

## Capitolo quinto

### Affermazione e sviluppo del metodo aristotelico nel periodo medievale

Prima del 1150 Aristotele era conosciuto dagli studiosi dell'Occidente latino principalmente come logico. Platone era considerato il filosofo della natura per eccellenza. Ma a partire dal 1150 cominciarono ad essere tradotte in latino dalle fonti greche e arabe le opere di Aristotele sulla scienza e sul metodo scientifico; in Italia e in Spagna sorsero centri di traduzione. Nel 1270 l'intero corpo aristotelico era stato tradotto in latino. L'impatto di quest'opera sulla vita intellettuale dell'Occidente fu notevolissima. Le opere di Aristotele sulla scienza e sul metodo scientifico fornirono agli studiosi la ricchezza di nuove prospettive, fino al punto che per parecchie generazioni la presentazione standard di un lavoro su una scienza particolare consisteva semplicemente di un commento sul corrispondente studio svolto da Aristotele.

Il piú importante scritto di Aristotele sulla filosofia della scienza è costituito dai *Secondi Analitici*, che divennero disponibili per gli studiosi occidentali alla fine del XII secolo. Durante i successivi tre secoli, coloro i quali si occuparono del metodo scientifico rivolsero la loro attenzione esclusivamente ai problemi formulati da Aristotele. In particolare, i commentatori medievali discussero e criticarono la concezione aristotelica delle procedure scientifiche, la sua posizione circa la valutazione di spiegazioni contrapposte e la sua affermazione secondo cui la conoscenza scientifica è una verità necessaria.

## 1. Il modello induttivo-deduttivo dell'indagine scientifica

Roberto Grossatesta<sup>1</sup> e Ruggero Bacone<sup>2</sup>, i due piú influenti studiosi duecenteschi del metodo scientifico, sostennero l'aristotelico modello induttivo-deduttivo di indagine scientifica. Grossatesta si riferì allo stadio induttivo come a una « risoluzione » del fenomeno negli elementi costituenti, e allo stadio deduttivo come ad una « composizione » in cui questi elementi sono uniti per ricostruire il fenomeno originale<sup>3</sup>. Gli scrittori successivi si sono spesso riferiti alla teoria aristotelica del procedimento scientifico come al « metodo di risoluzione e di composizione ».

Grossatesta applicò la teoria aristotelica al problema dei colori dello spettro. Notò che lo spettro visto negli arcobaleni, negli spruzzi d'acqua prodotti dalla ruota di un mulino o dal remo di una barca, e gli spettri prodotti facendo passare la luce del sole attraverso sfere di vetro colme d'acqua avevano caratteristiche comuni. Procedendo per induzione, egli trovò tre

<sup>1</sup> Roberto Grossatesta (c. 1168-1253) studiò e insegnò a Oxford, e divenne uno degli esponenti di primo piano della Chiesa. Fu rettore dell'Università di Oxford (1215-21) e dal 1224 ebbe l'incarico di docente di filosofia all'Ordine dei Francescani. Grossatesta fu il primo studioso del medioevo ad analizzare i problemi dell'induzione e della verifica. Scrisse saggi sui *Secondi Analitici* e sulla *Fisica* di Aristotele, preparò traduzioni del *De Caelo* e dell'*Etica Nicomachea*, e compilò trattati sulla riforma del calendario, sull'ottica, sul calore e sul suono. Sviluppò una « metafisica della luce » di impostazione neoplatonica e nella quale un'azione casuale viene attribuita alla moltiplicazione e alla diffusione sferica centrifuga delle « specie » in analogia alla propagazione della luce da una sorgente. Grossatesta divenne vescovo di Lincoln nel 1235 e impegnò le sue considerevoli energie oltre che nello studio anche nell'amministrazione della Chiesa.

<sup>2</sup> Ruggero Bacone (c. 1214-1292) studiò a Oxford e successivamente a Parigi dove insegnò e scrisse analisi di varie opere di Aristotele. Nel 1274 ritornò a Oxford dove studiò alcune lingue e le scienze, con particolare attenzione all'ottica. Quando papa Clemente IV seppe della proposta baconiana di unificazione delle scienze al servizio della teologia, chiese una copia del lavoro di Bacone. Questi non aveva ancora messo per iscritto le sue idee, ma compose rapidamente l'*Opus Majus* e due lavori di accompagnamento (1268) che inviò al Papa. Sfortunatamente il papa morì prima di poter valutare il contributo di Bacone. Pare che Bacone avesse avuto contrasti con i suoi superiori dell'Ordine dei Francescani per aver criticato duramente le capacità intellettuali dei suoi colleghi. Inoltre, il suo entusiasmo per l'alchimia, l'astrologia e le tesi apocalittiche di Gioacchino da Fiore lo rese sospetto. È probabile, ma non è sicuro, che abbia passato in isolamento alcuni dei suoi ultimi anni.

