza che la fa muovere, giacché si tratta di due cose diverse⁸.

In accordo alla prima e alla terza legge del moto esposte nel *Traité de la Lumière*, la *force de se mouvoir* di un corpo è distinta dalla direzione del moto. Nel fenomeno della riflessione, la palla conserva la forza di movimento impartita dalla racchetta a causa dell'anelasticità della superficie incontrata. Questo aspetto costante

⁸ *Dioptrique*, II, A. T., VI, p. 94. Sulle diverse interpretazioni del concetto di *determinazione al moto* si veda: R. S. Westfall, *The construction of modern science: mechanisms and mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1977, pp. 52-55 e P. Mouy, *Le développement de la physique cartésienne*, cit., p. 55. A. I. Sabra che separa i due aspetti del moto presi in esame nella riflessione: «For Descartes, the determination to move in this or that direction is *not* as Fermat understood it, identical with direction (this determination cannot be without some speed). This means that when the speed of a moving body is altered, its determination is also altered, even though the body still moves in the same direction. If, for example, the canvas diminishes the speed of the perpendicularly falling ball, as in the case envisaged by Fermat, it thereby diminishes the determination of the ball to move in the perpendicular direction, even though the motion is continued in the same line». *Theories of Light from Descartes to Newton*, cit., p. 120. Si veda anche l'analisi di A. M. Smith, per il quale la *determinazione al movimento* cartesiana implica «a distinction between the projectile's (or light's) absolute force or speed (which is represented by the actual trajectory) and its force or speed relative to horizontal and vertical. Thus, "determination" seems to be a combination of force or speed and direction; and, according to the breakdown by components, it is nothing more than a projection of the absolute speed along the horizontal and vertical». *Descartes' Theory of Light and Refraction: A Discourse on Method*, The American Philosophical Society, Philadelphia, 1987, nota 30, p. 22

della forza è rappresentato dallo schema della figura 2⁹. Il diagramma geometrico della *Dioptrique* visualizza così l'impatto della luce alla superficie e la sua riflessione.

Nel caso della rifrazione Descartes procede in maniera analoga. Egli considera il movimento di una palla che perde parte della velocità al momento dell'impatto con la superficie rifrangente (fig. 1):

Consideriamo anche che, delle due parti di cui si può pensare che questa determinazione sia composta, solo quella che faceva tendere la palla dall'alto in basso può in qualche modo esser mutata dall'incontro con la tela, mentre quella che la sospingeva verso destra deve sempre rimanere la stessa, perché in questo senso la tela non le offre nessuna opposizione¹⁰.

Il movimento è così il risultato di due componenti: una «orizzontale», che rimane inalterata; una «verso il basso», che è l'unica a variare. I raggi di luce risultano deviati maggiormente nell'aria che nell'acqua, maggiormente nell'acqua che nel vetro, diversamente dal comportamento della palla che tende ad un'inclinazione maggiore nell'acqua che nell'aria e che, d'altra parte, non può attraversare il vetro, a differenza della luce, la quale non è altro che un movimento propagato attraverso le parti di una materia

⁹ Questa, l'interpretazione di Sabra, secondo il quale «the velocity of light is a property of the medium it is traversing; in other words, the velocity is independent of the angle at which the light enters the refracting medium –. Parte della critica [Cfr. E. Mach, *Principles of Physical Optics*, London, 1926, pp. 32-33; J. F. Scott, *The scientific work of Rene Descartes (1596-1650)*, Taylor and Francis, London, 1952, pp. 34-35; V. Ronchi, *Storia della luce: da Euclide a Einstein*, Laterza, Roma, 1983, p. 115; C. B. Boyer, *The Rainbow: From Myth to Mathematics*, Thomas Yesseloff, New York, 1959, p. 203], continua Sabra – mistakenly attribute to Descartes the assumption that the perpendicular velocity is altered in a constant ratio. Their version of Descartes' proof is therefore incorrect». *Theories of Light from Descartes to Newton*, cit., p. 110. Si veda *Dioptrique*, II, A. T., VI, pp. 95-96, nonché l'analisi della pressione nei primi esercizi di Descartes in fisica nel 1619: «Duo enim diversa sunt in ratione ponderum, et valde distinguenda, nempe propensionem ad motum et motum ipsum; in propensione enim ad motum, nulla habenda est ratio celeritatis, sed tantum in motu ipso. Corpora enim qui deorsum tendunt, non propendent ut hac vel illa». *Physico-mathematica*, A. T., X, pp. 72-73.

¹⁰ *Discours*, II, A. T., VI, pp. 95-96.

sottile che penetra nei corpi trasparenti. Al contrario della palla, la luce sarà quindi maggiormente ostacolata dalle particelle dell'aria che, non essendo saldamente connesse fra loro, le oppongono maggior resistenza rispetto a quella delle particelle più rigide del vetro o dall'acqua¹¹.

Descartes descrive quindi il cambiamento di direzione del raggio rispetto alla linea perpendicolare alla superficie dopo l'impatto con l'acqua e suppone che l'urto acceleri il moto della luce in modo tale da percorrere in due momenti la distanza che prima percorreva in tre: «la forza di movimento aumenta di un terzo e fa così in modo che quella percorra in due momenti tanta strada quanta prima ne percorreva in tre»¹². L'aumento della velocità al contatto con la superficie è il risultato della maggiore facilità di propagazione della luce in un mezzo più denso, come se «incontrasse nel punto *B* un corpo di tal natura da poter attraversare la superficie *CBE* un terzo più agevolmente di quel che farebbe attraverso l'aria»¹³. Ne consegue che la luce non è «altro che un certo movimento o un'azione ricevuta da una certa materia sottilissima che riempie i pori degli altri corpi». Per analogia, il moto della palla, che rappresenta quello della luce, «perde tanto più movimento urtando un corpo molle che uno duro e meglio rotola su una tavola levigata che su un tappeto»¹⁴.

La convinzione di Descartes che la luce passi più velocemente in un mezzo più denso non riflette alcuna dimostrazione matematica, bensì è il frutto di una supposizione, dedotta dalla constatazione «evidente» dell'assenza di vuoto in materia, ed esemplificata dall'analogia con il diverso comportamento della palla. La *Dioptrique* formula quindi le proprie leggi attraverso un'analogia (la palla e il suo rimbalzo) che mette in relazione il problema da risolvere (la natura istantanea dell'azione della luce) con quantità già note (il rapporto fra gli angoli di riflessione e di rifrazione) e le leggi più generali del

¹¹ *Dioptrique*, II, A. T., VI, p. 100sgg.

¹² *Dioptrique*, I, A. T., VI, p. 100.

¹³ *Dioptrique*, I, A. T., VI, p. 100.

¹⁴ *Dioptrique*, I, A. T., VI, p. 103.

moto. Quest'ultime, tradotte nel *Traité de la Lumière* in una spiegazione micro-meccanica di eventi dinamici – collisione, riflessione, rifrazione –, sono integrate dalla *Dioptrique* del '37 con una nuova modellizzazione della conoscenza scientifica che tuttavia mantiene celata la questione dei fondamenti.

III) Enumerazione, analisi, riduzione alla classe ed esperimento nelle *Météores*

Le *Météores* rappresentano l'esempio più completo del metodo, come afferma Descartes a Vatier¹, non solo perché includono nello studio dell'arcobaleno una teoria dell'esperimento che la determinazione della linea anaclastica all'interno delle *Regulae* aveva lasciato in ombra, ma soprattutto perché arricchiscono di nuovi obiettivi l'uso dell'enumerazione. Nelle prime esperienze ottiche degli anni '20, l'*enumeratio sive inductio* aveva consentito di confrontare il fenomeno della luce con altre potenze naturali. Nel *Traité de la Lumière*, la nozione di *tendenza al moto* della luce completa la meccanica circolatoria dell'universo, ricostruita induttivamente nei primi capitoli a partire da una teoria degli elementi. Le *Météores* presentano i principali fenomeni aereiformi partendo dalla stessa unità minima – il corpuscolo – che aveva spiegato nel *Traité de la Lumière* la configurazione degli astri e dei pianeti.

Le intenzioni dell'opera sono chiare fin dal *Discorso primo*: si tratta anzitutto di depurare la classificazione dei fenomeni naturali da una retorica dell'ammirazione², comune a pressoché tutte le

¹ Descartes a Vatier, 22 febbraio 1638, A. T., I, p. 559.

² La retorica dello stupore nei confronti di ciò che accade nel cielo ricorre in gran parte della trattatistica cinquecentesca e seicentesca, dai *Commentarii in libros Meteororum Aristotelis*, cit., all'eredità della tradizione scolastica negli studi d'un Marco Antonio Dominis, *De radiis uisu et lucis in uitris perspectiuis et Iride tractatus*, Venetiis, 1611, o nel *De Iride* di Mersenne in *Quaestiones in Genesim*, cit., pp. 123-132 e nella sua *Correspondance*, cit., I, pp. 237-242. Sul significato del termine *stupore* [admiration] e la sua ricostruzione storica si veda la ripresa del termine da parte dei Conimbricenses suggerita da Lojacono in una nota al secondo volume della sua edizione delle *Opere scientifiche* cartesiane: «Se accanto a stupore stimiamo giusto conservare anche il significato di ammirazione è perché Descartes intende mantenere sia l'inizio del trattato dei *Conimbricenses*, che così introducevano il loro commento: “Le cose che appaiono in alto suscitano grande ammirazione in chi le contempla” (*Commentarii in libros Meteororum Aristotelis...*, cit., *Proemium*), che il tono, non sappiamo bene se ironico o meno, di tutta l'immensa letteratura poetica che dal Pontano (*Meteororum liber unus, Opera*, Venetiis, 1505) ai suoi tempi si era ispirata ai fenomeni sublunari immaginando di poter unire scienza e letteratura. Degli innumerevoli poemi apparsi nel XVI secolo sulle meteore ricordiamo *L'amour des amours*, Lyon,

trattazioni, antiche e moderne. Il giudizio di Descartes, testimoniato anche dalla lettera a Noël³, è netto:

Se riuscirò qui a spiegare la natura delle nubi in tal modo che non rimanga più nessun motivo di stupore né per quello che si vede, né per ciò che ne consegue, si crederà facilmente che sia possibile, nello stesso modo, scoprire le cause di tutto quello che v'è di più ammirabile al di sopra della Terra⁴.

Nelle *Météores* Descartes rovescia così l'ordine scolastico degli elementi – fuoco, aria, acqua, terra e le loro corrispondenti meteore ignee, acquee, terrestri, apparenti⁵ – in un ordine meccanico di cause ed effetti che risale, grado per grado, la catena dei fenomeni. In questo senso, il confronto di Descartes con la meteorologia tradizionale rimanda ad uno degli argomenti più classici di filosofia naturale, che Aristotele aveva spiegato sulla base delle quattro qualità primarie, descritte nel libro IV della sua *Meteorologia*, e sulla distinzione fra cause materiali, efficienti, finali⁶.

1555, di J. Peletier, buon poeta e notevole algebrista, *Le Premier livre des Météores*, Paris, 1567, di Antoine de Baïf, che scrive “ascolta le ragioni per non stupirtene” (v. 469) e i *Trois livres des Météores*, Paris, 1584, di I. Habert». *Opere Scientifiche II*, cit., nota 1 alle *Meteore*, I, in p. 360. Per una bibliografia sul fenomeno cfr. A. M. Schmidt, *La Poésie scientifique en France au 16^o siècle*, Paris, 1938, e il saggio di Guy Demerson, *Météorologie et Poésie française de la Renaissance*, in *French Renaissance Studies 1540-70*, Edinburgh, 1976, pp. 81-94.

³ Descartes a Noël, ottobre, 1637, A. T., I, p. 455 : «Au reste, il n'y a personne qui me semble avoir plus d'intérêt à examiner ce livre que ceux de votre compagnie; car je vois déjà que tant de personnes se portent à croire ce qu'il contient que (particulièrement pour les *Météores*) je ne sais par de quelle façon ils pourront dorénavant les enseigner comme ils font tous les ans en la plupart de vos collèges, s'ils ne réfutent ce que j'en ai écrit ou s'ils ne le suivent».

⁴ *Météores*, I, A. T., VI, p. 231.

⁵ La differenza principale fra la manualistica antica e l'ordine cartesiano è di metodo prima ancora che relativa alla scelta dei temi: la corenza della successione fra gli argomenti riflette in Descartes una continuità fisica necessaria di cause ed effetti. Per un confronto fra i due approcci si veda lo studio di É Gilson, *Météores Cartésiens et Météores Scolastiques*, in *Études sur le rôle de la pensée médiévale dans la formation du système cartésien*, cit., in particolare pp. 105-108, dove lo studioso francese riporta i rispettivi indici delle *Météores* di Descartes e dei *Commentarii in Libros Meteororum Aristotelis Stagyrtae*, Conimbricæ, 1598.

⁶ Aristotele, *Meteorologia*, IV, cap. I, 378b 10-25, L. Pepe (ed.), Bompiani, Milano, 2003, p. 165: «quando furono da noi definite le quattro cause degli elementi, da esse, prese in coppie, risultarono anche i quattro elementi; delle cause due sono attive, il

In secondo luogo, Descartes applica la teoria dell'enumerazione ad una pratica sperimentale che, in conformità alla sesta parte del *Discours*⁷, ha il compito di tradurre in certezza deduttiva la connessione induttiva tra causa ed effetto⁸. Come molti commentatori non hanno mancato di sottolineare, confrontando *Regulae* ed *Essais*⁹, l'analisi è iscritta in un'induzione che raggruppa l'insieme degli elementi da conoscere (l'enumerazione della classe delle esalazioni nelle *Météores*), riducendoli alla causa più semplice, ovvero la nozione di corpuscolo. Quella delle *Météores* è infatti, nelle parole di Descartes, una «geometria concreta», opposta alla *géométrie abstraite* di cui parla la lettera a Mersenne del 27 Luglio 1638¹⁰: i suoi assiomi sono le condizioni dell'estensione e del moto locale¹¹; le sue conseguenze, come ribadiranno i *Principia*, tutti i fenomeni derivabili dalla nozione di corpuscolo:

Nei singoli corpi considero pure molte particelle che nessun senso percepisce, il che non è forse approvato da quelli che assumono i loro sensi come

caldo e il freddo, e due passive, il secco e l'umido. La prova di ciò può essere ricavata da tutti gli esempi che adduciamo».

⁷ *Discours*, VI, A. T., VI, p. 64.

⁸ È quanto avverrà nella dimostrazione dell'arcobaleno in cui l'assunzione ipotetica della natura corpuscolare del fenomeno viene provata dal suo effetto. «This argument – afferma D. Garber – closely resembles the argument by enumeration». *Science and Certainty in Descartes*, in *Descartes Critical and Interpretative Essays*, cit., p. 139.

⁹ R. Hubert, *La théorie cartésienne de l'énumération*, in «Revue de Métaphysique et de Morale», 23, Armand Colin, Paris, 1916, pp. 489-516 e É. Gilson, *Discours de la méthode: Texte et commentaire*, cit., pp. 205-210, in particolare lo studio del terzo precetto dell'ordine e il quarto dell'enumerazione; si vedano inoltre gli studi di Beck, *The method of Descartes*, cit., pp. 114-120 ; 126-133 e Gibson, *The Regulae of Descartes*, cit., pp. 342-343.

¹⁰ «Ma physique n'est autre chose que géométrie». Descartes a Mersenne, 27 luglio, 1638, A. T., II, p. 268. Una geometria astratta può esser utile soltanto ad esercitare la mente: «je n'ai résolu de quitter que la géométrie abstraite, c'est-à-dire la recherche des questions qui ne servent qu'à exercer l'esprit». *Ibid.*, p. 268.

¹¹ In modo analogo, ne la *La connaissance de la vie*, Vrin Paris, 1969, [trad. it. di F. Bassani, *La conoscenza della vita*, Il Mulino, Bologna, 1976, p. 164], G. Canguilhem definisce il modello macchina nella fisiologia cartesiana in questi termini: «la teoria dell'animale-macchina sarebbe, quindi, nei confronti della vita, ciò che un'assiomatica è nei confronti della geometria; non è altro quindi che una ricostruzione razionale, la quale, però, soltanto per una finzione ignora l'esistenza di ciò che deve rappresentare».

misura delle cose conoscibili [...]. Né penso che chiunque faccia uso della ragione vorrà negare – sulla base di quel che i nostri sensi percepiscono accadere nei corpi grandi – che sia di gran lunga meglio giudicare di quelle cose che si producono nei corpi più piccoli, che solo per la loro esiguità sfuggono ai nostri sensi anziché, per spiegarle, andare escogitando non so quali nuove cose [Nella fattispecie, la materia prima, le forme sostanziali, e tutto quel grande apparato di qualità, che molti sogliono supporre, ciascuna delle quali può essere conosciuta più difficilmente di tutte le cose si pretende spiegare per loro mezzo]¹².

Trasferendo le «longues chaînes de raisons», di cui i geometri sono soliti servirsi, nella classificazione delle esalazioni, dei vapori e delle loro influenze sui corpi terrestri, Descartes esamina nelle *Météores* fenomeni quali il sale del mare, l'ascensione aerea dei vapori che presiedono alla formazione dei venti, le nuvole, la pioggia, la neve; viene chiarita la natura delle tempeste, del fulmine e «di tutti gli altri fuochi che discendono dal cielo». L'esercizio dell'enumerazione è convocato non solo a selezionare fra diverse ipotesi l'unica ritenuta compatibile con il fenomeno osservato, ma a sostenere, come afferma la lettera a Plempius del 3 Ottobre 1637, un nuovo ordine espositivo¹³. L'ultimo fenomeno descritto, l'arcobaleno, e la produzione dei suoi colori nel *Discorso ottavo* renderanno visibili «non solo i fenomeni che sono nel cielo, ma anche nell'aria a noi vicina, tutte le volte che vi si trovano gocce d'acqua illuminate dal sole»¹⁴.

La terminologia delle *Météores* si serve inoltre di numerosi esempi tratti dall'esperienza: «questa materia nonostante non divida le parti dei corpi duri che son come rami intrecciati [...]»; «in tal modo potete immaginare che tra l'acqua e il ghiaccio vi sia la stessa

¹² *Principia* IV, 201, A. T., VIII, p. 324.

¹³ Descartes a Plempius, 3 ottobre, 1637, A. T., I, p. 430: «si velit enumerare problemata quae in solo Tractatu *De Meteoris* explicui, et conferire cum iis quae ab aliis de eadem materia, in qua ipse est versatissimus, hactenus tradita fuere, confido ipsum non adeo magnam occasionem reperit pinguiusculam et mechanicam philosophiam meam contemnendi».

¹⁴ *Meteore*, VIII, A. T., VI, p. 325.

differenza che fareste tra un mucchio di piccole anguille sia vive che morte galleggianti in una barca da pesca piena di buchi [...]»; «è pur vero che questa materia sottile, quando è più forte di quanto le sia richiesto a tal fine, fa di nuovo sì che le particelle si estendano in uno spazio maggiore, ciò di cui si può fare esperienza riempiendo d'acqua calda un matraccio o un altro qualsiasi vaso dal collo molto lungo e stretto ed esponendolo all'aria aperta quando gela»¹⁵. Eventuali disanalogie “di forma” fra l'oggetto studiato e l'esempio che ne spiega il funzionamento passano in secondo piano rispetto alla necessità di pervenire alla conferma delle cause. Il riscaldamento della neve in un contenitore consente quindi di presentare la teoria delle nuvole («cecy est aysé a experimenter en la neige»)¹⁶; la combustione della terra, insieme ad altri elementi chimici, conferma la teoria della luce¹⁷; l'agitazione reciproca di alcune perline su un piatto verifica la teoria sul ghiaccio («ainsi que vous pourres voir par experience»)¹⁸, così come il moto di due battelli trasportati dalla corrente di un fiume aveva spiegato, nel nono capitolo del *Traité de la Lumière*, il comportamento dei pianeti¹⁹.

Il modello di riferimento nella spiegazione dei fenomeni è tuttavia quello seriale che assegna distanze e proporzioni fra i diversi fenomeni rispetto all'unità minima comune: la nozione corpuscolo. Non si spiegherebbe altrimenti il capitolo sul sale, elemento misto perfetto²⁰, che in linea di principio non trova posto nella trattatistica

¹⁵ *Météores*, I, A. T., VI, pp. 236-238.

¹⁶ *Météores*, VI, A. T., VI, p. 292.

¹⁷ «Ainsi qu'on peut voir, par experience». *Météores*, VII, A. T., VI, p. 320.

¹⁸ *Météores*, VI, A. T., VI, p. 288.

¹⁹ *Le Monde*, cap. 9, A. T., XI, pp. 58-60.