<sup>3</sup> A. C. Crombie, *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science, 1100-1700*, Oxford, Clarendon Press, 1953, pp. 52-66.

elementi comuni ai vari casi: 1) gli spettri sono associati a sfere trasparenti, 2) colori diversi risultano dalla rifrazione della luce secondo angoli diversi, e 3) i colori prodotti giacciono sull'arco di un cerchio. Egli fu, quindi, in grado di « comporre » le caratteristiche generali di questa classe di fenomeni sulla base dei tre elementi suddetti<sup>4</sup>.

### 1.1. La « seconda prerogativa » della scienza sperimentale secondo Ruggero Bacone

Il « metodo di risoluzione » di Grossatesta specifica un'ascesa induttiva dagli asserti sui fenomeni fino agli elementi con cui i fenomeni possono essere ricostruiti. L'allievo di Grossatesta, Ruggero Bacone, disse che una felice applicazione del procedimento induttivo dipende da una conoscenza ampia e precisa dei fatti. Bacone suggerì che la base fattuale di una scienza spesso può essere ampliata con la sperimentazione attiva. L'uso della sperimentazione per allargare la conoscenza dei fenomeni è la seconda delle « tre prerogative della scienza sperimentale » indicate da Bacone<sup>5</sup>.

Bacone lodò un certo « maestro della sperimentazione » il cui lavoro costituiva una realizzazione della seconda prerogativa. La persona citata era probabilmente Pietro di Maricourt<sup>6</sup>. Pietro aveva dimostrato, tra le altre cose, che se si spezza un ago magnetico in due frammenti si generano due nuovi magneti ciascuno con il suo polo nord e polo sud. Bacone s'entusiasmava per scoperte come queste che allargano la base osservativa da cui si possono dedurre gli elementi del magnetismo.

Se Bacone si fosse limitato a lodare la sperimentazione in questo tipo di indagine, meriterebbe di essere riconosciuto come il campione dell'indagine sperimentale. Ma Bacone pose spesso la sperimentazione al servizio dell'alchimia e fece dichiarazioni stravaganti e infondate sui risultati degli esperimenti alchimistici. Per esempio dichiarò che un trionfo della « Scienza

<sup>4</sup> *Ibidem*, pp. 64-66.

<sup>5</sup> R. Bacone, *The Opus Majus*, a cura di Robert B. Burke, New York, Russell and Russell, 1962, vol. II, pp. 615-16.

<sup>6</sup> Vedi per esempio, A. C. Crombie, *Robert Grosseteste*, cit., pp. 204-10.

Sperimentale » era la scoperta di una sostanza che eliminasse le impurità dai metalli basici in modo da lasciare soltanto oro <sup>7</sup>.

### 1.2. I metodi induttivi della concordanza e della differenza

Aristotele aveva affermato che i principi esplicativi dovrebbero essere indotti dalle osservazioni. Un importante contributo degli studiosi medievali fu di individuare altre tecniche induttive per scoprire i principi esplicativi.

Roberto Grossatesta, per esempio, suggerì che un buon metodo per stabilire se un'erba abbia o non abbia potere purgativo è quello di prendere in considerazione numerosi casi in cui l'erba viene somministrata in condizioni tali che non sia presente nessun altro agente purgativo <sup>8</sup>. Sarebbe difficile compiere questa prova e non esiste alcuna testimonianza che Grossatesta abbia cercato di farla. Ma bisogna dargli credito per aver descritto un procedimento induttivo che alcuni secoli più tardi fu conosciuto come « metodo congiunto della concordanza e della differenza » di Mill.

Nel XIV secolo Giovanni Duns Scoto descrisse un « metodo deduttivo della concordanza » e Guglielmo d'Ockham descrisse un « metodo deduttivo della differenza ». Essi considerarono questi metodi come strumenti per la « risoluzione » del fenomeno. Come tali, sono procedure supplementari rispetto ai procedimenti induttivi discussi da Aristotele.