²⁰ *Météores*, I, A. T., VI, p. 232. La distinzione fra misti perfetti e misti imperfetti risale ad Aristotele che distingue quegli elementi che non raggiungono una perfetta mescolanza fra i quattro elementi, sì da raggiungere una realtà dotata di forma sostanziale e quei misti animati come le piante o inanimati, come i metalli, che pervengono invece a questa proporzione perfetta. Cfr. *Meteorologia*, II, cap. III, 357a-358a. La distinzione è ripresa dai Conimbricenses (cfr. É Gilson, *Météores Cartésiens et Météores Scolastiques*, cit., p. 108; *Index scolastico-cartésien*, cit., pp. 180-181) e, nel Sedicesimo secolo, da autori come L. Fromondus, *Meteorologicum libri sex, Antverpiae*, 1627, p. 2 e R. Fludd, *Utriusque cosmi maioris scilicet et minoris Metaphysica, Physica atque technica Historia* [...], Francofurti, 1617, I, lib. IV, p. 172.

tradizionale, ma nelle *Météores* viene messo in rapporto all'evaporazione, e situato al livello della superficie del mare al di sotto del quale nessuna esalazione può discendere; in questo modo, afferma Descartes, sarà possibile spiegare i metalli²¹ e «sperimentare su di esso se sia possibile conoscere le forme di quei corpi che i Filosofi dicono essere composti mediante una mescolanza perfetta degli elementi altrattanto bene quanto le forme delle Meteore che gli stessi stimano invece composte soltanto da una mescolanza imperfetta»²².

Un progetto ambizioso, dunque, sta alla base della meteorologia cartesiana, le cui intenzioni non sfuggono agli avversari: Chapelain non esiterà a distinguere gli *Essais* del metodo individuando proprio nelle *Météores* la parte più problematica²³. Fromondus, autore a sua volta di un altro trattato sullo stesso argomento²⁴, che Descartes cita nella lettera a Mersenne del 1629²⁵, definisce esplicitamente la filosofia cartesiana *nimis crassa et mechanica*²⁶. L'accusa attirerà la veemente risposta di Descartes: tacciare di meccanicismo la nuova filosofia significa ammetterne la verità²⁷. Il giudizio di Roberval in merito al *Discours*, la *Dioptrique* e le *Météores* coincide con quello di Chapelain²⁸. In breve, la fisica cartesiana sovverte la tradizionale

²¹ Descartes a Mersenne, 20 febbraio, 1639, A. T., II, p. 525.

²² *Météores*, I, A. T., VI, p. 232.

²³ Chapelain a Balzac, 29 dicembre, 1637, A. T., I, nota, p. 485: «sa *Dioptrique* et sa *Géométrie* sont deux chef-d'œuvres au jugement des Maîtres. Ses *Météores* sont arbitraires et problématiques, mais admirable pourtant».

²⁴ L. Fromondus, *Meteorologicum libri sex*, cit.

²⁵ Descartes a Mersenne, 18 dicembre, 1629, A. T., I, p. 84.

²⁶ Fromondus a Plempius, 13 settembre, 1637, A. T., I, p. 406.

²⁷ Descartes a Plempius, 3 ottobre, 1637, A. T., I, p. 420.

²⁸ Roberval contro Descartes, aprile, 1638, A. T., I, p. 113: «nous avons lu assez attentivement le livre de Monsieur Descartes, qui contient quatre traités, desquels le premier se peut attribuer à la Logique, le second est mêlé de Physique et de Géométrie, le troisième est presque purement Physique et le quatrième est purement géométrique. Dans les trois premiers, il déduit assez clairement ses opinions particulières sur le sujet de chacun ; si elles sont vraies ou non, celui-là le sait qui sait tout [...]. Il pourrait se trouver que ce qui passe pour principe à son sens, pour fonder ses raisonnements, semblerait fort douteux au sens des autres ; aussi semble-t-il s'en soucier fort peu, se contentant d'être satisfait soi-même ; en quoi il n'y a rien que d'humain et qu'un père ne fasse paraître tous les jours envers ses enfants. Ce ne serait pas peu, si ce qu'il dit pouvait servir comme

gerarchia naturale. Descartes non avrà problemi a declassare le critiche d'un Roberval ad *injures* ed *impertinences*, lanciate da qualcuno «qu'il n'avait rien de bon à répondre»²⁹. Più difficili da accantonare le riserve di Huygens, egualmente preoccupato che i principi della nuova fisica siano rifiutati dalla Scuola, in quanto non «assez confirmés par l'expérience»³⁰.

A dispetto delle posizioni di prudenza assunte alla fine del *Discorso primo*³¹, il nuovo ordine è tuttavia irrinunciabile, quantomeno alla luce di una certa *economicità* esplicativa: «mi sembra che le mie ragioni dovranno essere tanto più accettate quanto meno numerose saranno le cose da cui le farò dipendere»³². Ricostruiamo dunque la classificazione proposta da Descartes.

Nel *Discorso primo* delle *Météores* Descartes introduce diversi argomenti: la natura della luce, fondamentale non solo per il fenomeno della visione, ma anche per tutti gli altri fenomeni fisici. La sua azione, o *inclination*³³, si diffonde a tutti i corpi circostanti attraverso la materia sottile»³⁴; la disposizione dei fenomeni a seconda della maggiore o minore agitazione delle parti di materia sottile nei corpi. Quest'ultima è associata da Gassendi al principio indivisibile dell'atomo, generatore di ogni configurazione materiale. Principio implausibile, secondo Descartes³⁵, il quale suppone che «l'acqua, la,

d'hypothèses, desquelles on pût tirer des conclusions qui s'accordassent aux expériences ; car en ce cas l'utilité n'en serait pas petite».

²⁹ Descartes a Mersenne, 27 maggio, 1638, A. T., II, p. 141.

³⁰ Descartes a Huygens, giugno, 1645, A. T., IV, p. 224.

³¹ *Météores*, I, A. T., VI, p. 239. Alcuni commentatori hanno connesso il tono conciliante di questa frase al periodo in cui viene pubblicato il trattato, ovvero dopo la condanna di Galileo. Descartes non nega le qualità della scolastica pur non utilizzandole. In realtà, le posizioni espresse su questi temi già nel *Traité de la Lumière* sono inequivocabili e sarà Descartes stesso a ribadirle più volte nella corrispondenza: Descartes a Regius, gennaio, 1642, A. T., III, p. 492; Descartes a Mersenne, 28 ottobre, 1640, A. T., III, p. 212; 26 aprile, 1643, t. 3, pp. 648-649.

³² *Météores*, I, A. T., VI, p. 239.

³³ Sull'azione istantanea della luce si veda *Le Monde*, cap. 12 (A. T., XI, p. 84) nonché la corrispondenza degli anni '30: Morin a Descartes, 22 febbraio, 1638, 12 agosto, 1638, ottobre 1638 (A. T., I, pp. 536-557; A. T., II, pp. 288-305, 408-419); Descartes a Morin, 13 luglio 1638, 12 settembre, 1638 (A. T., II, pp. 196-221, 362-373).

³⁴ *Le Monde*, cap. 13, A. T., XI, p. 84.

³⁵ *Principia*, IV, 202, A. T., VIII.

terra, l'aria e tutti gli altri corpi simili che ci stanno intorno siano composti di particelle diverse per forma e grandezza, particelle che non sono mai così ben disposte e congiunte insieme così perfettamente, che non restino intorno ad esse numerosi intervalli. Questi non sono vuoti, ma pieni di quella materia sottilissima, per la cui interposizione, come ho detto sopra, si comunica l'azione della luce»³⁶:

Tali particelle – continua Descartes – quando si uniscono in tal modo, compongono corpi duri come terra, legno o altri simili; quando invece sono semplicemente poste l'una sull'altra, senz'essere affatto allacciate insieme – o non essendolo che pochissimo – e, nel contempo, sono tanto piccole da poter essere mosse e separate dalla materia sottile che le circonda, debbono occupare molto spazio e comporre corpi liquidi assai radi e leggeri, come oli ed aria. Si deve inoltre pensare che la materia sottile che riempie gli spazi che si danno tra le parti di questi corpi sia di tal natura che si muova senza sosta di qua e di là con gran prestezza, ma, tuttavia, non esattamente con ugual velocità in tutti i luoghi e in tutti i tempi [...]. La ragione di ciò appare evidente se si suppone, come già abbiamo fatto nella *Diottrica*, che la luce non sia altro che un certo moto o un'azione, mediante la quale i corpi luminosi premono in ogni senso secondo linee rette la materia sottile che sta loro intorno³⁷.

Il *Discorso secondo* delle *Météores* parte dai vapori e dalle esalazioni, analoghe «alla polvere d'una strada di campagna che si solleva appena viene sospinta ed agitata dal piede di qualche viandante». È il sole ad agitare le parti di questa materia sottile, dirigendole verso l'aria per l'azione meccanica che conferisce leggerezza a ciò che è più sottile. Vapori ed esalazioni sono distinti a seconda della loro configurazione: acquosa nel primo caso, più dura e composta delle stesse parti irregolari che formano la terra, nel secondo:

³⁶ *Meteore*, I, A. T., VI, p. 233.

³⁷ *Météores*, I, A. T., VI, pp. 233-234.

Osservate che la maggior parte di queste particelle, che vengon in tal modo sollevate nell'aria dalla forza del sole, deve avere la forma che ho attribuito a quelle dell'acqua, in quanto non ve ne sono assolutamente altre che tanto facilmente possan esser separate dai corpi in cui si trovano: queste sole designerò particolarmente come vapori, per distinguerle da altre di forma più irregolare, che racchiuderò nel termine di esalazioni³⁸.

La classe di tutte le esalazioni è pensata da Descartes a partire dal movimento delle particelle – le stesse per l'acqua e per i vapori –, che varia di intensità, divenendo sempre più rapido e vorticoso, quando queste, ruotando attorno al loro centro, ampliano lo spazio circostante³⁹ (fig. 1).

³⁸ *Météores*, II, A. T., VI, p. 240. In questo senso, Descartes accetta dunque la stessa distinzione tra il vapore caratterizzato per la sua umidità, e l'esalazione, più secca e facile ad infiammarsi che troviamo nella scolastica. Ogni riferimento alle forme sostanziali è tuttavia escluso: É Gilson, *Index scolastico-cartésien*, cit., p. 312.

³⁹ *Météores*, II, A. T., VI, pp. 241-244. Tutto il capitolo riassume le esperienze condotte negli anni '30: si veda la lettera a Reneri in cui l'aria era stata definita una *lana* e l'etere (materia sottile) come un vento che impedisce a questi pori di attaccarsi l'uno all'altro, Descartes a Reneri, 2 giugno, 1631, A. T., I, p. 205. Si veda anche *Le Monde*, cap. 4, A. T., XI, p. 17 e i *Principia*, IV, 45, A. T., VIII, p. 231. Nella lettera a Mersenne del 5 aprile, 1632 (A. T., I, p. 243) vengono spiegate le differenze tra le acquaviti, gli oli, gli spiriti, i sali; nella lettera a Mersenne del 15 aprile, 1630 (A. T., I, p. 137), Descartes distingue lo studio della chimica e dell'anatomia «da tutto ciò che si trova nei libri»: Su questi temi si vedano i lavori di E. Bloch, *Die chemischen Theorien bei Descartes und den Cartesianern*, in *Isis*, 1913-14, pp. 590-636; R. Lenoble, *Mersenne ou la Naissance du Mécanisme*, cit., pp. 134-153.

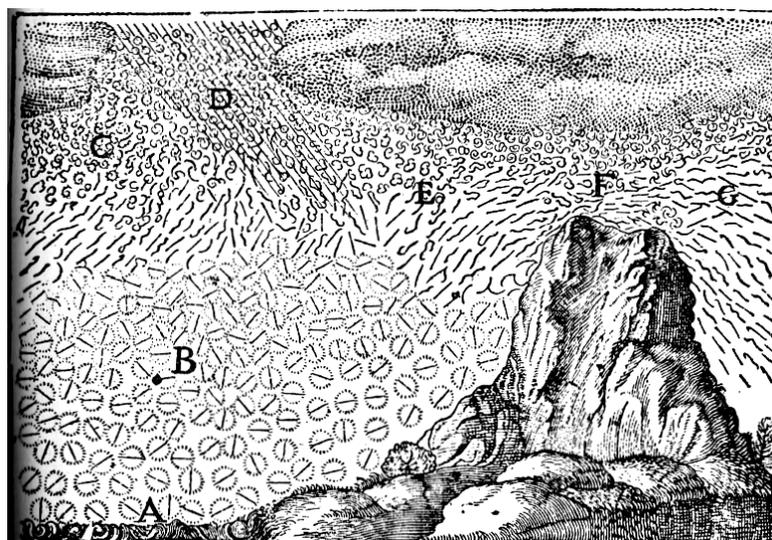


Figura 1

Il capitolo terzo passa alla spiegazione del sale, risultato delle «parti più grosse dell'acqua» del mare che non possono essere piegate dall'azione della materia sottile, né essere agitate senza l'aiuto delle componenti più piccole. L'ipotesi è confermata dall'esperienza: se le parti d'acqua non avessero tale natura, non potrebbero penetrare facilmente in certi corpi (calce, sabbia), o esserne al contrario «espulse tanto facilmente per la sola agitazione dei venti e del calore»⁴⁰. La dimostrazione, basata sulle variazioni di un'unica materia, escludono le innumerevoli caratterizzazioni alchemiche della sostanza salata come agente primordiale, dotato di forze occulte⁴¹.

⁴⁰ *Météores*, III, A. T., VI, p. 249.

⁴¹ Ricordiamo che dopo Paracelso gli alchimisti consideravano il sale, insieme con lo zolfo e il mercurio, una delle tre sostanze primordiali, dotata della capacità di penetrare corpi solidi e impedirne la corruzione: cfr. Aristotele, *Meteorologica*, II, cap. II e III, pp. 355-358; Paracelso, *Von den dreyen ersten essentiis*, vol. 1, in *Sämtliche Werke*, 15 voll. Berlin, 1930, III, pp. 3-11; G. Dulco-Claves, *De Ratione progignendi Lapidis philosophici*, in *Theatrum Chemicum*, IV, Argentorati, 1659, p. 390 [prima ed. Colonia 1612]; G. B. Della Porta, *Magia Naturalis*, Neapoli, 1589; Sull'importanza del sale nella filosofia di Paracelso si veda W. Pagel, *Paracelsus, an Introduction to Philosophical Medicine in the era of the Renaissance*, Basel, 1958. Sull'alchimia in generale si veda, fra l'immensa bibliografia, M. Berthelot, *La Chimie au moyen âge*, 3 voll., Steinheil, Parigi, 1893; L. Thorndike, *A History of Magic and Experimental Science*, 8 voll., Columbia University Press. Per render conto del dibattito che all'epoca di Descartes ruota attorno all'elemento del sale riprendiamo da Lojacono [*Opere*

Il vento è definito nel *Discorso quarto* come «ogni movimento sensibile dell'aria e l'aria qualsiasi corpo invisibile e impalpabile»⁴². Ma Descartes si affretta a *spazializzare* quest'apparente invisibilità, riducendola alle diverse configurazioni assunte dall'acqua, a seconda della rarefazione o della condensazione. Segue il confronto con uno strumento meccanico, le Eliopili⁴³, descritto nell'antichità da Erone, capace di produrre vapore per il riscaldamento dell'acqua. Analogamente a quanto avverrà nella spiegazione dell'arcobaleno nel *Discorso ottavo*, dimostrazione teorica e controllo artificiale del fenomeno sono saldati ad un utilizzo dell'esperimento che non esita a servirsi di supposizioni per spiegare, ad esempio, lo spostamento della massa d'aria intorno alla Terra da Oriente a Occidente: l'effetto sarebbe infatti indimostrabile dai principi «se non spiegando tutta la fabbrica dell'universo»⁴⁴.

Dalla tesi della condensazione per calore («qui dobbiamo notare che il calore, che di solito fa rarefare gli altri corpi, condensa invece generalmente quello delle nubi»)⁴⁵, Descartes passa, nel *Discorso sesto*, alla spiegazione della neve. La formazione dei fiocchi dipende

Scientifiche II, cit., nota 1 p. 386] un passo dell'alchimista J. R. Glauber e la visione meccanicista a lui avversaria di Mersenne: «“gli antichi se ne sono [del sale] serviti per attuare cose meravigliose fino a prepararne la medicina universale ed hanno dato a quest'arte il nome di Alchimia, cioè fusione del sale”». (Il trattato si trova in appendice alla *Descriptions des nouveaux fourneaux philosophiques*, Paris, 1654, p. 23; ed. lat., Amsterdam, 1651); così si esprime il padre M. Mersenne: “Il sale è la principale materia dei corpi, dà loro solidità, li coagula, li fissa e li congela [...] da ciò segue che più v'è sale in un corpo e più esso è duro, denso, pesante, solido”. *Traité de l'Harmonie universelle*, Paris, 1627, p. 203». Anche Pollot esprimerà alcune riserve a Descartes sulla spiegazione meccanica del sale. Il sale deve essere una qualità, altrimenti, il gusto che deriva dalla sua forma appuntita dovrebbe essere lo stesso di tutti gli altri corpi aventi la stessa figura: cfr. Pollot a Reneri, febbraio, 1638, A. T., I, p. 516.

⁴² *Météores*, IV, A. T., VI, p. 265.

⁴³ Strumento antico, descritto da Erone nella sua *Pneumatica*, che produce vapore attraverso il riscaldamento dell'acqua. Nel 1600 viene riportato in vari scritti, dalle *Raisons de fources mouvantes* di Salomon de Caus, Francoforte, 1615, alle *Récréations mathématiques*, cit., p. 147. Cfr. P. M. Schul, *Machinisme et Philosophie*, Presses Universitaires de France, Paris, 1947. Descartes ne parla a Mersenne nella lettera del 25 febbraio 1630, A. T., I, pp. 118-119, descrivendo l'agitazione (*émotion*) di questo vapore.

⁴⁴ *Météores*, IV, A. T., VI, p. 269.

⁴⁵ *Météores*, VI, A. T., VI, p. 292.

da fattori puramente meccanici: il rapporto tra la quantità di materia che compone le nubi e la resistenza dell'aria, la condensazione e la dilatazione degli strati superiori dell'aria⁴⁶. Rimane fermo il principio della composizione corpuscolare e delle sue variabili, le stesse che governano, nel *Discorso settimo*, la differenza fra i tuoni, i vortici e i fulmini:

Bisogna anche osservare che tutti i diversi rumori del tuono sono facilmente causati dal solo fatto che le parti delle nubi superiori cadono tutte insieme o l'una dopo l'altra, più rapidamente o più lentamente, e che le inferiori sono più o meno grandi e spesse ed offrono maggiore o minore resistenza. Le differenze tra le folgori, i vortici e i fulmini⁴⁷.

Ogni meraviglia è bandita da questa geometria che spiega i fenomeni atmosferici (vapori, venti, pioggia, neve, grandine) come un risultato di cause meccaniche, ma che al tempo stesso li divide risalendo per gradi dai più semplici ai più complessi⁴⁸. Il *Discorso ottavo* delle *Météores*, installando i quattro precetti del *Discours* in uno degli argomenti ottici più consolidati della tradizione, ne rappresenta la massima esemplificazione: «non potrei scegliere argomento più adatto – dichiara Descartes – per mostrare come sia possibile raggiungere, mediante il metodo di cui mi servo, conoscenze assolutamente non possedute da coloro di cui abbiamo gli scritti»⁴⁹.

L'interesse verso lo studio dell'arcobaleno emerge nella lettera a Mersenne, nel 1629, quando Descartes viene sollecitato da Renieri a prender parte nel dibattito sui *pareli*, o falsi soli, le cui osservazioni erano state condotte a Roma dall'astronomo gesuita Scheiner ed erano

⁴⁶ *Météores*, VI, A. T., VI, pp. 293-297.

⁴⁷ *Météores*, VII, A. T., VI, p. 317.

⁴⁸ *Discours*, II, A. T., VI, p. 19.

⁴⁹ Descartes non citerà alcuno dei nomi relativi alla famosa trattatistica sull'arcobaleno: si pensi a Witelio (*Opticae Libri decem*, a Federico Risnero, Basileae, 1572, pp. 457-474), a Maurolico (*Theoremata de Lumine et Umbra*, Lugduni, 1613, I ed., 1611, pp. 57-74), ad Ambrosius Rhodius (*Optica*, Witebergae, 1611, pp. 410-418). Il testo di riferimento per tutti rimangono le *Meteore* aristoteliche. Sulla ricostruzione storica di queste ricerche cfr. C. B. Boyer, *The Rainbow: From Myth to Mathematics*, cit.

giunte in Olanda, attraverso Gassendi, sulla base di alcune copie dello studio del matematico francese, fatte circolare liberamente in Francia da Nicolas-claude Fabri de Peiresc. L'argomento rappresentava una sfida per i *savants* dell'epoca, impegnati a misurare, come afferma Leurechon nelle sue *Récréations mathématiques*⁵⁰, le rifrazioni e le riflessioni prodotte dagli arcobaleni, dalle fontane, dalle bolle di sapone, e da ogni altra meraviglia della luce. La questione assume tuttavia, agli occhi di Descartes, proporzioni affatto maggiori d'una mera sfida intellettuale tra filosofi naturali. L'intuizione di Descartes è netta: dalla spiegazione dell'arcobaleno «causa di problemi più che tutto il resto»⁵¹, prenderà avvio non solo lo svelamento dell'ottica, ma l'intero spettro di configurazioni naturali ordinate dalla luce⁵². Lo studio del fenomeno sorpassa persino l'elaborazione della prima metafisica cartesiana, sospesa alla fine degli anni '20, e destinata a confluire nelle *Meditationes* del 1641. L'esempio dell'arcobaleno nelle *Météores* è di importanza fondamentale per comprendere le ragioni della prova cartesiana delle cause a partire dagli effetti⁵³: esso infatti utilizza l'analisi per scomporre un fenomeno nei suoi elementi costitutivi, descrive le dipendenze reciproche fra le componenti analizzate ed applica i risultati ottenuti ad altri casi che soddisfano lo stesso modello esplicativo. In questo modo Descartes dimostra come fenomeno naturale, pur complesso e articolato, possa essere analizzato

⁵⁰ J. Leurechon, *Récréations Mathématiques*, Jan Appier, Hanzelet, Pont-à-Mousson, 1626, pp. 42-43. Sul dibattito attorno all'arcobaleno si veda anche lo scambio fra R. Cornier e Mersenne, 29 luglio, 1625, in *Correspondance du P. Marin Mersenne*, II cit., p. 237.

⁵¹ Descartes a Mersenne, 8 ottobre, 1629, A. T., I, p. 23.

⁵² Descartes a Mersenne, 10 maggio, 1632, A. T., I, p. 250: «si vous savez quelque auteur qui ait particulièrement recuilli les diverses observations qui ont été faites des Comètes, vous m'obligerez aussi de m'en avertir: car depuis deux ou trois mois, je me suis engagé fort avant dans le Ciel; et après m'être satisfait touchant sa nature et celle des Astres que nous y voyons, et plusieurs autres choses que je n'eusse pas seulement osé espérer il y a quelques années, je suis devenu si hardi, que j'ose maintenant chercher la cause de la situation de chaque Etoile fixe».

⁵³ La scomposizione del fenomeno ottico dell'arcobaleno, se considerata in congiunzione con l'esempio dell'anaclastica nelle *Regulæ*, riflette in fisica, ad un livello teorico che non sia la mera induzione empirica di casi particolari, il metodo matematico dell'analisi e della sintesi. Cfr. supra, Parte I, cap. III: *Inductio sive enumeratio ed anaclastica*.

ricorrendo alle cause prime (materia e movimento), delle quali l'ipotesi intermedia (il principio dell'agitazione corpuscolare per la produzione dei colori nell'arcobaleno) stabilisce la corrispondenza con l'effetto. Il controllo dell'ipotesi è affidato all'esperienza; la sintesi inscriverà i risultati nella catena deduttiva.

La trattazione dell'arcobaleno, connessa alla produzione dei suoi colori, inizia dalla considerazione di «questo arco che si forma non solo nel cielo, ma anche nell'aria a noi vicina, tutte le volte che vi si trovano delle gocce d'acqua illuminate dal sole»⁵⁴. Descartes si procura una grande ampolla piena d'acqua nella quale duplicare l'effetto naturale della rifrazione misurando gli angoli nei quali appare il colore, due porzioni, in particolare, rispettivamente di 42 e 45 gradi, nei punti colpiti dal sole. L'esperimento determina la doppia combinazione di riflessione e rifrazione: la regione più luminosa risulta da due rifrazioni ed una riflessione interna; quella più debole, di 52 gradi, da due rifrazioni e due riflessioni interne (fig. 2):

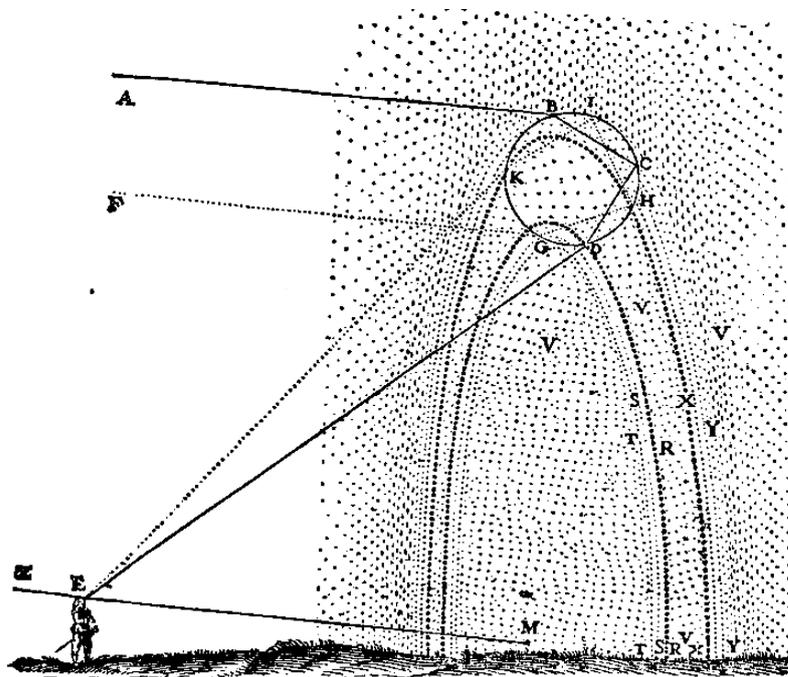


Figura 2

⁵⁴ *Météores*, VIII, A. T., VI, pp. 293-297.

In accordo al precetto dell'analisi, si giunge alla «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»⁵⁵. Per risolverla Descartes ricorre all'uso del prisma ed osserva come in una superficie curva si produca una sola rifrazione ed un raggio di luce molto stretto (fig. 3):

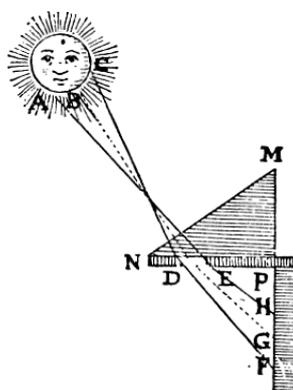


Figura 3

Ho stimato però, che una rifrazione almeno fosse indispensabile e tale che il suo effetto non fosse annullato da una contraria: l'esperienza ci mostra infatti che, se le superficie MN e NP fossero parallele, i raggi, raddrizzandosi in una superficie quanto potrebbero piegarsi nell'altra, non produrrebbero questi colori⁵⁶.

Al fine di comprendere la connessione fra il raggio e la produzione del colore occorre risalire alla stessa domanda che nello studio dell'anaclastica interrogava la natura della luce. La risposta proviene dalla *Dioptrique*, dove la luce è stata descritta come «l'azione o il movimento di una certa materia sottilissima le cui parti dobbiamo immaginare come piccole sfere ruotanti nei pori dei corpi terrestri»⁵⁷. Sapendo che ogni fenomeno ottico può essere spiegato in

⁵⁵ *Météores*, VIII, A. T., VI, p. 329.

⁵⁶ *Météores*, VIII, A. T., VI, pp. 330-331.

⁵⁷ *Météores*, VIII, A. T., VI, p. 331.

termini di dimensione, forma e movimento delle particelle estese, i colori dipenderanno dalla loro velocità. Nel *plenum*, essendo la trasmissione della luce istantanea, Descartes descrive le quattro sfere *Q*, *R*, *S*, *T* (fig. 4) come *inclinati* o *tendenti* a muoversi più o meno velocemente. Secondo Descartes, *Q*, facendo pressione sulla parte 1 della sfera 1, 2, 3, 4 ed *S*, frenando la parte 3 della sfera, aumentano la sua rotazione, mentre le sfere *R* e *T* non la intralciano 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»⁵⁸. I corpuscoli con la tendenza rotatoria più forte produrranno l'effetto visivo del rosso, quelli dalla tendenza minore, il blu o il violetto:

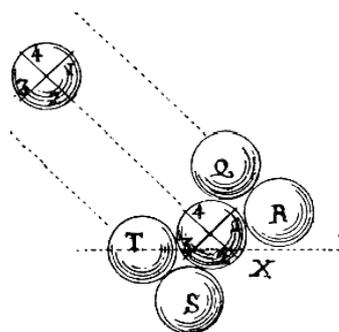


Figura 4

Ciò mi è stato utile a risolvere la difficoltà maggiore che avevo trovato in questo campo [...]. La natura dei colori che appaiono verso *F* consiste 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 pò più forte il giallo, come, al contrario, la natura di quei colori che si vedono verso *H* consiste solo nel fatto che quelle particelle non girano tanto rapidamente quanto fanno di solito quando non si dà nessuna causa particolare che le intralci⁵⁹.

⁵⁸ *Météores*, VIII, A. T., VI, p. 333.

⁵⁹ *Météores*, VIII, A. T., VI, p. 333.

Dalla spiegazione della natura della luce e dai principi della trasmissione del movimento in mezzi diversi Descartes ricostruisce così l'ordine del problema. Un ordine che interseca l'uso dell'esperimento per individuare in quale modo l'effetto può essere dedotto dalla causa⁶⁰. L'osservazione aveva condotto ad un primo livello esplicativo, quello più superficiale, che identifica le zone di luminosità e ne misura i gradi degli angoli. L'analisi prosegue con la determinazione dell'unica rifrazione capace di produrre il colore nel prisma e all'esame finale sulla natura della luce come effetto rotatorio di corpuscoli in uno spazio costretto. L'uso dell'ampolla e del prisma preparano la deduzione, rintracciando l'unico effetto compatibile all'ipotesi da dimostrare: la natura corpuscolare della luce. Se il recipiente di vetro riempito con dell'acqua e il prisma consentono di pensare il problema della produzione dei colori nell'arcobaleno come risolto⁶¹, confrontando la rifrazione e la riflessione prodotte artificialmente con quelle occasionate da reali gocce d'acqua, la scoperta dei raggi che corrispondono ai gradi diversi di riflessione permette dimostrare il fenomeno attraverso il passaggio dei raggi sul prisma. La spiegazione del colore in termini corpuscolari ricomponesse così *ex hypothesi*, sul piano non matematico dell'esperienza, l'equazione concettuale fra principi e conclusioni stabilita nell'analisi.

In questo senso, la ricerca sperimentale non ha nulla di nuovo da apportare alla dimostrazione che è essa stessa "scoperta" nel senso dell'equazione matematica: prima di cercare fenomeni sconosciuti bisogna osservare quelli conosciuti e, ipotizzando come vero il modello che li spiega, provarlo attraverso le sue conseguenze. L'unico, vero elemento insostituibile, è l'ipotesi che il fisico prova attraverso la riduzione alla classe delle esalazioni dell'aria, o la dimostrazione dei colori dell'arcobaleno, «tratteggiati in poche parole e secondo le cause che mi sembrano capaci di produrli»⁶².

⁶⁰ *Discours*, VI, A. T., VI, p. 64.

⁶¹ *Météores*, A. T., VI, pp. 325-329.

⁶² *Météores*, VII, A. T., VI, p. 323. Cfr. anche *Principia*, IV, 202-205, A. T., VIII, pp. 328-329.

Lo studio dell'arcobaleno esprime così un progetto di scienza, teoria ed esperienza da cui muove il procedimento deduttivo del sapere. L'esperienza non offre a Descartes possibilità di generalizzazione, bensì il reperimento dei dati strutturali o *naturae simplices*, garantite dall'intuizione intellettuale, e che nei termini delle *Regulae* «ad compositionem aliarum rerum simul concurrent»⁶³.

Dopo aver riassunto i principi della filosofia nella parte quarta del *Discours*, Descartes ricorre dunque negli *Essais* ad una modalità efficace di analisi e di organizzazione dei fenomeni in classi che, non molto diversamente dalle prime ricerche ottiche, fa uso degli strumenti dell'induzione e dell'ipotesi per elaborare la prova dei ragionamenti scientifici, ma anche per definire le nature semplici che costituiscono le premesse di un'interpretazione corretta del mondo fisico. In questo senso, lo studio della luce presenta non soltanto le condizioni entro le quali si controlla la validità dell'ipotesi corpuscolare, bensì offre il contesto in cui il modello stesso della spiegazione scientifica viene costruito in rapporto all'idea chiara e distinta che lo garantisce – l'estensione – e alle dimensioni di evidenza e semplicità in cui si trova nel dato dell'esperienza.

La funzione deduttiva della scienza cartesiana, espressa dal metodo geometrico, e la dimensione ipotetica dei ragionamenti scientifici non formano uno schema epistemologico incoerente perché la prima realizza un contesto dimostrativo rigoroso all'interno di un modulo di imputazione causale che vale anche per la fisica, pur essendo in quest'ultima espresso ipoteticamente. Tuttavia, come rivela lo studio dell'arcobaleno, il rigore e la certezza del procedere geometrico sono complicati in fisica da un uso dell'ipotesi e dell'esperimento il cui compito è quello di disciplinare gli schemi esplicativi più complessi dei fenomeni naturali.

⁶³ *Regulae XII*, A. T., X, p. 427.

Conclusioni

Il metodo cartesiano prende forma nella prima metà del XVII secolo in un momento cruciale della rivoluzione scientifica. Fra il 1619 e il 1628, gli studi di ottica, meccanica, geometria, il commercio con Beeckman, Mersenne, Mydorge, pionieri di ricerche avanzate sul piano sperimentale, spingono Descartes ad elaborare le condizioni di una *Mathesis Universalis* capace di tenere insieme secondo il criterio dell'ordine tutte le conoscenze della *bona mens*, insieme scienza e saggezza, secondo l'endiadi filosofica che già le *Regulae* tematizzavano e che Descartes enuncerà esplicitamente ad Elisabetta¹. Un sapere teorico e una filosofia «pratica», come Descartes scriveva nel *Discours* ad indicare la prerogativa del suo metodo, distinguendolo dalla filosofia puramente speculativa delle Scuole².

In questo quadro, l'istanza dell'ordine è prioritaria – «tota methodus consistit in ordine & disposizione eorum ad quae mentis acies est convertenda»³, «conduire par ordre mes pensées»⁴ – e svolge nella scienza e nella filosofia cartesiana un ruolo essenziale, sostituendo alla classificazione concettuale delle nozioni e delle cose sotto le categorie di Aristotele una disposizione fondata sulla loro dipendenza nell'ordine delle serie lineari. Descartes ne teorizza il metodo nelle *Regulae* appellandosi alla nozione di natura semplice, ne riassume quattro precetti «semplici e facili» nel *Discours* e lo applica nelle sue diverse varianti negli *Essais* mostrandone l'efficacia euristica. Analisi, sintesi ed enumerazione costituiscono le operazioni essenziali dell'ordine.

¹ «Je crois que, comme il n'y a aucun bien au monde, excepté le bon sens (*scil. Sagesse*)». Descartes a Elisabetta, giugno 1645, A. T., IV, p. 237.

² Descartes a Mersenne, 27 febbraio 1637, A. T., I, p. 349.

³ *Regulae V*, A. T., X, p. 379.

⁴ *Discours*, II, A. T., VI, p. 18.

Filosofo dell'analisi secondo alcuni⁵, archietto del sistema secondo altri⁶, Descartes è anche filosofo dell'induzione? Per quanto ci riguarda abbiamo cercato di approfondire, negli scritti cartesiani fino al '37, lo studio dello statuto teorico dell'induzione, di seguirne l'elaborazione del lessico e di apprezzarne le valenze applicative.

Ridefinita rispetto alla tradizione aristotelica e al dibattito sullo statuto della logica in scienza che impegna le moderne filosofie naturali, da Bacon alla Scuola di Padova, l'*inductio* cartesiana e i suoi equivalenti (*deductio, illatio, enumeratio*) assumono un ruolo del tutto nuovo: l'*inductio* completa l'ordine verificandone i passaggi, seleziona i dati rilevanti che entreranno nella deduzione corretta degli effetti a partire dalle cause, traduce questioni confuse in questioni perfettamente determinate, enumera in modo sufficiente i dati particolari in una concatenazione razionale continua, ininterrotta, sufficiente ed ordinata. «Enumerazione sufficiente ed ordinata (*ad scientiae complementum*)» nelle *Regulæ*⁷, «enumerazioni complete e rassegne generali» nel *Discours*⁸, il ruolo dell'induzione-enumerazione-rassegna è assolutamente essenziale nella scienza, là dove essa consente di passare con ordine dalla molteplicità delle cose all'unità del concetto: essa consiste in un movimento del pensiero che conferisce ad un insieme di conoscenze complesse l'evidenza immediata che è privilegio dell'intuizione semplice: come nelle *Regulæ* è l'induzione che costruisce la classe di equivalenze concettuali sotto cui ridurre la molteplicità empirica, così nel *Discours* essa è ausilio dell'analisi e controllo della sintesi, permettendo la sola verifica concepibile di tutto ciò che eccede i limiti necessariamente ristretti dell'intuizione.

Nella prima parte del nostro lavoro abbiamo apprezzato il ruolo dell'induzione nelle ricerche del giovane Descartes, curioso e studioso

⁵ Si vedano, fra gli altri, É. Gilson, *Discours de la méthode: Texte et commentaire*, cit.; J. Hintikka, U. Remes, *The Method of Analysis*, cit.; L. J. Beck, *The method of Descartes*, cit.,

⁶ Cfr. M. Gueroult, *Descartes selon l'ordre de raisons II*, cit.

⁷ *Regulæ VII*, A. T., X, p. 389-292.

⁸ *Discours*, II, A. T., VI, p. 19.

di una scienza fisico-matematica che gli offre il modello di una *scientia penitus nova*. Dallo studio delle leggi del moto con Beeckman nel 1619 alle ricerche ottiche parigine degli anni '20 culminanti nella scoperta della legge di rifrazione, l'induzione funziona per ordinare i dati dei problemi e, insieme, per determinare gli elementi più semplici della scienza dei corpi. Se la *Regula VII* ne chiarirà l'epistemologia indicandone le applicazioni in una logica della ricerca scientifica, la *Regula VIII* la farà reagire nell'ottica dell'anaclastica, facendo emergere l'istanza di uno studio anche fisico della luce: l'enumerazione sufficiente delle proprietà dei corpi consente infatti di riferire la luce alla classe di fenomeni analoghi, non in virtù della cattiva analogia degli scolastici, fondata su somiglianze generiche, ma della comparazione legittimata della natura semplice dell'estensione. L'induzione ricompone così i risultati scientifici ottenuti sovradeterminando delle domande della fisica la scienza puramente quantitativa delle grandezze matematiche. Una nuova *logica* della ricerca scientifica rivaleggia con la «logica dei Filosofi» e conferisce fondamento epistemologico alla scienza vagheggiata dal giovane Descartes nel '19.

Le inchieste di natura fisica e matematica condotte a Parigi e in Olanda pongono tuttavia al metodo nuove domande: come ricondurre a piena intelligibilità fenomeni fisici all'apparenza invisibili come la luce e, soprattutto, come agire l'estensione reale dei corpi nel dominio simbolico della geometria?

L'*inductio* diviene allora strumento dell'ipotesi che chiarifica il fondamento fisico dei corpi nell'estensione, approfondendolo nel modello dell'agitazione corpuscolare, termine ultimo, nel *Traité de la Lumière*, di una teoria degli elementi materiali. È in questo passaggio concettuale che va cercata la chiave interpretativa dei modelli epistemologici che ricorrono negli scritti di scienza degli anni '30 (*fable, hypothese, comparaison*): l'*enumeratio sive inductio* delle *Regulæ*, così come sarà per i *dénombréments entiers* e le *revues générales* del *Discours*, offre le condizioni di possibilità e di verifica della conoscenza.

Il *Traité de la Lumière* presenta il simulacro meccanico della luce e di tutto l'universo corpuscolare, seguendo la struttura geometrica di un mondo che *ressemble* a quello visibile. L'induzione delinea una nuova teoria degli elementi, individuati dai modi quantitativi dell'estensione e dal movimento e non più dalle nature aristoteliche. L'induzione prepara il quadro fisico più generale della favola e consente di derivare dalla nozione di estensione e dalle leggi del moto tutti i fenomeni di un mondo geometrico nuovo, «più vero» del mondo «vecchio» dei Filosofi perché ricostruito razionalmente secondo numero, misura ed ordine a partire dalla nozione chiara di materia e della costanza della quantità di moto. Una creazione del mondo rivale della creazione bibica? O l'invezione di una favola attraverso la quale apparirà sufficientemente dimostrata la verità della scienza? Costruendo e mimando il mondo vero, il filosofo si affranca da eventuali prese di posizione in merito alla sua genesi: il codice della geometria, che la ragione autorizza nella fisica, restituisce la verità della materia, esponendola come *favola*.