### 1.3. Il « metodo della concordanza » di Duns Scoto

Il « metodo della concordanza » di Duns Scoto <sup>9</sup> è una tecnica per analizzare un numero di esempi in cui si verifica un particolare effetto. Il procedimento consiste nell'elencare le varie circostanze che sono presenti tutte le volte che l'effetto si ve-

<sup>7</sup> R. Bacon, *The Opus Majus*, cit., vol. II, pp. 626-7.

<sup>8</sup> A. C. Crombie, *Robert Grosseteste*, cit., pp. 73-4.

<sup>9</sup> Giovanni Duns Scoto (c. 1265-1308) entrò nel 1280 nell'ordine francescano e fu consacrato nel 1291. Studiò a Oxford e a Parigi, dove ottenne una cattedra di teologia, malgrado fosse stato precedentemente allontanato da Parigi per non aver appoggiato il re durante una disputa con il papa sulla tassazione dei terreni della chiesa. Assieme a molti altri scrittori del medioevo, Duns Scoto cercò di assimilare la filosofia di Aristotele alla dottrina cristiana.

rifica e cercare una circostanza che sia presente in ogni esempio <sup>10</sup>. Duns Scoto credeva che se un elenco di circostanze presenti aveva la forma seguente:

Esempio	Circostanze	Effetto
1	ABCD	e
2	ACE	e
3	ABEF	e
4	ADF	e

allora il ricercatore poteva concludere che *e può essere* l'effetto della causa A.

L'enunciazione da parte di Duns Scoto del metodo delle concordanze fu piuttosto modesta. Egli ritenne che tutto ciò che può essere stabilito applicando il metodo sia « un'unione attitudinale » tra un effetto e una circostanza che l'accompagna. Applicando lo schema, uno scienziato può concludere, per esempio, che la luna è un corpo che *può essere* eclissato, o che un certo tipo di erba *può avere* un gusto amaro <sup>11</sup>. Ma la sola applicazione dello schema non può stabilire né che la luna debba necessariamente essere eclissata, né che ogni campione dell'erba debba necessariamente essere amaro.

Paradossalmente, Duns Scoto estese il metodo di risoluzione e perse fiducia nelle correlazioni stabilite induttivamente. Questo secondo fatto era dovuto alle sue convinzioni teologiche. Insistette nel dire che Dio non può realizzare qualcosa che implichi una contraddizione e che le uniformità esistono in natura soltanto per la indulgenza di Dio. Inoltre, Dio avrebbe potuto, se lo avesse desiderato, eliminare una regolarità e produrre un effetto direttamente, senza la presenza della causa che normalmente lo determina. Fu per questa ragione che Duns Scoto ritenne che il metodo della concordanza potesse stabilire soltanto unioni attitudinali all'interno dell'esperienza.

<sup>10</sup> Duns Scoto, *Philosophical Writings*, a cura di Allan Wolter, Edinburgh, Thomas Nelson, 1962, p. 109.

<sup>11</sup> *Ibidem*, pp. 110-111.

## 1.4. Il « metodo della differenza » di Guglielmo di Ockham

L'attenzione all'onnipotenza di Dio è ancora più accentuata nelle opere di Guglielmo di Ockham<sup>12</sup>. Ockham disse ripetutamente che Dio può fare qualsiasi cosa senza contraddizione. D'accordo con Duns Scoto, sostenne che lo scienziato può stabilire per induzione soltanto le unioni attitudinali tra i fenomeni.

Ockham formulò un procedimento per trarre conclusioni sulle unioni attitudinali secondo un « metodo della differenza ». Il metodo di Ockham consiste nel confrontare due esempi — un esempio in cui è presente l'effetto, e un secondo in cui l'effetto non è presente. Se è possibile dimostrare che una certa circostanza è presente quando si verifica l'effetto ed è assente quando manca l'effetto, per esempio:

<i>Esempio</i>	<i>Circostanze</i>	<i>Effetto</i>
1	ABC	e
2	AB	—

allora il ricercatore può concludere che la circostanza C può essere la causa dell'effetto e.