Le lettere della primavera del '30 a Mersenne dicono di più, ponendo l'istanza dei fondamenti della fisica in una metafisica della creazione divina delle verità eterne e delle menti che le conoscono nella verità. Il *Traité de la Lumière* vi accenna solo, là dove evoca la derivazione infallibile delle leggi del moto dalle «verità eterne» della matematica⁹, create da Dio e conoscibili naturalmente dalla nostra mente. In questo modo – avverte Descartes – la scienza non sarebbe *favola*: gli effetti sarebbero conosciuti attraverso le loro cause, «per spiegarmi nei termini della Scuola, potrebbero avere delle dimostrazioni *a priori* di tutto ciò che può essere prodotto in questo nuovo mondo»¹⁰.

Descartes non potrà farlo: la condanna di Galileo nel '33 lo induce a rinunciare ad una fisica a priori e a sospendere la stesura del suo mondo copernicano. Solo pubblicherà degli *Essais, echantillons* di un metodo che, se rinuncia ad approfondire la questione dei

⁹ *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 47.

¹⁰ *Ibid.*, p. 47.

fondamenti, non abdica tuttavia alla visibilità dei risultati scientifici conseguiti in tanti anni di lavoro e di feconde collaborazioni.

Nel 1637, la pubblicazione del *Discours* e degli *Essais* convoca Descartes a difendere i suoi risultati di scienza e a rispondere, nelle corrispondenze con Huygens, Plempius, Morin, Ciermans, Mersenne, Fromondus, Fermat ed altri protagonisti della cultura dell'età, alle questioni relative alla validità del metodo e alla natura della dimostrazione scientifica. Descartes è molto netto nell'ammettere l'elisione consapevole dei fondamenti della sua fisica, ma è altresì molto determinato nel difendere la validità delle sue scoperte fondate su dimostrazioni certe, anche se non strettamente deduttive. La scienza degli *Essais* è molto più ampia delle ricerche scientifiche di giovinezza: l'esperienza le offre materiali molto più vari ed eterogenei; gli studi recenti risultati più consistenti e più generali. La catena delle conoscenze, modello del sapere, si complica di una morfologia più complessa della forma unidirezionale della dimostrazione geometrica delle *Regulæ*. Descartes lo dice con il lessico variato della dimostrazione e della prova, ammettendo alla scienza sia la conoscenza che si dà dagli effetti alle cause (*prouver*), sia quella che dalle cause dimostra gli effetti (*expliquer*).

Il criterio dell'ordine assicurava, nel *Traité de la Lumière*, la conoscenza *a priori* degli effetti a partire dalle cause, ovvero la deduzione «di tutto ciò che è prodotto in questo nuovo Mondo»¹¹. La discesa verso gli effetti conduce, nel *Discours*, dai cieli alla terra, fino alle forme «più particolari» dei corpi¹². Una teoria della causa complica assiomi geometrici e leggi fisiche, le nozioni più semplici della materia e i parametri di un universo complesso, spesso difficilmente riducibile alla concatenazione continua delle evidenze: si pensi all'enumerazione delle cause della luce e alla determinazione delle parti sottili della materia nei fenomeni meteorologici. L'ordine si rovescia e procede *a posteriori*, dagli effetti osservabili alle cause ipotizzate a produrli, secondo uno stile argomentativo che dal *Traité*

¹¹ *Le Monde*, cap. 7, A. T., XI, p. 47.

¹² *Discours*, VI, A. T., VI, pp. 63-64.

de la Lumière alle *Météores* ricorre a finzioni immaginative e a descrizioni d'esperienza.

La metafisica dell'adeguazione e l'esposizione sintetica dei *Principia* sono ben lontane sia dalla favola del *Traité de la Lumière* che dall'esposizione più rapida ed ellittica della quarta parte del *Discours*. Se il «Monde» si riduceva ad un effettivo «*Traité de la lumière*» e dei suoi effetti visibili nel fuoco e negli astri, gli *Essais* rinunciano ad una fisica generale e propongono, piuttosto, delle scienze particolari, una diottrica ed una meteorologia, rette da un criterio epistemologico di certezza che è garantito dal collegamento fra cause ed effetti ed è sostenuto da un'immaginazione scientifica che ricorre all'uso dell'ipotesi per simulare le cause dei fenomeni osservati. La spiegazione della produzione dei colori dell'arcobaleno nel *Discorso ottavo* delle *Météores* costituisce l'esempio per eccellenza di tale intreccio fra ragione, ipotesi ed esperienza.

E tuttavia Descartes resta fedele all'ideale della deduzione: i fenomeni sono dedotti come conseguenze dalle cause, ma a titolo di supposizioni e con l'aiuto di comparazioni. L'esperienza prova la verità delle supposizioni come le supposizioni spiegano la realtà osservabile dei fenomeni. Una fisica particolare, che non è fondata sulla metafisica, ma sull'esperienza e sull'ipotesi: che si configura come una fisica senza ontologia, razionale ma ipotetica, ancora lontana da quella teoria dell'adeguazione che nei *Principia* salderà verità e realtà dei modelli della conoscenza razionale.

BIBLIOGRAFIA

I STRUMENTI DI LAVORO

I.1 EDIZIONI DELLE OPERE DI DESCARTES

Descartes, *Œuvres*, C. Adam ; P. Tannery (ed.), L. Cerf, Paris, 11 voll. (A. T.), 1897-1913.

Œuvres éd. par C. Adam et P. Tannery ; J. Beaudé, P. Costabel, A. Gabbey et B. Rochot, (ed.), Paris, Vrin, 11 voll., 1964-1974.

Œuvres Philosophiques, F. Alquié (ed.), 3 voll., Garnier, Paris, 1963.

Œuvres inédites de Descartes Foucher de Careil (ed.), A. Durand, Paris, 2 voll., 1859- 1860.

Œuvres de Descartes, V. Cousin (ed.), F.-G. Levrault, Paris, 11 voll., 1824-1826.

The Scientific Work of René Descartes, J. F. Scott (ed.), Taylor and Francis, London, 1952.

The Philosophical works of Descartes, E. S. Haldane and G. R. T. Ross (ed.), Cambridge University Press, Cambridge, 2 voll., 1973.

The Philosophical Writings of Descartes, J. Cottingham, R. Stoothoff, D. Murdoch (ed.), Cambridge University Press, Cambridge, 2 voll., 1985 & 1984.

Opere Filosofiche, E. Lojacono (ed.), Utet, Torino, 2 voll., 1994.

Opere Scientifiche, E. Lojacono (ed.), Utet, Torino, 2 voll., 1983.

Opere, E. Garin (ed.), Laterza, Bari, 2 voll., 1967.

Correspondance, Ch. Adam, G. Milhaud (ed.), Alcan, Paris, 8 voll., 1936.

Lettres de M. Descartes, C. Clerselier (ed.), [Clerselier-Institute], Ch. Angot, Paris, 3 voll., 1667.

Correspondence of René Descartes 1643, Th. Verbeek, E.-J. Bos, J. Van Der Ven (ed.), Zeno, Utrecht, The Leiden-Utrecht Research Institut of Philosophy, 2003.

Tutte le lettere 1619-1650, G. Belgioioso, J-R. Armogathe (ed.), Bompiani, Milano, 2005.

Conversations with Burman, J. Cottingham (ed.), Clarendon Press, Oxford, 1976.

Règles pour la direction de l'esprit, J. Sirven (ed.), Vrin, Paris, 1988.

Règles utiles et claires pour la direction de l'esprit en la recherche de la verité, J. L. Marion (ed.), avec des notes mathématiques de P. Costabel, M. Nijhoff, The Hague, Netherlands, 1977.

Rules for the direction of mind, H. H. Joachim (ed.), Thoemmes Press, Bristol, 1957 / 1997.

Discours de la méthode. Textes et commentaires, E. Gilson (ed.), Vrin, Paris, 1967.

Discourse on Method, Optics, Geometry, and Meteorology, P. J. Olscamp (ed.), Bobbs-Merrill, Indianapolis, 1965.

The Geometry of Descartes [1637], D. E. Smit, M. L. Latham (ed.), Dover, New York, 1954.

Le Monde, ou Traite de la lumiere, M. S. Mahoney (ed.), Abaris Books, New York, 1979.

The World and Other Writings, S. Gaukroger (ed.), Cambridge University Press, New York, 1998.

Il mondo, ovvero Trattato della luce, G. Cantelli (ed.), Bollati Boringhieri, Torino, 1954.

I. 2 STRUMENTI

Balteau, J.; Barreaux, M.; Prevost, M., *Dictionnaire de Biographie Française*, Librairie Letouzey et Ané, Paris, 1929.

Altieri Biagi, M. L.; Basile, B., *Scienziati nel Seicento*, Ricciardi Editore, Milano / Napoli, 2 voll, MCMLXXXIII.

Bunge W. Van; Leeuwenburgh H.; Krop B., (ed)., *Dictionary of seventeenth and eighteenth-century dutch philosophers*, Thoemmes Press, Bristol, 2 voll., 2003.

Cassirer, E., *Storia della filosofia moderna*, trad. it di A. Pasquinelli, G. Colli, E. Arnaud, Einaudi, Torino, 1953.

Birch, T., *The History of the Royal Society*, Johnson Reprint, New York / London, 4 voll., 1968.

Cohen, M. R. ; Crabkin I. E., *A source Book in Greek Science*, Harvard University Press, Cambridge, 1948.

Cotgrave, R., *A Dictionarie of the French and English Tongues*. Two Parts, Islip, London, 1632.

Crombie, A. C., *Styles of scientific thinking in the european tradition : the history of argument and explanation especially in the mathematical and biomedical sciences and arts*, Duckworth, London, 3 voll., 1994.

Dibon, P., *Le Fonde Néerlandais de la Bibliothèque Académique de Herborn*, Noord Hollandse Uitgeversmaatschappij, Amsterdam, 1956.

Duhem, P., *Le système du Monde*, Hermann, Paris, 10 voll., 1958.

Encyclopædia Britannica, 15e éd., Chicago, 30 vol., 1984.

Encyclopædia Universalis, 3e éd., Paris, 30 vol., 1989.

Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften mit Einschluss ihrer Anwendungen, Teubner, Leipzig, 1898-1923.

Encyclopédie méthodique. Mathématiques, Panckoucke, Paris, 1784-1785-1789 ; rééd. ACL, Paris, 3 vol., 1987.

Encyclopédie des sciences mathématiques pures et appliquées, J. Molk (ed.), Gauthier-Villars, Paris, 1904-1916 ; rééd. J. Gabay, Paris, 22 vol., 1991.

Galluzzi, P., (ed.), *Storia delle Scienze*, Einaudi, Torino, 5 voll., 1991.

Geymonat, L., *Storia del pensiero filosofico e scientifico*, Garzanti, Milano, 7 voll., 1970-1976.

Gillispie, C. C., ed. *Dictionary of Scientific Biography*, Scribner, New York, 18 voll., 1970.

Grant, E., *A Source Book in Medieval Science*, Harvard University Press, Cambridge, 1974.

Gregory T., *Origini della terminologia filosofica moderna : linee di ricerca*, Olschki, Firenze 2006.

e G. De Rosa (ed.), *L'età moderna*, Laterza, Roma, 1994.

Guilbert, A. J., *Bibliographie des œuvres de René Descartes publiées au XVIIe siècle*, Éditions du C.N.R.S., Paris, 1976.

Lalande, A., *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, 4th ed., Alcan, Paris, 1932.

Lecourt, D., *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, Presses Universitaires de France, 1999.

Lindberg, D. C. ; Numbers, R. L., (ed.), *The Cambridge History of Science*, Cambridge University Press, 8 voll., 2006.

Rashed, R., (ed.), *Encyclopedia of the History of Arabic Science*, Routledge, London, 3 voll., 1996.

Sarton, G., *Introduction to the History of Science*, Carnegie Institution of Washington, Baltimore, 5 voll., 1927.

Taton, R., *Histoire Générale des Sciences*, Presses Universitaires de France, Presses universitaires de France Paris, 3 voll., 1957-1964.

Thorndike, L., *A History of Magic and Experimental Science*, Columbia University Press, New York, 8 voll., 1923.

I. 3 INDICI E CONCORDANZE

Ariew R.; Des Chene, D.; Jesseph, M. D.; Schmaltz, T. M.; Verbeek, Th., (ed.), *Historical Dictionary of Descartes and Cartesian Philosophy*, The Scarecrow Press, Lanham, 2003.

Armogathe J. R.; Marion, J. L., *Index des «Regulae ad directionem ingenii»*, Roma, Ed. dell'Ateneo, 1976.

Cahné, P.-A., *Index du « Discours de la méthode » de René Descartes*, Edizioni dell'Ateneo, Roma, 1977.

Caton, H., *Bibliography of Descartes Literature, 1960-1970*, in «The Origin of Subjectivity An Essay on Descartes», New Haven and London, Yale University Press, 1973, pp. 223-43.

Chappel V., Doney W., *Twenty-Five Years of Descartes Scholarship, 1960-1984*, New York, Garland, 1987.

Gilson, E., *Index scolastico-cartésien*, Vrin, Paris, 1979, (Alcan, Paris, 1912).

Cottingham, J., *Descartes Dictionary*, Blackwell, Oxford, 1992.

Guibert, A. J., *Descartes: bibliographie des oeuvres publiées au XVII siècle*, Paris, Vrin, 1978.

Otegem, M. van, *A bibliography of the works of Descartes, 1635-1647*, Zeno, Utrecht, 2002.

Meschini, F. A., *Indice dei "Principia Philosophiae" di R. Descartes*. Indici lemmatizzati, frequenze, distribuzione dei lemmi, Firenze, Olschki, Corpus Cartesianum, 3, XX, 1996, pp. 471.

Morris, J. M., *Descartes Dictionary*, Philosophical Library, New York, 1971.

Sebba, G., *Bibliographia cartesiana, a critical guide to the Descartes Literature, 1800-1960*, M. Nijhoff, The Hague, 1964.

II FONTI

II. 1 AUTORI ANTERIORI

Aristotele Complete Works, J. Barnes (ed.), Clarendon Press, Oxford, 1975.

Aristotle in twenty-three volumes, H. Tredennick, E. S. Foster, H. P. Cooke (ed.), Harvard University Press, London, 1960.

Complete Works, J. Barnes (ed.), Clarendon Press, Oxford, 1975.

La physique, A. Stevens (ed.), Vrin, Paris, 1999.

La Fisica, in *Opere*, VI, M. Zanatta (ed.), Utet, 1999.

Métaphysique, J. Tricot (ed.), Vrin, Paris, 2 vol., 1991.

Metaphysica, W. Jaeger (ed.), Clarendon Press, Oxford, 1992.

Metafisica, in *Opere*, I, A. C. Viano (ed.), Utet, Torino, 1974.

Metafisica, G. Reale (ed.), Vita e Pensiero, Milano, 1993.

Organon, J. Tricot (ed.), Vrin, Paris, 5 voll., 1983-1990.

Organon, in *Opere*, III, IV, M. Zanatta, (ed.), Utet, Torino, 1996.

Meteorologica, H. D. P. Lee (ed.), Loeb Classical Library, London, 1952.

Meteorologia, L. Pepe (ed.), Bompiani, Milano, 2003.

Apollonius Pergaeus, *Conics. Books V to VII. The Arabic traslation of the lost Greek original in the version of the Banu Musa*, G. J. Toomer, Verlag, New York, 1990.

Archimede, *Opera Omnia, cum commentariis Eutocii*, J. L. Heiberg (ed.), corrigenda adiecit E. S. Stamatis, B. G., Teubner, Stutgardiae, 4 voll., 1972.

Averroë, *Commentarum magnum in Aristotelis de anima libros*, F. S. Crawford (ed.), Cambridge, Mass., 1953.

Compendia librorum Aristotelis, qui Parva naturalia vocantur, A. L. Shield, H. Blumberg, Cambridge, Mass., 1949.

Celso, A. C., *A Cornelii Celsi quae supersunt*, Marx F. (ed.), Teubner, Lipsiae, 1915.

Cicerone, M. T., *Tutte le Opere*, a cura del Centro Studi ciceroniani, Mondadori, Milano, 35 voll., 1962-1992.

Diogene Laerzio, *Vitae philosophorum*, e typographeo Clarendoniano, Oxonii, 1964.

Diophantus, *Opera Omnia*, P. Tannery (ed.), Teubner, Lipsiae, 2 voll., 1893-1895.

Euclide, *Elementa*, E. S. Stamatis (ed.), Teubner, Lipsiae, 5 voll., 1969-1975.

L'Optique et la catoptrique, P. Ver Eecke (ed.), Desclée de Brouwer, Paris, 1938.

Galeno C., *Opera Omnia*, C. Gottlob (ed.), Lipsiae, 1821-1833 (Verlag, Hildesheim, 1964).

Galen on antecedent causes, R. J. Hankinson (ed.), Cambridge University Press, Cambridge, 1998.

Pappus, *Pappi Alexandrini Collectiones quæ supersunt* instruit F. Hultsh, Berolini, 1875-1878.

Pecham, *Persepectiva Communis*, D. C. Lindberg (ed.), Madison Wisconsin, 1970.

Tractatus de perspectiva, D. C. Lindberg (ed.), Franciscan Institute Publication, n, 16, New York, 1972.

Platone, *Opera*, J. Burnet (ed.), Clarendon Press, Oxford, 5 voll., 1900-1907.

Opere, G. Cambiano, F. Adorno (ed.), Utet, Torino, 4 voll., 1970-1988.

Plotino, *Enneadi*, V. Cilento (ed.), Laterza, Bari, 1947.

Proclo, *In primum Euclidis Elementorum librum commentariorum ad vniuersam mathematicam disciplinam principium eruditionis tradentium libri 4*, G. Friedlein (ed.), Teubneri, Lipsiae, 1873.

Commento al I Libro degli Elementi di Euclide, M. Timpanaro Cardini (ed.), Giardini Editori e Stampatori, Pisa, 1989.

Kindi, Abu Yusuf Ya'qub ibn Ishaq, *Propagation of the Ray: the Oldest Arabic Manuscript about Optics*, M Y. Haschmi (ed.), Aleppo, 1967.

Lucrezio, *De Rerum Natura*, Edizioni dell'Ateneo, Roma, 1960.

Tommaso d'Aquino, *Opera Omnia iussu impensaue Leonis XIII
P. M. edita*, Typographia Poliglotta, Roma, 1882-1985.
Summa theologica, Benzinger, New York, 3 voll., 1947-1948.

II. 2 AUTORI CONTEMPORANEI

Alsted, J. H., *Logicæ systema harmonicum*, Herbornæ, typis G. Corvini, 1614.

Philosophiæ digne restituta, Herbornæ Nassoviorum, typis G. Corvini, 1612.

Beeckman, I., *Journal tenu par Isaac Beeckman de 1604 a 1634*, C. De Waard (ed.), The Hague, 4 voll., 1939-1953.

Bacon, F., *The works*, J. Spedding; R. L. Ellis, D. D. Heath (ed.), Stuttgart-Bad Canstatt, F. Fromann Verlag, G. Helzboog, 14 voll., 1963.

Novum Organum, T. Fowler (ed.), Oxford University Press, 1889.

Novum organum sive indicia vera de interpretatione naturae, in *Instauratio magna*, London, B. Norton; J. Bill (ed.), 1620, trad. it. a cura di P. Rossi, *Novum Organum*, in *Scritti Filosofici*, Utet, Torino, 1975.

Bacon R., *The Opus Majus of Roger Bacon*, J. H. Bridges (ed.), Minerva, Frankfurt, 3. Voll., 1964.

De multiplicatione specierum, in *The Opus Majus of Roger Bacon*, cit., pp. 405-522.

Perspectiva in qua, quae ab aliis fuse traduntur, succinte nervose et ita pertractantur ut omnium intellectui facile pateant, nunc primum in lucem edita, Francofurti, ex. typ. W. Richteri sumptibus A. Hummii, 1614.

Baillet, A., *La vie de Monsieur Des-cartes*, Daniel Horthemels, Paris, 1961, Rist. Slatkine Reprints, Genève, 2 voll., 1970.

Bayle, P. *Dictionnaire hiostorique et critique*, 5d ed., P. Brunel, P. Humbert (ed.), Amsterdam, Leiden e Rotterdam, 4 vol., 1740.

Borel, P., *Vitæ Renati Cartesii, summi philosophi, compendium*, apud J. Billaine et viduam H. Dupuis, Paris, 1656.

Brahe, T., *Opera Omnia*, J. L. E., Dreyer; I. Raeder (ed.), Copenaghen, 15 voll., 1913-1929.

Bruno, G., *De umbris idearum, implicantibus artem quaerendi, inveniendi, iudicandi, ordinandi & applicandi ad internam scripturam [...]*, E. Gorbin, (ed.), Paris, 1585 (altra ed. a cura di R. Sturlese, premessa di E. Garin, Olschki, Firenze, 1991).

Opere latine, Monti, C., (ed.) Utet, Torino, 1980.

Brucker, J.-J., *Historia critica philosophiae*, 2d ed., Weidemann and Reich, Leipzig, , 6 voll., 1767.

Clavius, C., *Opera mathematica*, A. Hierat (ed.), Mainz, 5 voll., 1611-1612.

Clauberg, J., *Defensio Cartesiana*, in *Opera Omnia Philosophica*, J. Th. Schallbruch (ed.), P. & I. Blaeu, Amsterdam, 2 voll., 1961 ; Georg Olms, Hildesheim, 1968.

Logica Vetus et Nova ; Logica Contracta, in *Opera Omnia*, cit.

Logique Ancienne et Nouvelle, J. Lagrée ; G. Coqui, (ed.), Vrin, Paris, 2007.

Clavasio, D., *Questiones perspective*, Firenze, 1400.

Claves, G., *De Ratione progignendi Lapidis philosophici*, in *Theatrum Chemicum*, IV, Argentorati, 1659 (prima ed. Colonia 1612).

Conimbricense, *Collegium, Commentarii [...] in libros Meteorum Aristotelis Stagiritae*, R. Jullieron (ed.), Giunta, Lyon, 1594.

Commentarii [...] in octo libros Physicorum, cit.

Commentarii [...] in quatuor libros De coelo Aristotelis Stagiritae, cit.,

Commentarii [...] in duos libros De Generatione et corruptione Aristotelis Stagiritae, J.-B. Buysson (ed.), Lyon, 1600.

Copernico, N., *De Revolutionibus orbium coelestium*, J. Petreius, (ed.), Nürnberg, 1543, trad. it. a cura di F. Barone, Utet, Torino, 1979.

Della Porta, G., *Magiae naturalis, sive de miraculis rerum naturalium libri IV*, Napoli, M. Cancer, (ed.), 1558 (2. ed. O. Salviani (ed.), 1589, Napoli).

Desargues, G., *Œuvres*, M. Poudra (ed.), Leiber, Paris, 2 voll., 1864.

Duplex S., *Corps de Philophie, Book VII, Livre de la Physique, ou science naturelle, contenant la cognoissance de l'âme*, L. Mesnil (ed.), Rouen, 1640.

Eustache de Saint-Paul, *Summa Philosophiæ quadripartita [...] I De rebus dialecticis, IV Metaphysica*, M. Chastellain, (ed.), Paris, 2 voll., 1609.

Fermat, P., *Œuvres*, P. Tannery ; C. Henry (ed.), Gauthier-Villars, Paris, 4 voll., 1891-1922.

Fromondus, L., *Meteorologicum libri sex*, Antverpiae, 1627.

Fludd, R., *Utriusque cosmi maioris scilicet et minoris Metaphysica, Physica atque technica Historia [...]*, J. Th. De Bry (ed.), Francofurti, 1617.

Fontanelle, de B., *Entretiens sur la pluralité des mondes*, C. Blageart (ed.), Paris, 1686 (anche in *Œuvres complètes*, G. B. Depping, Belin, Paris, 1818 ; Slaktine, Genève, 1968).

Galilei, G., *Opere*, Antonio Favaro (ed.), Edizione Nazionale, Firenze, 20 voll., 1890-1939.

Gassendi, P., *Opera Omnia in sex tomos divisa*, L. Anisson ; J.-B. Devenet (ed.), Grenoble, 1658 (anche in T. Gregory, Stuttgart-Bad Cannstatt, 1968).

Gilbert, W., *De magnete magneticisque corporibus et de magno magnete tellure, physiologia nova, plurimis et argumentis et experimentis demonstrata*, P. Short (ed.), Londini, 1600.

Goclenius, R., *Controversiæ logicæ et philosophicæ*, typis Pauli Egenolphi, Marpurgi, 1609.

Lexicon philosophicum, quo tanquam clave philosophiæ fores aperiuntur, Francofurti, 1613.

Grosseteste, R., *On Light*, C. C. Reidl (ed.), Robert Grosseteste *On Light*, Marquette University Press, Milwaukee, 1942.

Heereboord, A., *Logica seu explicatio, tum per notas, tum per exempla, synops. Logicae burgersdicianae [...]* Accessit eiusdem authoris *praxis logica*, Lugduni Bavatorum, ex officina D. a Lodensteyn, 1657.

Herbert of Cherbury, E., *De Veritate*, Londini, per Augustinum Mattheum, 1633.

Hobbes, T., *Opera Philosophica*, W. Molesworth (ed.), London 11 voll., 1839-1845.

Hooke, R., *Philosophical collections. Containing an account of such physical, anatomical, chymical, mechanical, astronomical, optical, or other mathematical and philosophical experiments and observations*, J. Martyn, M. Pitt, R. Chiswell (ed.), London, 1679.

Micrographia, J. Martyn & J. Allestry (ed.), London, 1665.

Huygens, C., *Œuvres complètes*, M. Nijhoff, La Haye, 22 voll., 1888-1950.

Kepler, J., *Gesammelte Werke*, von M. Caspar; F. Hammer (ed.), Munich, 20 voll., 1938.

Ad Vitellionem Paralipomena [...], in *Gesammelte Werke*, cit.

Caspar, M., *Bibliographia Kepleriana*, Munich, 1936.

Keckermann, B., *Opera omnia quæ extant*, Petrum Aubertum, Genève, 1614.

La Ramée, P. de, *Animadversionum aristotelicarum libri XX*, apud Andream Wechelum, Paris, 1556. *Dialecticæ Institutiones*, excudebat Jacobus Bogardus, Paris, 1543.

Dialectique, Wechel, Paris, 1655.

Leurechon, L., *Récréation mathématique, composée de plusieurs problèmes plaisants et facétieux, en fait d'arithmétique, géométrie, mécanique, optique*, Ian Appier Hanzelet (ed.), Pont-à-Mousson, 1626.

Maurolico, F., *Photismi de lumine, et umbra ad perspectivam, et radiorum incidentiam facientes*, ex. typ. Longi, Neapolis, 1611.

Mersenne, M., *Correspondance du P. Marin Mersenne*, C. De Waard et alii (ed.), Puf, CNRS, Paris, 17 voll., 1932-1988.

Cogitata physico-mathematica, in quibus tam naturæ quam artis effectus admirandi certissimis demonstrationibus explicantur, Lutetiae Parisiorum, sumptibus Antonii Bertier, 1644.

L'harmonie universelle, Baudry, Paris, 1626 (Cramoisy, Paris, 2 voll., 1936).

- Le mechaniques de Galilée*, H. Guénon (ed.), Paris, 1634.
- Quaestions inouyes*, J. Villery (ed.), Paris, 1634.
- L'optique et la cataoptrique*, Vve F. Langlois (ed.), Paris, 1651.
- Quaestiones celeberrimae in Genesim*, S. Cramoisy (ed.), Paris, 1623.
- La vérité des sciences*, T. Du Bray (ed.), Paris, 1625.
- More, H., *A Collection of several Philosophical Writings*, J. Flesher (ed.), Morden Book seller in Cambridge, London, 1662.
- Mydorge, C., *Examen du livre des Recreations Mathematiques et ses problemes*, Rollet, Boutonné, 1630.
- Newton, I., *Mathematical works*, D. T. Whiteside (ed.), Johnson Reprint, New York, 2 voll., 1964.
- Opere*, A. Pala (ed.), Utet, Torino, 1965.
- Nicéron, J. F., *La perspective curieuse, ou magie artificielle des effets merveilleux de l'optique par la vision directe, la catoptrique par la reflexion des miroirs des miroirs plats, cylindriques et coniques, la dioptrique par la reflexion des cristaux, etc.*, Vve F. Langlois (ed.), Paris, 1652.
- Nifo, A., *In Arist. libros Posteriorum Analyticorum subtilissima Commentaria*, Venetiis 1554.
- Patrizi, F., *Nova de universis philosophia*, A. L., Pulafito (ed.), Olschki, Firenze, 1993.
- Piccolomini, A., *In mechanicas quaestiones Aristotelis paraphrasis paulo quidem plenior*, A. Blado (ed.), Roma, 1547.
- Poisson, N. J., *Commentaire ou remarques sur la méthode de R. Descartes, ou l'on établit plusieurs principes generaux, necessaires pour entendre toutes ses vres*, Vansdome, Hip, 1970.
- Oldenburg, H., *The correspondance of Henry Oldenburg*, A. Rupert-Hall ; M. Boas Hall (ed.), The University of Wisconsin Press, 13 voll., 1965-1986.
- Pascal, B., *Traitez de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air*, C. Savreux, (ed.), Paris, 1648 (anche in *Œuvres complètes*, Desclée de Brouwer, 1964).

Paracelso, *Von den dreyen ersten essentiis*, vol. 1, in *Sämtliche Werke*, Berlin, 15 voll., 1930.

Roberval, G., *Traité de mécanique*, R. Charlemagne (ed.), Paris, 1636.

Raey, J. de., *Cogitata de interpretazione*, H. Wetstein (ed.), Amsterdam, 1692.

Disputatio philosophica inauguralis de igne, F. Hack (ed.), Leiden, 1647.

Oratio de gradibus et vitiis notitiae vulgaris circa contemplationem naturae et officio philosophi circa eandem, F. Hack, Leiden, 1651.

Disputationes physicae ad problemata Aristotelis, F. Hack (ed.), Leiden, 1651-1652.

De sapientia veterum, J. Ravestein (ed.), Amsterdam, 1669.

Revius, J., *Examen dissertationis D. Nicolai Vedelii de Episcopato Constantini Magni, seu de Potestate magistratuum reformatorum circa res ecclesiasticas*. J. Jansonius (ed.), Amsterdam, 1642.

Disputationes in universam theologiam, J. N. à Dorp [Herb] Leiden, 1642-1646.

Suarez repurgatus, F. Heger, Leiden, 1643.

Analectorum theologorum Disputationes CCCXXXI, Leiden, 1646-53.

Schoock, M., *Admiranda methodus novae philosophiae Renati Descartes*, Ultrajecti, ex officina J. Van Waesbergae, 1643.

Schooten, F., van, *Geometria a Renato Des Cartes anno 1637 edita [...] in linguam latinam versa et commentariis illustrata*, Lungduni Batavorum, 1649.

Spinoza, B., *Opera*, C. Gebhardt (ed.), Heidelberg, C. Winter, 4 voll., 1925.

Risnerus, F., *Risneri opticam cum annotationibus Willibrordi Snelli*, J. A. Vollgraff, (ed.), Ghent, 1918.

Stevin, S., *The complete works, Mechanics*, vol. I, E. J. Dijksterhuis

(ed.), Amsterdam, 1955.

Soto, D., *Summulae, Salmanticae, Excudebat Andreas. a Portonariis*, 1554, reprint, Georg Olms Verlag: Hildesheim, New York, 1980.

Suarez, F., *Disputationes metaphysicae*, Georg Olms, Hildesheim, 2 voll.

Tolomeo, C., *L'Optique de Claude Ptolémée dans la version latine d'après l'arabe de l'émir Eugène de Sicile*, A. Lejeune, (ed.), Université de Louvain, Recueil de travaux d'histoire et de philology, ser. 4, fasc. 8, Louvain, 1956.

Viète, F., *Opera mathematica in unum volumen congesta ac recognita. Opera atque studio Francisci a Schooten Leydensis, Lugduni Batavorum, ex Officina Bonaventuræ et Abrahami Elzeviriorum*, 1646.

Zabarella, J., *Opera Logica*, ed. W. Risse, Olms, Hildesheim, 1966.

De Methodis, 1578, C. Vasoli (ed.), Clueb, Bologna, 1985.

Zarlino, G., *Dimostrazioni harmonicae*, Venezia, 1571

Ististuzioni harmonicae, Venezia 1573.

III TESTI

III. 1 STUDI SULLA RIVOLUZIONE SCIENTIFICA

Ackerman, J. S., *Science and the Visual Art*, in *Seventeenth century science and the Visual Arts*, H. H. Rhys, Princeton University Press, 1961.

Bachelard, G., *Le Nouvel esprit scientifique*, Alcan, Paris, 1936.

Le rationalisme appliqué, Presses Universitaires de France, Paris, 1949.

La formation de l'esprit scientifique, Vrin, Paris, 1938.

Berkel, K. van, *Isaac Beeckman (1588-1637) en de Mechanisering van het Wereldbeeld*, Ph. D. diss., Utrecht University, 1983 [Rodopi, Amsterdam, 1983].

Blay M., *La conceptualisation newtonienne des phenomenes de la couleur*, Vrin, Paris,

La naissance de la mécanique analytique : la science du mouvement au tournant des 17 et 18 siècles, Presses Universitaires de France, Paris, 1992.

La Science Classique : 16-18. siècle : Dictionnaire Critique, M. Blay, R. Halleux (ed.), avec la collaboration de Georges Barthélemy, Flammarion, Paris, 1998.

et E. Nicolaïdes, *L'Europe des sciences : constitution d'un espace scientifique*, Seuil, Paris, 2001.

Infini, géométrie et mouvement au XVIIe siècle, EDP Sciences, Paris, 2000.

La naissance de la science classique au XVIIe siècle, Nathan Université, Paris, 1999.

Blond, J. M., *Logique et méthode chez Aristote*, Vrin, Paris, 1996.

Boyd, R., Kuhn, T. S., *Metaphor and theory change: what is Metaphor a metaphor for?* in *Metaphor and Thought*, A. Ortony (ed.), 1979, Cambridge University Press, Cambridge, 1979, trad. it. di L. Sosio, *La metafora nella scienza*, Feltrinelli, 1983.

Boyer, C. B., *History of Analytic Geometry*, Yeshiva University, Scripta Mathematica Series, New York, 1956

The Rainbow: From Myth to Mathematics, Thomas Yoseloff, New York and London, 1959.

A History of Mathematics, New York, John Wiley and Sons, 1968.

Bonelli, M. R.; Shea, W. R. (ed.), *Reason, Experiment, and Mysticism in the Scientific Revolution*, Macmillan, London, 1975.

Bonicalzi, F., *La ragione cieca*, Jaca Book, Milano, 1981.

Brunschvicg, L., *Les étapes de la philosophie mathématique*, Blanchard, Paris, 1993.

L'Umanisme de l'Occident, Presses Universitaires de France, Paris, 1961.

L'expérience humaine et la causalité physique, Presses Universitaires de France, Paris, 1949.

Les Ages de l'Intelligence, Alcan, Paris, 1937.

Héritage de mots, héritage d'idées, Presses Universitaires de France, Paris, 1945.

Spinoza et ses contemporains, Alcan, Paris, 1923.

Bruyère, N., *Méthode et dialectique dans l'œuvre de La amée*, Vrin, Paris, 1984.

Buchdahl, G., *Metaphysics and Philosophy of science*, M.I.T. Press, Cambridge, 1967.

Bunge, P. van., *From Stevin to Spinoza: An Essay on Philosophy in the Seventeenth Century Dutch Republic*, Brill, Leiden, 2001.

Burt, E. A., *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, Routledge & Kegan Paul, London, 1964.

Butterfield, H., *The Origins of Modern Science 1300-1800*, Free Press, New York, 1968

Casini, P., pref. a R. Lenoble, *Les origines de la pensée scientifique moderne*, Gallimard, Paris, 1957, trad. it. di G. Stabile, *Le origini del pensiero scientifico moderno*, Laterza, Roma-Bari, 1976.

Canguilhem, G., *La formation du concept du réflexe aux XVII et XVIII^e siècles*, Presses Universitaires de France, 1955.

La connaissance de la vie, Vrin, Paris, 1969.

Le normale et le pathologique, Presses Universitaires de France, Paris, 1966.

Cassirer, E., *Leibniz' System in seinen wissenschaftlichen Grundlagen*, Elwert, Marburg, 1902, trad. it di G. A. De Toni, *Cartesio e Leibniz*, Laterza, Bari, 1986.

Substance and Function, Dover Publications, New York, 1953.

Cavaillès, J., *Sur la logique et la théorie de la science*, Presses Universitaires de France, Paris, 1960.

Chene, D. Des, *Physiologia: Natural Philosophy in Late Aristotelian and Cartesian Thought*, Cornell University Press, Ithaca, 1957.

Chevalley, C., *Johann Kepler: Les fondements de l'optique moderne: Paralipomènes à Vitellion (1604)*, Vrin, Paris 1980.

Cleavelin, M., *La Philosophie naturelle de Galilée: Essai sur les Origines et la Formation de la Mécanique Classique*, Armand Colin, Paris, 1968.

Cohen, G., *Ecrivains français en Hollande dans la première moitié du XVII^e siècle*, Champion, Paris, 1920

Cohen, F. H., *The Scientific Revolution: An Historiographic Inquiry*, The University of Chicago Press, Chicago, 1994.

Quantifying Music. The Science of Music at the First Stage of the Scientific Revolution, 1580-1650, Dordrecht, Boston, Lancaster, D. Reidel, XVII, 1984.

Cohen, I. B., *The Birth of a New Physics*, Garden City, New York, 1960.

Costello, W. T., *The Scholastic Curriculum at Early 17th Century*, McDonald, London, 1970.

Crapulli, G., *Mathesis Universalis. Genesi di un'idea nel XVI secolo*, Edizioni dell'Ateneo, Roma, 1969.

Crescini, A., *Le origini del metodo analitico. Il cinquecento*, Del Bianco Editore, Udine, 1965.

Crombie, A. C., *Science, optics and music in medieval and early modern thought*, The Hambledon Press, London, 1990.

Robert Grosseteste and the origins of experimental science, 1100-1700, Clarendon Press, Oxford, 1971.

Medieval and Early Modern Science, Garden City, New York, 2 voll., 1959.

Crosby, H. L., *Thomas Bradwardine, His Tractatus de Proportionibus: Its Significance for the Development of Mathematics*, Madison, Wisconsin, 1955.

Damerow G., *Exploring the limits of pre-classical mechanics. A study of conceptual development in early modern sciences free fall and compounded notion in the work of Descartes, Galileo, and Beeckman*, Springer, New York, 2004.

Deleuze, G., *Logique du sens*, Editions de Minuit, Paris, 1969.

Différence et répétition, Presses Universitaires de France, 1968.

Depau, R. *Simon Stevin, Ciel et Terre*, Vol. 58, Brussels, 1942.

Dibon P., *La Philosophie Néerlandaise au siècle d'or*, Elzevier, Amsterdam, 1954

Dhombres J., *Nombre, mesure et continu, épistémologie et histoire*, Paris, Nathan, 1978.

Dijksterhuis, E. J., *Descartes et le cartésianisme hollandais*, Presses Universitaires de France, Paris, 1950.

Simon Stevin, Nijhoff, The Hague, 1943;

The Mechanization of the World Picture, Clarendon Press, Oxford, 1961.

Drake, S., *Galileo gleanings XVI. Semicircular fall in the Dialogue*, in *Physics*, 10, 1968.

Drake, S., Drabkin I. E., *Mechanics in Sixteenth Century Italy: Selections from Tartaglia, Benedetti, Guido Ubaldo and Galileo*, Madison, Wisconsin, 1969.

Draper, J. W., *Les conflits de la science et de la religion*, Germer, Paris, 1875. Durand, D. B., *Nicole Oresme and the Medieval Origins of Modern Science*, in *Speculum*, XVI, no. 2., 1941.

Farrington, B., *Science in Antiquity*, Abelard Schuman, New York, 1955.

Ferguson, W. K., *The Renaissance in Historical Thought; Five Centuries of Interpretations*, Houghton Mifflin Company, Boston, 1948.

Fleck, L., *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache*, Suhrkamp, Frankfurt, 1980.

Freguglia, P., *Ars Analytica. Matematica e Methodus nella seconda metà del '500*, Bramante Editrice, Busto Arsizio, 1988.

Fumaroli, M., *L'âge de l'éloquence*, Genève, Droz, 1980.

Funkenstein, A., *Theology and the Scientific Imagination from the Middle Ages to the Seventeenth Century*, Princeton University Press, 1986 trad. it. di A. Serafini, *Teologia e immaginazione scientifica dal Medioevo al Seicento*, Einaudi, Torino, 1996.

Geymonat, L., *Filosofia e filosofia della scienza*, Feltrinelli, Milano, 1976.