Ockham sostenne che, nel caso ideale, la conoscenza di una unione attitudinale può essere stabilita sulla base dell'osservazione di una associazione soltanto. Notò però, che in tal caso bisognerebbe essere certi che siano assenti tutte le possibili altre cause dell'effetto in questione. Egli osservò che in pratica è difficile determinare se due serie di circostanze differiscono per un aspetto soltanto. Per questa ragione chiese che fossero studiati più casi riducendo così al minimo la possibilità che qual-

<sup>12</sup> Guglielmo di Ockham (c. 1280-1349) studiò e insegnò a Oxford. Presto egli divenne il punto di riferimento delle controversie sorte in seno alla Chiesa. Attacò il diritto del papa alla supremazia temporale, affermando l'indipendenza dell'autorità civile decretata da Dio. Si richiamò alle precedenti affermazioni di papa Nicola III in una disputa con papa Giovanni XXII sulla povertà apostolica. Difese la posizione nominalistica secondo la quale gli universali hanno valore obiettivo solo in quanto presenti nel pensiero. Ockham si rifugiò in Bavaria per un certo periodo durante il quale le sue opere vennero esaminate ad Avignone. Comunque, non fu emessa nessuna condanna formale.

che fattore non riconosciuto fosse responsabile del verificarsi dell'effetto<sup>13</sup>.

## 2. Valutazione delle spiegazioni opposte

Oltre a riproporre il modello induttivo-deduttivo dell'indagine scientifica di Aristotele, Grossatesta e Ruggero Bacone apportarono anche contributi originali al problema della valutazione delle spiegazioni contrastanti. Essi riconobbero che una asserzione riguardante un certo effetto può essere dedotta da più di un insieme di premesse. Anche Aristotele era consapevole di ciò e aveva affermato che le spiegazioni scientifiche genuine stabiliscono rapporti causali.

## 2.1. La prima prerogativa della scienza sperimentale di Ruggero Bacone

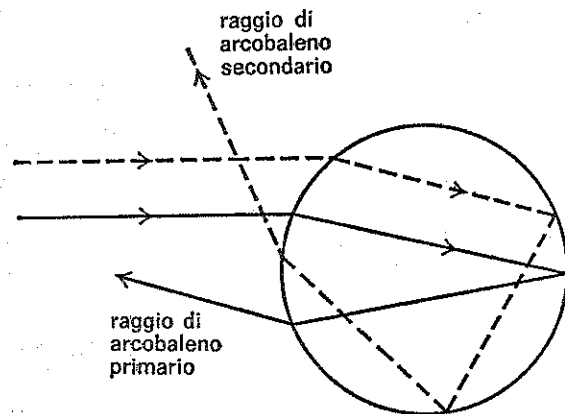
Sia Grossatesta che Ruggero Bacone proposero di aggiungere un terzo stadio di indagine al procedimento induttivo-deduttivo di Aristotele. In questo terzo stadio dell'indagine, i principi indotti per « risoluzione » sono sottoposti a un ulteriore controllo sperimentale. Bacone definì questo procedimento di prova la « prima prerogativa » della scienza sperimentale<sup>14</sup>. Questa fu un'importante intuizione metodologica e costituì un progresso significativo nella teoria aristotelica del procedimento. Aristotele si era accontentato di dedurre le asserzioni sui fenomeni che servono come punti di partenza di un'indagine. Grossatesta e Ruggero Bacone pretesero ulteriori controlli sperimentali dei principi ricavati per induzione.

All'inizio del XIV secolo Teodorico di Freiberg fece un uso sorprendente della prima prerogativa di Bacone. Teodorico credeva che l'arcobaleno fosse causato da una combinazione di riflessione e di riflessione della luce del sole nelle singole gocce di pioggia. Per dimostrare questa ipotesi riempì di acqua alcune

<sup>13</sup> Vedi per esempio, Julius R. Weinberg, *Abstraction, Relation and Induction*, Madison, The University of Wisconsin Press, 1965, pp. 145-7.

<sup>14</sup> R. Bacone, *The Opus Majus*, cit., vol. II, p. 587.

sfere vuote di cristallo e le pose sul percorso dei raggi solari. Con questi modelli di gocce riprodusse arcobaleni primari e secondari. Teodorico dimostrò che, negli arcobaleni secondari riprodotti, l'ordine dei colori era invertito e l'angolo tra i raggi incidenti e i raggi emergenti degli arcobaleni secondari era maggiore di quello degli arcobaleni primari. Questo è coerente con ciò che è stato osservato negli arcobaleni naturali<sup>15</sup>.



Modello a goccia di pioggia di Teodorico

Sfortunatamente, spesso Grossatesta e Bacone ignorarono i loro stessi consigli. In particolare, Bacone si avvale spesso di considerazioni *a priori* e dell'esperienza degli scrittori precedenti anziché eseguire nuovi controlli sperimentali. Per esempio, dopo aver dichiarato che la scienza sperimentale è in grado di stabilire le conclusioni sulla natura dell'arcobaleno, Bacone affermò che ci sono soltanto cinque colori nell'arcobaleno perché il numero cinque è il numero ideale per stabilire una variazione nelle qualità<sup>16</sup>.