Gilbert, N. W., *Renaissance concept of method*, Columbia University Press, New York, 1960.

E. Giancotti, *Studi su Hobbes e Spinoza*, Bibliopolis, Napoli, 1995.

Gillispie, C. C., *The Edge of Objectivity. An Essay in the History of Scientific Ideas*, Princeton University Press, 1960.

Goblot, E., *Traité de Logique*, Armand Colin, Paris, 1947,

Granger, G-G., *Essai d'une philosophie du style*, A. Colin, Paris, 1968.

Grene, M., *Descartes*, The Harvester Press, 1985.

Guenancia P., *Descartes*, Bordar, Paris, 1986.

Guicciardini, N., *Newton : un filosofo della natura e il sistema del mondo*, Le Scienze, Milano, 1998.

Reading the Principia : the debate on Newton's mathematical methods for natural philosophy from 1687 to 1736, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.

Hall, A. R., *Ballistics in the Seventeenth Century : a study in the relations of science and war with reference principally to England*, Cambridge University Press, London 1952.

The Scientific Revolution, 1500-1700. 1954, Beacon, Boston, 1966.

Hacking, I., *The emergence of Probability*, Cambridge University Press, Cambridge, 1975.

Hall, M. B., *Nature and Nature's Laws: Documents of the Scientific Revolution*, Harper, New York, 1970.

Harré, R., *The Philosophy of Science*, Routledge, London, 1972.

Hill, C., *The Intellectual Origins of the English Revolution*, The Clarendon Press, Oxford, 1965.

Hoyningen-Huene, P., *Reconstructing scientific revolutions*, Chicago University Press, Chicago, 1993.

Hooykaas, R., *Science and Reformation*, in *The Evolution of Science: Readings from the History of Mankind*, ed. by Guy S. Métraux and François Crouzet, Toronto, n.d., pp. 258-290.

Israel, J., *The Dutch Republic and the Hispanic World: 1606-1661*, Clarendon Press, Oxford, 1982

Jardine, L., *Francis Bacon: Discovery and the Art of Discourse*, Cambridge University Press, Cambridge, 1974.

Joachim, H.H., *The nature of the truth*, Greenwood Press, New York, 1969.

Kearney, H. F., ed., *The Origins of the Scientific Revolution*, Longmans, London, 1964.

Koyré, A., *Du monde de l'à-peu-près à l'univers de la précision*, in *Etudes d'histoire de la pensée philosophique*, Armand Colin, Paris, 1961, trad. it. di P. Zambelli, *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*, Einaudi, Torino, 1967.

Kretzmann, N. ; Kenny, A. ; Pinborg, J., *The Cambridge History of later Medieval Philosophy*, The Cambridge University Press, Cambridge, 1982.

Kuhn, T. S., *The structure of Scientific Revolution*, The University of Chicago, 1962, trad. it. di A. Carugo, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino, 1996.

The essential tension, Chicago University Press, 1977, trad. it. di M. Vadicchino, *La tensione essenziale*, Einaudi, Torino, 1985.

The Copernican Revolution. Planetary Astronomy in the Development of Western Thought, Harvard University Press, Cambridge, 1957, trad. it. di T. Gaino, *La Rivoluzione Copernicana. L'astronomia planetaria nello sviluppo del pensiero occidentale*, Einaudi, Torino, 1972.

Lachterman, D., *The Etics of Geometry*, Routledge, New York / London, 1989.

Latour, B., Woolgar, S., *Laboratory Life: the Social Construction of Scientific Facts*, Beverly Hills, Sage Publications, London, 1979.

Laudan, L., *Science and Hypothesis*, Reidel, Dordrecht, 1981.

Lenoble, R., *Mersenne ou la naissance du mécanisme*, Vrin, Paris, 1942.

Levin, D. M., ed. *Modernity and the Hegemony of Vision*, University of California Press, Berkeley, 1993

Lindberg, D. C., *Theories of vision from al-Kindi to Kepler*, University of Chicago Press, Chicago, 1976.

Lindberg, D. C.; Westman, R. S.; *Reappraisals of the Scientific Revolution*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

Leroi-Gourhan, A., *Mileu et techniques*, Albin Michel, Paris, 1943.

Lovejoy, A. O., *The Great Chain of Being*, Harvard University Press, Oxford, 1936.

Maanen, J. A. van, *Facets of seventeenth century Mathematics in the Netherlands*, Ph. D. diss., Utrecht University, 1987

- McGahagan, T. A., *Cartesianism in the Netherlands. 1639-1676 The new Science and the Calvinist Counter-Reformation*, Phd Dissertation, University of Pennsylvania, 1977.
- Machamer, P. & Turnbull R. G. (ed.), *Motion and Time, Space and Matter. Interrelations in the History of Philosophy and Science*, Columbus, Ohio State University Press, Ohio, 1976.
- Mahoney, Michael S., *The Mathematical Career of Pierre de Fermat*, Princeton University Press, Princeton, 1973.
- McMullin, E., (ed.). *Galileo: Man of Science*, Basic Books, New York, 1967
- Merleau-Ponty, M., *Le visible et l'invisible*, Gallimard Paris, 1964.
- L'Œil et l'Esprit*, Gallimard, Paris, 1964.
- Mumford L., *Technics and Civilization*, Harcourt, Brace and Co., New York, 1934.
- Nuchelmans, G., *Late scholastic and humanistic theories of the proposition*, North Holland Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York, 1980.
- Ong, W. J., *Ramus, method and the decay of dialogue*, Cambridge University Press, Cambridge, 1958.
- Pagel, W., *Paracelsus, an Introduction to Philosophical Medicine in the era of the Renaissance*, Basel, 1958.
- Panofsky, E., *Galileo as a Critic of the Arts*, M. Nijhoff, The Hague, 1954.
- Die Perspektive als Symbolische Form*, B. G. Teubner, Leipzig-Berlin, 1927, trad. it. di E. Filippini, *La prospettiva come forma simbolica*, Feltrinelli, Milano, 1973.
- Parrini, P., *Conoscenza e realtà. Saggio di filosofia positiva*, Laterza Bari, 1995.
- Pintard, R., *Le Libertinage Érudite dans la première moitié du XVII siècle*, Slatkine, Paris, 1983.
- Merleau-Ponty, M., *Phenomenologie de la perception*, Gallimard, Paris, 1945.
- Le visible et l'invisible*, Gallimard, Paris, 1979.

L'œil et l'esprit, Gallimard, 1964, trad. it. a cura di G. Invitto
L'occhio e lo spirito, Milella, Lecce, 1971.

Popkin, R., *The history of skepticism from Erasmus to Spinoza*,
University of California Press, Berkeley, 1979.

Poppi, A., *Introduzione all'aristotelismo padovano*, Antenore,
Padova, 1970.

La dottrina della scienza in Giacomo Zabarella, Antenore,
Padova, 1972.

Randall, J. H., *The school of Padua and the emergence of modern
science*, Antenore, Padova, 1961.

Redondi, P., *Epistemologia e storia. Le svolte teoriche da Duhem
a Bachelard*, Feltrinelli, Milano, 1978.

Risse, W., *Bibliographia logica. I Band (1472-1800)*, Hildesheim,
Georg Olms, 1965.

Die logik der Neuzeit. I Band (1500-1640), Stuttgart-Bad
Cannstatt, Fromann, 1964.

Die logik der Neuzeit. II Band (1640-1780), Stuttgart-Bad
Cannstatt, Fromann, 1970.

Ronchi, V., *Storia della luce. Da Euclide a Einstein*, Laterza,
Bari, 1983.

Rorty, R., *Philosophy and the Mirror of Nature*, Princeton
University Press, Princeton, 1979.

Rossi, P., *I filosofi e le macchine*, Feltrinelli, Milano, 1962.

Francesco Bacone : filosofo dell'eta industriale, Einaudi, Torino,
1976.

*Clavis universalis : arti della memoria e logica combinatoria da
Lullo a Leibniz*, Il Mulino, Bologna, 2000.

I ragni e le formiche: un'apologia della storia della scienza, Il
Mulino, Bologna, 1986.

Francesco Bacone. Dalla magia alla scienza, Il Mulino, Bologna,
2004.

Santillana, G. de., *The Role of Art in the Scientific Renaissance*, in
Critical Problems in the History of Science, (1959), cit.

Sarton, G., *Appreciations of Ancient and Medieval Science During the Renaissance (1450-1600)*, Barnes, New York, 1961.

Serres, M., *Hermès. Vol 1. La Communication*, Editions de Minuit, Paris, 1984.

Hermès. Vol 2. L'Interférence, Editions de Minuit, Paris, 1972.

Hermès. Vol 3 La Traduction, Editions de Minuit, Paris, 1974.

Hermès, Vol 4: La Distribution, Paris, Editions de Minuit Paris, 1981.

Hermès. Vol 5. Le Passage du nord-ouest, Editions de Minuit, Paris, 1980.

Shapin, S., Shaffer S., *Leviathan and the Air Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*, Princeton University Press, Oxford, 1985.

Schmidt, A. M., *La Poésie scientifique en France au 16^e siècle*, Paris, 1938.

Spallanzani, M., *Filosofi. Figure del filosofo nell'età dei lumi*, Sellerio, Palermo, 2002.

Struik, D. J., *A Concise History of Mathematics*, Dover, New York, 2 vols, 1948.

The Land of Stevin and Huygens, D. Reidel, Publishing Company, Dordrecht, 1984.

Tega, W., *Arbor scientiarum. Enciclopedia e sistemi in Francia da Diderot a Comte*, Il Mulino, Bologna, 1984.

Vasoli, C., *La dialettica e la retorica dell'umanesimo. Invenzione e Metodo nella cultura del XV e XVI secolo*, Feltrinelli, Milano, 1968.

Wallace, A., *Causality and Scientific Explanations*, Ann Arbor, The University of Michigan. Press, 2 voll., 1972-1974.

Watson, R. A., *The Downfall of Cartesianism, 1673-1712. A study of epistemological issues in late 17. century cartesianism*, M. Nijhoff, The Hague, 1966.

Weiss, R. J., *A Brief History of the Light and Those That Lit the Way*, World Scientific Publishing, Singapore, 1996.

Whewell, W., *History of the Inductive Sciences*, Cass, London, 3 voll., 1967 (1837).

Theories of Scientific Method, Hackett, Indianapolis, 1989.

Whitehead, A. N., *The Concept of Nature*, Cambridge University Press, Cambridge, 1920.

Williams, G. H. R., *The radical Reformation*, Weidenfeld and Nicholson, London, 1965.

Whightman, W. P. D., *Science and the Renaissance*, Oliver & Boyd, for the University of Aberdeen, Edinburgh, 2 voll., 1962.

Wolf, A., *A History of Science, Technology, and Philosophy in the Sixteenth and Seventeenth Centuries*, Harper, London, 1950.

Yates, F. A., *The Art of Memory*, Routledge, London, 1966.

The Theatre of the World, University of Chicago Press, Chicago, Chicago, 1969.

The Rosacruciarum Enlightenment, Paladin, London, 1975.

III. 2 STUDI CRITICI E MONOGRAFIE

Allard, J. L., *Le Mathématisme de Descartes*, Editions de l'Université d'Ottawa, Ottawa, 1963.

Alquié, F., *La Découverte métaphysique de l'homme chez Descartes*, Presses Universitaires de France, Paris 1950.

Descartes, Hatier, Paris, 1969.

Le rationalisme de Spinoza, Presses Universitaires de France, Paris, 1981.

Aiton, E. J., *The Vortex theory of planetary motion*, Elsevier, New York, 1972.

Barbin, É., *Les Philosophes et les Mathématiques*, Ellipses, Paris, 1996.

Beck, L. J., *The method of Descartes, A study of the Regulae*, Oxford University Press, London, 1952.

The Metaphysics of Descartes: a Study of the Meditations, Clarendon Press, Oxford, 1965

Beck, L. W., *Early German philosophy: Kant and his predecessors*, Harvard University Press, Cambridge, 1969

Beyssade, J.-M., *La philosophie première de Descartes*, Flammarion, Paris, 1979.

Descartes au fil de l'ordre, Presses Universitaires de France, Paris, 2001.

Belaval, Y., *Leibniz critique de Descartes*, Gallimard, Paris, 1960.

Borghero, C., *La certezza e la storia. Cartesianesimo, pirronismo e conoscenza storica*, F. Angeli, Milano, 1983.

Bouillier, F., *Histoire de la Philosophie Cartésienne*, 2 voll., 5^e ed. Skaktine, Genève, 1970

Boutroux, P., *L'Imagination et les Mathématiques selon Descartes*, Alcan, Paris, 1900

Brunschvicg, L., *Les Étapes de la Philosophie Mathématique*, Blanchard, Paris, 1972.

- Bunge, W. van, ed., *Early Enlightenment in the Dutch Republic, 1650-1750*, Brill, Leiden, 2003
- Buzon, F. de; Carraud, V., *Descartes et les Principia II. Corps et mouvement*, Presses Universitaires de France, Paris, 1994.
- Cahné, P.-A., *Un autre Descartes. Le philosophe et son langage*, Vrin, Paris, 1980.
- Canziani, G., *Filosofia e scienza nella morale di Descartes*, La Nuova Italia, Firenze, 1980.
- Carraud. V., *Causa sive Ratio. La causalité de Suarez à Leibniz*, Epimetés, Paris, 2002.
- Carter, R. B., *Descartes' Medical Philosophy: The Organic Solution to the Mind-Body Problem*, John Opkins University Press, Baltimore, 1983.
- Caton, R., *The Origin of Subjectivity, An Essay on Descartes*, Yale University Press, 1973.
- Cavaillé, J.-P., *Descartes. La fable du monde*, Vrin, Paris, 1991.
- Cosenza, P., *Logica formale e antiformalismo. Da Aristotele a Descartes*, Liguori, Napoli, 1987.
- Sillogismo e concatenazione nelle "Regulæ" di Descartes*, Tempi Moderni, Napoli, 1984.
- Chomsky, N. *Cartesian Linguistics*, Harper & Row, New York and London, 1966.
- Clarke, D., *Descartes' philosophy of science*, Manchester University Press, Manchester, 1982.
- Occult powers and hypotheses. Cartesian natural philosophy under Louis XIV*, Clarendon Press, Oxford, 1989.
- Collins, J., *Descartes' Philosophy of Nature*, Blackwell, Oxford, 1971.
- Costabel, P., *Démarches originales de Descartes savant*, Vrin, Paris, 1982.
- Cottingham, C., *Descartes*, Blackwell, Oxford, 1986.
- Crapulli G.; Giancotti-Boscherini E., *Ricerche lessicali su opere di Descartes e di Spinoza*, Roma, Ed. Dell'Ateneo, 1969.

Cronin, T. J., *Objective Being in Descartes and in Suárez*, Presses de l'Université Grégorienne, Rome, 1966.

Curley, E., *Descartes Against the Skeptics*, Harvard University Press, Cambridge, 1978.

De Angelis, *La critica del finalismo nella cultura cartesiana*, Le Monnier, Firenze, 1967.

Fichant, M., *Science and Métaphysique dans Descartes et Leibniz*, Presses Universitaires de France, Paris, 1998.

Gahagan, Mc. T. A., *Cartesianism in the Netherlands. 1639-1676 The new Science and the Calvinist Counter-Reformation*, Phd Dissertation, University of Pennsylvania, 1976.

Garber, D., *Descartes' Metaphysical Physics*, The University of Chicago Press, Chicago, 1992.

Descartes embodied: reading Cartesian philosophy through Cartesian science, Cambridge University Press, New York, 2001.

Garin, E., *Vita e opere di Cartesio*, Laterza, Bari, 1967.

Gaukroger, S., *Cartesian Logic*, Oxford University Press, New York, 1989.

Descartes. An Intellectual Biography, Clarendon Press, Oxford, 1995.

Gilson, E., *Études sur le Role de la Pensée Médiévale dans la Formation du système Cartésien*, Vrin, Paris, 1930.

Gori, G., *Cartesio*, Isedi, Milano, 1977.

La fondazione dell'esperienza in Gravesande, La nuova Italia, Firenze, 1972.

Gouhier, H., *Essais sur Descartes*, Vrin, Paris, 1949.

Les Premières Pensées de Descartes, Vrin, Paris, 1958.

Gewirth, A., *Descartes*, Mac Millan, Londra, 1972.

Gregory, T., *Genèse de la raison classique de Charron à Descartes*, Presses Universitaires de France, Paris, 2000.

Graham Burnett, D., *Descartes and the hyperbolic quest*, American Philosophical Society, Philadelphia, 2005.

Grimaldi, G., *L'expérience de la pensée dans la philosophie de Descartes*, Vrin, Paris, 1978.

- Grosholz, E. R., *Cartesian method and the problem of reduction*, Clarendon Press, Oxford, 1991.
- Gueroult, M., *Descartes selon l'Ordre des Raisons*, Aubier-Montaigne, Paris, 1968.
- Spinoza I. Dieu*, Olms, Hildesheim, 1968.
- Spinoza II. L'ame*, Olms, Hildesheim, New York, 1974.
- Etudes sur Descartes, Spinoza, Malebranche et Leibniz*, Olms, Hildesheim, New York, 1974.
- Guhier, H., *Les premières pensées de Descartes. Contribution à l'histoire de l'Anti-Renaissance*, Vrin, Paris, 1958.
- Hamelin, O., *Le système de Descartes*, Alcan, Paris, 1911.
- Hintikka, J.; Remes, U., *The method of Analysis*, Reidel, Dordrecht, 1974.
- Husserl E., *Méditations cartésiennes: introduction a la phénoménologie*, G. Peiffer, E. Levinas (ed.), Vrin, Paris, 1947.
- Jullien, V., *Descartes. La «Géométrie» de 1637*, Presses Universitaires de France, Paris, 1996.
- Kenny, A., *Descartes*, Random House, New York, 1968.
- Koyré, A., *Etudes galiléennes*, Hermann, Paris, 1966, trad. it. di M. Torrini, *Studi galileiani*, Einaudi, Torino, 1976.
- Entretiens sur Descartes*, Brentano, New York, 1944.
- Newtonian studies*, The University of Chicago Press, Chicago 1968, trad. it. di P. Galluzzi, *Studi newtoniani*, Einaudi, Torino, 1972.
- Lachterman, D. R., *Mathematics, Method and Metaphysics: Essays toward a Genealogy of Modern Thought*, Phd. Diss., 1984.
- Laporte, J., *Le rationalisme de Descartes*, Presses Universitaires de France, Paris, 1950.
- Lautman, *Essai sur les notions de structure et d'existence en mathématique*, Hermann, Paris, 1938.
- Kemp Smith, N., *New Studies in the Philosophy of Descartes*, Macmillan, London, 1966.
- Kenny, A., *Descartes: A Study of his Philosophy*, Andom House, New York, 1968.

Mamiani, M., *Teorie dello spazio da Descartes a Newton*, Franco Angeli, Milano, 1980.

Marion, J.-L., *Sur l'Ontologie grise de Descartes*, Vrin, Paris, 1975.

Sur l'Ontologie Blanche de Descartes, Presses Universitaires de France, Paris, 1981.

Descartes, Objecter et répondre, Presses Universitaires de France, Paris, 1994.

Sur le prisme métaphysique de Descartes, Presses Universitaires de France, 1986

Mullin, Mc. E., *The concept of matter*, University of Notre Dame Press, London, 1963.

Milhaud, G., *Descartes Savant*, Alcan, Paris, 1922.

Molhuysen, P. C., *Bronnen tot de geschiedenis der Leidsche Universiteit*, M. Nijhoff, The Hague, 7 vol., 1913-24.

Monchamp, Mgr. G., *Histoire du Cartesianisme en Belgique*, F. Hayez, Bruxelles, 1886.

Mouy, P., *Le développement de la physique cartésienne*, Vrin, Paris, 1934.

Olscamp, P., J., *Introduction to Descartes: Discourse on Method, Optics, Geometry, and Meteorology*, Bobbs-Merrill, Indianapolis, 1965.

Pala, A., *Lecture cartesiane*, Milano, Angeli, 1997.

Perini, R., *Il problema della fondazione nelle «Regulae» di Descartes*, Rimini, Maggioli, 1983.

Robinet, A., *Aux sources de l'esprit cartésien*, Vrin, Paris, 1996.

Rodis Lewis, G., *L'individualité selon Descartes*, Vrin, Paris, 1950.

Le problème de l'inconscient et le cartésianisme, Presses Universitaires de France, Paris, 1950.

Descartes, Calmann-Levy, Paris, 1995.

L'Œuvre de Descartes, Vrin, Paris, 2 voll., 1971.

La science chez Descartes, Garland, New York, 1987.

Le développement de la pensée de Descartes, Vrin, Paris, 1997.

Descartes et le rationalisme, Presses Universitaires de France, 1992.

Ruestow, Edw. G., *Physics at seventeenth and eighteenth century Leiden*, Martinus Nijhoff, The Hague, 1978.

Ruler, J. A. Van, *The Crisis of Causality: Voetius and Descartes on God, Nature and Change*, Brill, Leiden, 1995.

Sabra, A. I., *Theories of light from Descartes to Newton* Oldbourne Book, Co. LTD, London, 1967.

Scribano, M. E., *Da Descartes a Spinoza, Percorsi della teologia razionale nel Seicento*, Franco Angeli, Milano, 1988.

Guida alla lettura delle Meditazioni Metafisiche di Descartes, Laterza, Bari, 1997.

Segonde, J., *La Sagesse Cartésienne et l'Idéal de la Science*, Vrin, Paris, 1962.

Shea, W. R., *The Magic of Number and Motion. The Scientific Career of R. Descartes*, Watson Publishing International Nantucket, 1991; trad. it. di A. Lorio, *La Magia dei Numeri e il Moto. R. Descartes e la Scienza del Seicento*, Bollati Boringhieri, Torino, 1994.

Sirven, J., *Les années d'apprentissage de Descartes*, Vrin, Paris, 1928.

Smith, A. M., *Descartes's Theory of Light and Refraction. A Discourse on Method*, American Philosophical Society, Philadelphia, 1987.

Spallanzani, M., *Diventare filosofo*, Alinea, Firenze, 1999.

Immagini di Descartes nell'Encyclopédie, Il Mulino, Bologna, 1990.

L'arbre et le Labyrinthe, Vrin, Paris, 2008.

Tagliaferro, R. C., *The concept of matter in Descartes and Leibniz*, University of Notre Dame Press, London, 1964.

Thijssen Schoutte, C. L., *Nederland Cartesianisme, (avec un sommaire en français)*, Noord-Hollandse Uitgeversmaatschappij, Amsterdam, [1954] 1989. Reprint, with a biographical sketch of the

author and a bibliographical supplement by Th. Verbeek, HES publishers, Utrecht.

Tilmann, A., *L'itinéraire du jeune Descartes*, Champion, Paris 1976.

Trevisani, F., *Descartes in Germania*, Franco Angeli, Milano, 1992.

Verbeek, Th., *Descartes and the Dutch. Early Reaction to Cartesian Philosophy 1637-1650*, Southern Illinois Press, Carbondale, 1992.

Johannes Clauberg (1622-1665) and Cartesian Philosophy in the Seventeenth Century, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht-Boston-London, 1999.

La Querelle d'Utrecht, Les Impressions Nouvelles, Bruxelles, 1988.

Spinoza's Theologico-political Treatise: exploring "the will of God", Ashgate, Aldershot, 2002.

Vuillemin, J., *Mathématiques et métaphysique chez Descartes*, Vrin, Paris 1960.

La Philosophie de l'Algèbre, Presses Universitaires de France, Paris, 1962.

Wahl, J., *Du Role de l'Idée de l'Instant dans la Philosophie de Descartes*, Alcan, Paris, 1920.

Watson R., *The Breakdown of Cartesian Metaphysics*, Humanities Press International, Highlands, 1987.

Weber, J. P., *La constitution du texte des Regulae*, Paris, CDU, Sedes, 1964.

Williams, B., *Descartes: The Project of Pure Enquiry*, Penguin, Harmondsworth and Harvester, Brighton, Sussex, 1978.

Wilson, M. D., *Descartes*, Routledge, London, 1978.

Wolf-Devine, C., *Descartes on seeing : epistemology and visual perception*, The Journal of History of Philosophy, monograph. series, 1993.

III. 3 VOLUMI COLLETTIVI

Armogathe J.-R.; Belgioioso G.; Vinti C. (ed.), *La Biografia intellettuale di Descartes attraverso la Correspondance*, Vivarium, Napoli, 1998.

Ariew R.; Grene M. (ed.), *Descartes and his Contemporaries. Meditations, Objections and Replies*, University of Chicago Press, Chicago / London, 1995.

Belgioioso, G.; Cimino, G.; Costabel, P.; Papuli, G. (ed.), *Descartes: Il Metodo e I Saggi : Atti del Convegno per il 350° Anniversario della pubblicazione del Discours de la Méthode e dei Saggi*, Istituto della Enciclopedia Italiana, Treccani, Roma, 2 voll., 1990.

Balz, A. G. (ed.), *Cartesian Studies*, Columbia University Press, New York, 1951.

Biard J.; Rashed, R. (ed.), *Descartes et le Moyen Age*, Vrin, Paris, 1997.

Blackwell, C.; Kusukawa, S. (ed.), *Philosophy in the Sixteenth and Seventeenth Centuries*, Ashgate, Hampshire, 1999.

Bourgeois, B.; Havet J., (ed.), *L'esprit cartésien. Actes du XXVIe Congrès de l'Association des Sociétés de Philosophie de Langue Française*, Vrin, Paris, 2000.

Butler, R. J. (ed.), *Cartesian Studies*, Oxford, University Press, 1972.

Butts R. E.; Pitt, J. C. *New Perspective on Galileo*, Dordrecht, Reidel, 1978.

Butler, R. J. (ed.), *Cartesian Studies*, Blackwell, Oxford, 1972.

Brunschvicg, L. ; Bréhier, É. ; Rivaud, A. ; Laporte, J. ; Gouhier, H. ; Enriques F., et alii (ed.), *Études sur Descartes*, Colin, Paris, 1937.

Clagett, M. (ed.), *Critical problems in the history of science : proceedings of the Institute for the history of science at the*

University of Wisconsin, September 1-11, 1957, Madison, The University of Wisconsin Press, 1959.

Cohen, R. S. et al. (ed.), *Essays in memory of Imre Lakatos*, Reidel, Dordrecht, 1975.

Cottingham, J., (ed.), *The Cambridge Companion to Descartes*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.

Doney, W. (ed.) *Descartes: A Collection of Critical Essays*, Doubleday & Co., New York, 1967.

A Collection Studies, Garland, New York and London, 1987.

Fattori M. (ed.), *Il vocabolario della République des lettres. Terminologia filosofica e storia della filosofia. Problemi di metodo*, Olschki, Firenze, 1997.

Gabbey, A., Ayers, M. (ed.), *The Cambridge History of Seventeenth-Century Philosophy*, Cambridge University Press, Cambridge & New York, 2 voll., 1998.

Gaukroger, S.; Schuster, J.; Sutton, J. (ed.), *Descartes' Natural Philosophy*, Routledge, London, 2000.

Descartes: Philosophy, Mathematics, and Physics, Harvester, Sussex, 1980.

Garber. G. (ed.), *The Cambridge History of Seventeenth Century Philosophy*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.

Gori, G. (ed.), *Cartesio negli scritti di P. Rossi, L. Beck, E. J. Dijksterhuis, P. Costabel, F. Alquié, M. Gueroult, j. Hintikka, A. Kenny, H. Gouhier, G. Rodis-Lewis, R. Polin*, Istituto Editoriale Internazionale, Milano, 1977.

Grene, M. (ed.), *Spinoza and the sciences*, Reidel, Dordrecht e Boston, 1986.

Grimaldi, N.; Marion, J-L. (ed.), *Le Discours et sa Méthode*, Presses Universitaires de France, Paris, 1987.

Hessing, S. (ed.), *Speculum Spinozanum, 1677-1977*, Routledge & Kegan, London, 1977.

Hooker, M. (ed.), *Descartes critical and interpretative essays*, J. Hopkins University, Baltimore London, 1978.

Lindberg D. C. (ed.), *Science in the Middle Ages*, Chicago History of Science and Medicine, Chicago, 1978.

Madden, E. M. (ed.), *Theories of Scientific Method*, University of Washington Press, Seattle, 1960.

Magnus B.; Wilbur J. B. (ed.), *Cartesian Essays: A Collection of critical Studies*, The Hague, M. Nijhoff, 1969.

Mechoulan, H. (ed.), *Problématique et réception du «Discours de la méthode» et des «Essais»* (avec une ouverture de J. L. Marion), Vrin, Paris, 1988.

Moyal G. (ed.), *René Descartes. Critical Assessments*, Routledge, London, 4 voll., 1991.

Mullin, E. Mc. (ed.), *The Concept of Matter in Modern Philosophy*, University of Notre Dame Press, London, 1963.

Nadler, S. (ed.), *A companion to Early Modern Philosophy*, Blackwell, Malden, 2002.

Olivieri L. (ed.), *Aristotelismo veneto e scienza moderna*, Antenore, Padova, 2 voll., 1983.

Righini-Bonelli, M. L.; Shea, W. R. (ed.), *Nature, experiment, and the sciences: essays on Galileo and the history of science in honour of Stillman Drake*, Kluwer, Dordrecht 1990.

Rodis-Lewis, G. (ed.), *Descartes, Textes et Débats*, Librairie Générale française, Paris, 1984.

Méthode et Métaphysique chez Descartes. Etudes en français, Garland, New York / London, 1987.

Robert, A. (ed.), *Actes du 8^o Colloque de Marseille, Janvier 1978*, «Travaux récents sur le XVII^e siècle, Centre méridional des Rencontres sur le XVII^e siècle», Marseille, 1979.

Rossi, P. (ed.) *Lezioni sull'Illuminismo*, Feltrinelli, 1980.

Santucci, A. (ed.), *L'eta dei Lumi : Saggi sulla cultura settecentesca*, Il Mulino, Bologna, 1998.

Filosofia e cultura nel Settecento britannico, 1: Fonti e connessioni continentali, John Toland e il deismo, Il Mulino, Bologna, 2001.

- Shea W. R. (ed.), *Nature Mathematized*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Boston, 1983.
- Sorrel, T. (ed.), *The Rise of Modern Philosophy*, Oxford University Press, Oxford, 1991.
- Descartes, 1596-1650*, Ashgate, London, 1999.
- Spallanzani M. (ed.), *Letture cartesiane* Clueb, Bologna, 2003.
- Studia Cartesiana I*, Quadratures, Amsterdam, 1979.
- Studia Cartesiana II*, Quadratures, Amsterdam, 1981.
- Studia Spinoziana II*, Verlag, 1986.
- Studia Spinoziana II*, Verlag, 1996.
- Tega, W. (ed.), *Linguaggi e saperi nel XVII Secolo*, Olschki, Firenze, 1999.
- Teich, M., Young R. (ed.), *Changing Perspectives in the History of Science*, Heinemann, London, 1973.
- Woolhouse, R. S. (ed.), *Metaphysics and Philosophy of Science in the 17th and 18th Centuries*, Kluwer, Dordrecht / London / Boston, 1988.
- Verbeek, T. (ed.), *Descartes et Regius. Autour de l'Explication de l'esprit humain*, Rodopi, Amsterdam-Atlanta, 1993.
- Vinti, C. (ed.), *Koyré. L'avventura intellettuale*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli, 1994.
- Voss, S. (ed.), *Essays on the Philosophy and Science of René Descartes*, Oxford University Press, New York / Oxford.

III. 4 ARTICOLI

Agassi, J., *The nature of scientific problems and their roots in metaphysics*, in «The Critical Approach to Science and Philosophy», Mario Bunge, (ed.), Collier Macmillan, London, 1964, pp. 189-211

Aiton, E. J., *The Cartesian theory of gravity*, in «Annals of Science», 15 (1959), pp. 27-50.

Ariew, R., *Descartes and the late Scholastics*, in «Philosophy in the Sixteenth and Seventeenth Centuries», cit.

Armogathe, J.-R., *La publication du Discours et des Essais*, in «Descartes: Il Metodo e i Saggi», cit., pp. 17-27

Contribution à la sémantèse d'ordre/ordo chez Descartes, in «Colloquio del Lessico Intellettuale Europeo», cit., pp. 279-328.

Balz, G. A., *Whitehead, Descartes, and the Bifurcation on Nature*, in «The Journal of History of Philosophy», 31, 1934, pp. 281-297.

Barchilon, J., *Les songes de Descartes du 10 novembre 1619 et leur interprétation*, in «Papers in French Seventeenth Century Literature», XI, 20 (1984), pp. 99-113.

Baron, H., *Towards a More Positive Evaluation of the Fifteenth-century Renaissance*, in «Journal of the History of Ideas», IV, Jan. 1943, pp. 21-49.

Berkel, K. van, *Descartes' debt to Beeckman. Inspiration, cooperation, conflict*, in «Descartes natural philosophy», cit., pp. 47-59.

Beysade, J.-M., *Création des vérités éternelles et doute métaphysique*, in «Studia Cartesiana» II, cit., pp. 86-105.

Certitude et fondement. L'évidence de la raison et la véracité divine dans la métaphysique du Discours, in «Le Discours et sa Méthode», cit., pp. 341-364.

Belgioioso, G., *L'Aristotele degli Essais*, in «Descartes : Il Metodo e i Saggi», cit., pp. 17-27.

Descartes e gli artigiani, in «La Biografia Intellettuale de René Descartes attraverso la Correspondance», cit., pp. 113-165.

Berti, E., *Differenza tra il metodo risolutivo degli aristotelici e la resolutio dei matematici*, in «Aristotelismo Veneto e Scienza Moderna», cit., pp. 435-457.

Blackwell, R. J., *Descartes Concept of Matter*, in «The Concept of Matter in Modern Philosophy», cit., pp. 59-76.

Blay, Michel, *Le traitement newtonien du mouvement des projectiles dans les milieux résistants*, in «Revue d'histoire des sciences», t. 40, n° 3/4, 1987, pp. 325-355.

La construction d'une organisation déductive de la science du mouvement au XVIIe siècle, «L'écriture du texte scientifique au Moyen-âge», pp. 247-264, 2006.

Lumière et couleurs newtoniennes, «La lumière au siècle des Lumières et aujourd'hui», pp. 52-67, 2005.

Mathematization of the Science of Motion at the turn of the Seventeenth and Eighteen Centuries: Pierre Varignon, «The reception of the Galilean science of motion in seventeenth-century Europe», vol. v. 239, pp. 243-259, 2004.

Blumenberg, H., *Light as a Metaphor for Truth*, in «Modernity and the Hegemony of Vision», ed. D. M., Levin, University of California Press, Berkeley, 1993, pp. 210-231.

Borghero, C., *La Méthode senza la Géométrie : Poisson e la diffusione del metodo cartesiano*, in «Descartes: il Metodo e i Saggi», cit., pp. 587-595.

Bos, H. J. M., *Arguments on motivation in the rise and decline of a mathematical Theory: the Construction of equations, 1637 ca. 1750*, in «Archive for History of the Exact Sciences», XXX, 1984, pp. 331-380.

On the Representaion of Curves in Descartes' Géométrie, in «Archive for History of Exact Sciences», XXIV (1981), pp. 295-338.

Bréhier, E., *Matière cartésienne et création*, in «Revue de Métaphysique et de Morale», 44, 1937, pp. 21-34.

Brunschvicg, L., *Mathématique et Métaphysique chez Descartes*, in «*Révue de Métaphysique et de Morale*», 34, 1927, pp. 309-356.

La pensée intuitive chez Descartes, in «*Études sur Descartes*, cit., pp. 1-19.

Buchdahl, G., *The relevance of Descartes' philosophy for modern philosophy of science*, in «*British Journal for the History of Science*», 1, 1963, pp. 227-249.

Descartes's anticipation of a logic of scientific discovery, in «*Scientific Change*», cit., pp. 399-417.

Buchwald, J. Z., *Descartes's Experimental Journey Past the Prism and Through the Invisible World to the Rainbow*, in «*Annals of Science*», 65, 1, 2008, pp. 1-46.

Butts, E. R., *Some Tactics in Galileo's Propaganda for the Mathematization of Scientific Experiences*, in «*New Perspective on Galileo*», cit., pp. 59-86.

e Pitt, J. C. *New Perspective on Galileo*, in «*Renaissance Quarterly*», Vol. 33, No. 3, 1980, pp. 433-438.

Canguilhem, G., *L'oggetto della storia delle scienze*, trad. it. di C. Maggioni, in «*La ragione cieca*», cit., pp. 91-110.

Canziani, G., *Histoire autobiographique e fable del mondo tra le Regulae e il Discours*, in «*Descartes : Il Metodo e i Saggi*», cit., pp. 163-185.

Cateron, H., *L'idée de la force mécanique dans le système de Descartes*, in «*Révue Philosophique*», 94, 1922, pp. 243-260.

Caton, H., *The status of metaphysics in the «Discourse on Method»*, in «*Man and World*», 5, 1972, pp. 468-474.

Cohen, I. B., *Quantum in se est. Newton's Concept of Inertia in Relation of Descartes and Lucretius*, in «*Notes and Records of the Royal Society of London*», 19, 1964, pp. 131-155.

Costabel, P., *Essai critique sur quelques concepts de la mécanique cartésienne*, in «*Archives Internationales d'histoire des Sciences*», 20, 1967, pp. 235-252.

Physique et métaphysique chez Descartes, in «Human Implications of Scientific Advance», E. G. Forbes, (ed.), Edinburgh University Press, Edinburgh, 1978, pp. 268-277.

La Propagation de la lumière sans transport de matière de Descartes à Huygens, in «Roemer et la vitesse de la lumière», Vrin, Paris, 1978, pp. 83-91.

Descartes et la mathématique de l'infini, in «Historia Sci.», 29, 1985, pp. 37-49.

Descartes et la racine cubique des nombres binômes, in «Revue Histoire Sci.» 22, 1969, pp. 97-116.

Les Regulae et l'actualité scientifique de leur temps, in «Les Etudes Philosophiques», 31/4, 1976, pp. 415-423.

La réception de la Géométrie et les disciples D'Utrecht, in «Problématique et réception», cit., p. 59-63.

Clarke, D., *The Discours and Hypotheses*, in «Descartes: Il Metodo e I Saggi», cit., pp. 201-209.

The Concept of experience in Descartes' theory of knowledge, in «Studia leibnitiana», VIII, 1976, pp. 18-39.

Descartes' critique of logic, in «Truth, knowledge and reality», Wiesbaden, 1981, pp. 27-35.

Cosenza, P., *La «consequentia» nelle «Regulae» di Descartes*, in «Rivista di Filosofia Neoscolastica», 75 (1983), pp. 200-222.

Crombie, A. C., *Expectation, modelling and assent in the history of optics. II. Kepler and Descartes*, in «Stud. Hist. Philos. Sci.» 22, 1991, pp. 89-115.

Curley, E. M., *Descartes on the Creation of Eternal Truths*, in «Descartes, 1596-1650», cit., pp. 263-293 (Philosophical Review, 93, 1984, pp. 569-597).

Dales, R. C., *Robert Grosseteste's Scientific Works*, in Isis 52, 1961, pp. 381-402.

Robert Grosseteste's Place in Medieval Discussions of the Eternity of the World, in «Speculum», 61, pp. 544-563.

Dionisotti, A. C., *On the Greek Studies of Robert Grosseteste*, in «The Uses of Greek and Latin: Historical Essays», A. C. Dionisotti, A. Grafton, J. Kraye (ed.), Warburg, London, 1988, pp. 19-39.

Eastwood, B. S., *Medieval Empiricism: the Case of Grosseteste's Optics*, in «Speculum», 43, 1968, pp. 306-321.

Evans, G. R., *The Conclusiones of Robert Grosseteste's Commentary on the Posterior Analytics*, in «Studi medievali», ser. 3, 24, 1983, pp. 724-734.

De Angelis E., *Il Metodo geometrico da Cartesio a Spinoza*, in «Giornale critico della filosofia italiana», 43, 1964, pp. 393-427.

Demerson, G., *Météorologie et Poésie française de la Renaissance*, in «French Renaissance Studies» 1540-70, Edinburgh, 1976.

Dibon, P., *L'influence de Ramus aux universités Néerlandaises du 17e siècle*, in «Actes du Xle Congrès International de Philosophie» (Bruxelles 1953), Brussels and Louvain, 1954, pp. 307-311.

Doney, W., *Some recent works on Descartes. A bibliography*, in «Descartes. Critical and Interpretative Essays», cit., pp. 299-312.

Descartes's conception of perfect knowledge, in «Journal of the History of Philosophy», 8, 1970, pp. 387-403.

Drake, S., *Galileo's Discovery of the Law of Free Fall*, in «Scientific American», 228, n.5, May 1973, pp. 84-92.

Galileo's New Sciences of Motion, in «Nature, experiment, and the sciences : essays on Galileo and the history of science», cit., pp. 131-157.

Duchesneau, F., *More Geometrico. Pattern in Hypotheses*, in «Nature Mathematized», cit., pp. 197-215.

Edwards, W. F., *L'aristotelismo padovano e le origini delle moderne teorie del metodo*, in «Aristotelismo Veneto e Scienza Moderna», cit., pp. 186-205.

Estwood, B. S. *Grosseteste, R., On Refraction Phenomena*, in «American Journal of Physics», 38, 1970, pp. 196-199.

Field, R. W., *Descartes on the Material Falsity of Ideas*, in «Descartes, 1596-1650», cit., pp. 189-215 (*Philosophical Review*, 102, 1993, pp. 309-333).

Frankfurt, H. G., *Descartes on the Consistency of Reason*, in «Descartes. Critical and Interpretative Essays», cit., pp. 26-40.

Gabbey, A., *Explanatory Structures and Models in Descartes' Physics*, in «Descartes : Il Metodo e i Saggi», cit., pp. 273-287.

Force and Inertia in Seventeenth Century Dynamics, in «Studies in History and Philosophy of Science», II 1971, pp. 1-67.

Gabe, L., *La Regle XIV, lieu entre Géométrie et Algèbre*, in «Archives de Philosophie», 36, 1983, pp. 654-660.

Gadoffre, G., *Sur la chronologie du Discours de la méthode*, in «Revue d'histoire de la philosophie et d'histoire générale de la civilisation», 33, 1943, pp. 45-70.

Réflexions sur la genèse du Discours de la méthode, in «Revue de synthèse», 22, 1958, pp. 11-27.

Galison, P., *Models and Reality in Descartes' Theory of Light*, in «Synthesis», 4, 1979, pp. 2-23.

Descartes's Comparisons: From the Invisible to the Visible, in «Isis», 75, 1984, pp. 311-326.

Garibaldi, *La matematizzazione dell'ottica in Descartes*, in «Descartes : Il Metodo e I Saggi», cit., pp. 287-303.

Garber, D., *Descartes' Physics*, in «The Cambridge Companion to Descartes», cit., pp. 286-334.

Descartes and Experiment in the Discourse and Essays, in «Essays on the Philosophy and Science», cit., pp. 288-310.

Descartes et la Méthode en 1637, in «Le Discours et sa méthode», cit., p. 65-87.

Descartes, the Aristotelians, and the Revolution that Did Not Happen, in «Descartes, 1596-1650», cit., pp. 39-57 (*The Monist*, 71, 1988 pp. 471-486).

Science and Certainty in Descartes, in «Descartes. Critical and Interpretative Essays», cit., pp. 114-152.

Gargani, A., *Funzione dell'immaginazione e modelli di spiegazione scientifica in Harvey e Cartesio*, in «Rivista critica di storia della Filosofia», 1970, 25, pp. 250-274.

Gaukroger, S., *The nature of abstract reasoning: philosophical aspects of Descartes' work in algebra*, in «The Cambridge Companion to Descartes», cit., pp. 91-115.

Descartes' Conception of Inference, in «Metaphysics and Philosophy of Science in the 17th and 18th Centuries», cit., pp. 101-133.

Gewirth, A., *Experience and the Non-Mathematical in the Cartesian Method*, in «Journal of the History of Ideas», 2, 1941, pp. 183-210.

Gori, G., *Da Malebranche a Hume: modelli della mente umana, immaginazione, giudizi naturali*, in «Filosofia e cultura nel Settecento britannico, 1: Fonti e connessioni continentali, John Toland e il deismo», cit., pp. 113-134.

Montaigne, Descartes e le vicissitudini dell'eraclitismo, in «Lecture Cartesiane», cit., pp. 17-45.

Plutarco e le fonti antiepicuree di Gassendi in «La geografia dei saperi : scritti in memoria di Dino Pastine», D. Ferraro, G. Gigliotti (ed.), Le Lettere, Firenze, 2000, pp. 123-130.

Grosholz, E. R., *Cartesian method and the geometry*, in «René Descartes. Critical Assessments», cit., pp. 80-93.

Gueroult, M., *Métaphysique et physique de la force chez Descartes et chez Malebranche*, in «Revue de Méthaphysique et de Morale», 59, 1954, pp. 1-37.

Hall, R., *The Scholar and the Craftsman in the Scientific Revolution*, in «Critical problems in the history of science : proceedings of the Institute for the history of science at the University of Wisconsin, September 1-11, 1957», cit., p.

Hart, A., *Descartes' notions*, in «Philosophy and Phenomenological Research», 31, 1970-1971, pp. 114-122.

Hintikka, J.; Remes, U., *Ancient Geometrical Analysis and Modern Logic*, in «Essays in memory of Imre Lakatos», cit., pp. 253-276.

A Discours on Descartes's Method, in «Descartes. Critical and Interpretative Essays», cit., pp. 74-89.

«*Cogito ergo sum*» *Inference or Performance?*, in «Philosophical Review», 1962, pp. 3-32.

Hooykaas, *Science and Religion in the 17th century; Isaac Beeckman (1588-1637)*, in «Free University Quarterly», 1, 1951, pp. 169-183.

Israel, G., *Dalle Regulae alla Géométrie, in Descartes*, in «Il Metodo e i Saggi», vol. II, cit., pp. 441-474.

Jolivet, J., *L'épistémologie de Descartes dans le Regulae et celle d'Avicenne*, in «Descartes et le Moyen Age», cit., pp. 187-199.

Lalande, A., «Philosophie», in *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, Paris: P.U.F., 1926; 16e éd., 1988, pp. 774a-776b, [775a-775b].

«Probabilisme», in *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, Paris: P.U.F., 1926; 16e éd., 1988, pp. 831b-832a, [832a].

«Raison», in *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, Paris: P.U.F., 1926; 16e éd., 1988, pp. 877b-885b, [879a, 881a, 883a-883b].

«Rationnel», in *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, Paris: P.U.F., 1926; 16e éd., 1988, pp.890a-890b, [890b].

Landucci, S., *Evidenza e verità nelle "Meditazioni"*, in «Rivista di storia della filosofia», LI, 1996, Milano, pp. 455-481.

Laporte, J., *La connaissance de l'étendue chez Descartes*, in «Revue Philosophique de France et de l'Étranger», 123, pp. 257-289.

Larmore, C., *Descartes' empirical epistemology*, in «Descartes: Philosophy, Mathematics, and Physics», cit.

Laudan, L., *The clock metaphor and probabilism: the impact of Descartes on English methodological thought, 1650-1665*, in «Annals of Science», 22, 1966, pp. 73-104.

Laughlin, Mc. P., *Descartes on Mind-Body Interaction and the Conservation of Motion*, in «Philosophical Review, 102, 1993», pp. 155-182.

Lefevre, R., *Méthode cartésienne et modèle mathématique*, in «Modèles et interprétation», Lille, Presses de l'Université de Lille III, 1979, 1, pp. 89-116.

Lenoir, T., *Descartes and the Geometrization of Thought: The Methodological Background of Descartes's Géométrie*, in «Historia Mathematica», VI, 1979, pp. 355-379.

Lindberg, D. C., *Alhazen's theory of Vision and its Reception in the West*, in «Isis», 58, 1967, pp. 321-241.

Bacon, Witelio, Pechman: The Problem of Influence, in «Actes du XII^e Congrès international d'histoire des sciences» Paris, 1968, vol. 3A, Paris, 1971, pp. 103-107.

A Catalogue of Medieval and Renaissance Optical Manuscripts, in «Subsidia Medievalia», n. 4, Toronto, 1975.

The Cause of Refraction in Medieval optics, in «British Journal for the History of Science», 4, 1968-1969, pp. 23-38.

Lojacono, E., *Descartes e la logica : considerazioni storiografiche*, in «Anazeteis. Quaderni di ricerca», 4, 1984, pp. 41-84.

Epistémologie, méthode et procédés méthodique dans la pensée de R. Descartes, in «Nouvelles de la République des Lettres», I, 1996, pp. 39-105.

Su un hapax delle Regulae : analysis. Alcune osservazioni sul suo significato e sulle sue interpretazioni, in «Il vocabolario della République des lettres», cit., pp. 171-190.

Le ciel d'Aristote et le monde de Descartes, in «Nouvelles de la République des Lettres», 1998, Napoli, 1, pp. 73-93.

Keeling, S. V., *Le Réalisme de Descartes et le rôle des natures simples*, in «Revue de métaphysique et de morale», 44, 1937, pp. 63-99.

Koyré, A., *The Origins of Modern Science: A New Interpretation*, in «Diogenes», vol. XVI, 1956, pp. 1-22.

Korteweg, D. J., *Descartes et les manuscrits de Snellius*, in «Revue de métaphysique et de morale», 4, 1896, pp. 489-501.

Kristeller, P. O., *The Place of Classical Humanism in Renaissance Thought*, in *Journal of the History of Ideas*, IV, Jan. 1943, pp. 59-63.

Mariani, M., Koyré. *Le radici della scienza e della filosofia newtoniane*, in «A. Koyré. Un'avventura intellettuale», cit.

Martinet, M., *Science et hypothèses chez Descartes*, in «Archives internationales d'histoire des sciences», 24, 1974, pp. 319-339.

La théorie de la lumière selon Descartes, in «Recherches sur le xvii^e siècle», 1, 1976, pp. 92-110.

Mahoney, M. S., *The Beginnings of Algebraic Thought in the Seventeenth Century*, in «Descartes: Philosophy, Mathematics, and Physics», cit.

The Mathematical Realm of Nature, in «The Cambridge History of Seventeenth-Century Philosophy», cit.

Maull, N., *Cartesian optics and the geometrisation of nature*, in «Descartes: Philosophy, Mathematics and Physics», cit., pp. 23-40.

Marion, J-L., *A propos d'une sémantique de la Méthode*, in «Revue Internationale de Philosophie», 27, 1973, pp. 37-48.

Ordre et relation. Sur la situation aristotélicienne des «Regles V et VI», in «Archives de Philosophie», 37, 1974, pp. 243-274.

Martineau, E., *L'ontologie de l'ordre*, in «Etudes philosophiques», 31/4, 1976, pp. 475-494.

McMullin, E., *Empiricism and the scientific revolution*, in «Art, Science and History in the Renaissance», Singleton, C. S., (ed.), Johns Hopkins Press, Baltimore, 1968, pp. 331-69.

McRae, R., *Innate ideas*, in «Cartesian Studies», cit., pp. 32-54.

Merton, R. K., *Science, Technology and Society in Seventeenth Century England*, in «Osiris», vol. IV, 1938, pp. 414-565.

Science and Economy of Seventeenth-Century England, in «Critical Problems in the History of Science», (1959), cit.

Milhaud, G., *Descartes et la loi des sinus*, in «Revue générale des Science», 1, Janvier, 1907, pp. 217-252.

Moreau, J. *La réalité de l'étendue chez Descartes*, in «Études Philosophiques», 5, 1950, pp. 185-200.

Morris, J., *Cartesian certainty*, in «Australasian Journal of Philosophy», 47, 1969, pp. 161-168.

Descartes and Probable Knowledge, in «Journal of the History of Philosophy», 1970, 8, 3, pp. 505-512.

Descartes and probable knowledge, in «Journal of the History of Philosophy», 8, 1970, pp. 303-312.

Nadler, S. M., *Deduction, confirmation and the laws of nature in Descartes's Principia Philosophiae*, in «Journal of the History of Philosophy», 28, 3, 1990, pp. 359-383.

Nardi A., *La Luce e la favola del «Mondo». Descartes 1629-1633*, in «Annali Istituto di Filosofia dell'Università di Firenze», 3, 1981, pp. 103-145.

Neri, L., *Spazio e rappresentazione dello spazio in Descartes*, in «Giornale critico della filosofia italiana», XV, 1995, Firenze, pp. 341-375.

Nonnoi G., *Against Emptiness: Descartes's Physics and Metaphysics of Plenitude*, in «Studies in History and Philosophy of Science», 25, 1994, pp. 81-96.

O'Neill, B., *Cartesian simple natures*, in «Journal of the History of Philosophy», 10/2, 1972, pp. 161-180.

Pavan, A., *Appunti di storiografia cartesiana*, in «Scritti in Onore di Carlo Giacon», Antenore, Padova, 1972, pp. 383-408.

Perini, R., «*Naturae simplices*» e «*intuitus*» nelle «*Regulae ad directionem ingenii*», in «Annali della Facoltà di Lettere e Filosofia, Università di Perugia», 4, Sezione IV, Studi Filosofici, 1979-80, pp. 243-279.

Piazzolla, R., *Descartes e la mente processuale*, in «Annali della Facoltà di Lettere e Filosofia dell'Università di Bari», XL, 1997, pp. 219-240.

Price, D. J. de Solla, *Automata and the Origin of Mechanism and Mechanistic Philosophy*, in «Technology and Culture», V, 1964, pp. 9-42.

Randall, J. R., *The Place of Leonardo da Vinci in the Emergence of Modern Science*, in «Journal of the history of ideas», XIV, no. 2., 1953.

Rathmann, B., *Descartes inventeur: les principes méthodologiques dans les «Regulae ad directionem ingenii»*, in «Papers on French XVIIth Century Literature», 13, 1-2, 1980, pp. 59-72.

Recker, D. A., *Mathematical Demonstration and Deduction in Descartes's Early Methodological and Scientific Writings*, in «Journal of the History of Philosophy», 31, 1993, pp. 223-244.

Renault, L., *Descartes et les Théories de l'Abstraction*, in «Descartes et le Moyen Age», cit., pp. 199-214.

Ribe, N. M., *Cartesian Optics and the Mastery of Nature*, in «Isis», 88, 1997, pp. 42-61.

Rivaud, *La Physique de Spinoza*, in «Chronicon Spinozanum», 4, 1924-1926, pp. 24-57.

Quelques réflexions sur la méthode cartésienne, in «Études sur Descartes», cit., pp. 36-62.

Remarques sur le mecanisme cartésien, in «The Philosophical Review», 46, n. 6, 1937, pp. 686-692.

Robinet A., *Dialectiques et Regulae*, in «Descartes et le Moyen Age», cit., pp. 231-240.

Rodis-Lewis, G., *Limitation of the Mechanical Model in the Cartesian conception of the Organism*, in «Descartes. Critical and Interpretative Essays», cit., pp. 152-171.

Descartes, in «Contemporary philosophy», Klibansky, R., (ed.), La Nuova Italia, Firenze, 1969, pp. 73-81.

Le premier registre de Descartes, in «Archives de philosophie», 54, 1991, pp. 353-375.

Röd, W., *L'explication entre Méthode et Métaphysique*, traduction de J. Benoist, in «Le Discours et sa Méthode», cit., pp. 89-109

Rossi, A., *Forze e moti circolari nella fisica di Descartes dalle Météores ai Principia*, in «Descartes : Il Metodo e I Saggi», cit., pp. 341-370.

Rossi, P., *La fisica spinoziana e la fisica moderna*, in «Spinoza nel terzo centenario della sua nascita», Facoltà di filosofia dell'Università cattolica del Sacro Cuore, Milano, 1934, pp. 117-131

Signoret, E., *Cartésianisme et Aristotélisme*, in «Études sur Descartes», cit., pp. 287-304.

Simon, G., *La théorie cartésienne de la vision*, in «Descartes et le Moyen Age», cit., pp. 107-117

Slowik, E., *Perfect Solidity: Natural Laws and the Problem of Matter in Descartes' Universe*, in «History of Philosophy Quarterly», 13, 1996, pp. 187-204.

Spallanzani, M., *Sull'albero enciclopedico delle conoscenze. Una Classificazione del sapere tra Bacone e Descartes*, in «Rivista critica di storia della filosofia», 3, 1982, pp. 307-324.

Bis bina quatuor, in «Rivista di filosofia», 82, 2, 1991, pp. 301-317.

Luoghi della filosofia. La "librairie" di Montaigne, "le poesle" di Descartes, in «Rivista di storia della filosofia», LI, 1996, Milano, pp. 613-640.

"Philosophus-philosophe". Descartes e gli illuministi francesi, in «Studi settecenteschi», XV, 1995, Napoli, pp. 83-114.

La "virtus divina", il vuoto e gli atomi. Su alcune obiezioni di Henry More a Descartes in *Filosofia e cultura nel Settecento britannico*, I, cit., pp. 3-42.

Le poesie de Descartes: la vie retirée et la recherche de la vérité du philosophe, in «L'esprit cartésien. Actes du XXVIe Congrès de l'Association des Sociétés de Philosophie de Langue Française», cit., pp. 1252-1253.

Les chaînes et les arbres. Les renvois des ordres dans l'Encyclopédie, in *CORPUS*, 51, 2006, pp. 43-83.

Parler de Dieu plus dignement. Descartes et les noms de Dieu, in *CORPUS*, 50, 2006, pp. 39-68.

Descartes, Ritratto di filosofo: Descartes en philosophe, in «Rivista Storica Italiana», CXCIII, II, 2006, pp. 607-660.

La vecchia filosofia, la nuova filosofia e i professori di matematica: un'orazione di Ercole Corazzi, in «Giornale critico della filosofia italiana», 72, 1, gennaio-aprile 1993, pp. 121-141.

Per esempio, nella filosofia si spiegava il puro testo delle Meditazioni di Cartesio, in «Nouvelles de la Republique des Lettres», 2, 1992, pp. 40-69.

Schuster, J., *Descartes' mathesis universalis: 1618-1628*, in «Descartes, Philosophy, Mathematics, and Physics», cit. pp. 41-96, cit., pp. 41-96.

Shea, W. R., *Descartes: Methodological Ideal and Actual Procedure*, in «Descartes, 1596-1650», cit., pp. 25-39 (Philosophia Naturalis, 21, 1984, pp. 577-589).

Steenbakkers F. A., *Mots techniques-mots classiques dans le Tractatus Theologico-Politicus de Spinoza*, in «Spinoziana. Ricerche di terminologia filosofica e critica testuale», P. Totaro (ed.), Firenze 1997, 1-22.

Stone, M. W. F., *Aristotelianism and Scholasticism in Early Modern Philosophy*, in «A Companion to Early Modern Philosophy», cit., pp. 7-24.

Tega, W., *Scienza e politica nell'Illuminismo, il caso del materialismo*, in «Lezioni sull'illuminismo», Feltrinelli, Milano, 1980, pp. 245-274.

Dalla raison par alphabet alla scienza generale. Geografie del sapere in Francia tra XVIII e XIX secolo in «L'età dei Lumi. Saggi sulla cultura settecentesca», L. Turco (ed.), Il Mulino, Bologna, 1999, pp. 69-121.

Thorndike, L., *Renaissance or Prenaissance*, in «Journal of the History of Ideas», IV, 1943, pp. 69-74.

Tlumak, J., *Certainty and Cartesian Method*, in Descartes, in «Critical and Interpretative Essays», cit., pp. 40-74.

Trevisani, F., *La teoria corpuscolare in Cartesio: dal «Traité du Monde» ai «Principia»*, in «Ricerche sull'atomismo del seicento», Firenze, La nuova Italia, 1977, pp. 181-223.

Tannery, P., *Descartes physicien*, in «Revue de Metaphysique et de Morale», 1896, pp. 478-488.

Tuve, R. *Imagery and Logic, Ramus and Methaphysical Poetics*, in «Journal of the History of Ideas», XIV, 1942, pp. 365-400.

Verbeek, Th., *Les passions et la fièvre: l'idée de la maladie chez Descartes et quelques cartésiens Néerlandais*, in «Tractrix: Yearbook for the History of Science, Medicine, Technology and Mathematics», 1, pp. 45-62.

Le contexte néerlandais de la politique cartésienne, in «Archives de Philosophie», 53, pp. 357-370.

Tradition and novelty : Descartes and some Cartesians, in «The Rise of Modern Philosophy», cit., pp. 167-196.

Dutch Cartesian Philosophy, in «A companion to Early Modern Philosophy», cit., pp. 167-183.

Viola, E., *Scolastica e Cartesianesimo nel pensiero di Joh. Clauberg*, in «Rivista di Filosofia Neoscolastica», 67, pp. 247-266.

Voss, S., *Scientific and Practical Certainty in Descartes*, in «Descartes, 1596-1650, cit., pp. 131-151 (American catholic Philosophical Quarterly, 67, 1993, pp. 596-585).

Weber, J. P., *La méthode de Descartes d'après les «Regulae»* in «Archives de Philosophie», 35, 1972, pp. 51-60.

Westfall, R., *Circular Motion in Seventeenth Century Mechanics*, «Isis», 63, 1972, pp. 184-189

Wilson, M., *Cartesian Dualism*, in «Descartes. Critical and Interpretative Essays», cit., pp. 197-212.

Wolf-Divine, C., *Descartes on seeing: epistemology and visual perception*, monografia in «Journal of the History of Philosophy», 1993.

Volgraff, A., *Pierre de la Ramee (1515-1572) e Willebrord Snell van Royen (1580-1626)*, in «Janus», 18, 1913, pp. 595-625.

Snellius' Notes on the Reflection and Refraction of Rays, in
«Osiris», I, 1936, pp. 718-725