<sup>15</sup> Vedere A.C. Crombie, *Robert Grosseteste*, cit., pp. 233-59; W.A. Wallace, *The Scientific Methodology of Theodoric of Freiberg*, Fribourg, Fribourg University Press, 1959.

<sup>16</sup> R. Bacone, *The Opus Majus*, cit., vol. II, p. 611.

## 2.2. Il « metodo di falsificazione » di Grossatesta

Grossatesta notò che se un'asserzione su un effetto può essere dedotta da più di un gruppo di premesse, allora il modo migliore è quello di eliminare tutte le spiegazioni eccetto una. Sostenne che se un'ipotesi implica certe conseguenze, e se queste conseguenze possono essere dimostrate false, allora l'ipotesi stessa deve essere falsa. I logici hanno dato il nome di *modus tollens* a questo tipo di argomentazione deduttiva:

$$\begin{array}{l} \text{Se } H \text{ allora } C \\ \text{non } C \\ \hline \text{quindi:} \\ \text{non } H \end{array}$$

Dato un gruppo di ipotesi ciascuna delle quali può essere usata come premessa per dedurre un dato effetto, è possibile eliminare tutte le ipotesi tranne una per mezzo di un ragionamento *modus tollens*. Per fare questo bisognerebbe dimostrare che ogni ipotesi tranne una implica altre conseguenze che sappiamo essere false.

Grossatesta applicò il metodo di falsificazione per sostenere un'ipotesi sulla generazione del calore solare. Secondo Grossatesta vi sono soltanto tre modi per generare calore: per conduzione da un corpo caldo, « per movimento », e per concentrazione dei raggi. Egli credeva che il sole generasse calore per concentrazione dei raggi, e cercò di escludere le altre due possibilità con *modus tollens*. Grossatesta « falsificò » l'ipotesi della conduzione con i seguenti argomenti:

Se il sole genera calore per conduzione, allora la materia celeste adiacente viene riscaldata e subisce un cambiamento di qualità.

Ma la materia celeste adiacente è immutabile e non subisce un cambiamento di qualità.

quindi:

Il sole non genera calore per conduzione<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> A.C. Crombie, *Grosseteste's Position in the History of Science*, in *Robert Grosseteste*, a cura di D.A. Callus, Oxford, Clarendon Press, 1955, p. 118.

Questo ragionamento ha la forma *modus tollens* e quindi è valido se le sue premesse sono vere, allora anche la conclusione deve essere vera. Comunque, la seconda premessa che afferma l'immutabilità della materia celeste adiacente è falsa. Il ragionamento di Grossatesta non dimostrò che l'ipotesi della conduzione fosse falsa. Il suo ragionamento volto a falsificare l'ipotesi del movimento fallì per una ragione simile<sup>18</sup>.

Grossatesta non fu il primo studioso ad usare i ragionamenti *modus tollens* per falsificare ipotesi rivali. Vari filosofi e matematici avevano usato questo metodo dai tempi di Euclide<sup>19</sup>. Il risultato raggiunto da Grossatesta fu l'applicazione sistematica di questa tecnica per integrare i procedimenti aristotelici di valutazione delle ipotesi scientifiche.

Malgrado le numerose applicazioni fatte da Grossatesta dei ragionamenti *modus tollens* non siano convincenti alla luce della conoscenza scientifica attuale, il metodo della falsificazione ebbe un notevole peso. Lo studioso del XIV secolo Giovanni Buridano, per esempio, usò un ragionamento *modus tollens* per falsificare un'ipotesi sul moto di un proiettile che era stata enunciata ma non difesa da Aristotele. Secondo tale ipotesi l'aria che si trova davanti al corpo lanciato passa velocemente dietro di esso per impedire che si formi un vuoto, quindi spinge in avanti il proiettile. Buridano fece notare che se quest'ipotesi fosse stata vera, allora un proiettile con l'estremità posteriore tronca avrebbe dovuto muoversi più velocemente di uno con entrambe le estremità appuntite. Egli affermò che un proiettile con l'estremità posteriore tronca non viaggia più velocemente, seb-

<sup>18</sup> *Ibidem*, pp. 118-9.

<sup>19</sup> Un esempio è la dimostrazione euclidea della non esistenza di un numero primo massimo. Euclide iniziò asserendo il contrario, cioè che esiste un numero primo massimo  $N$ . Poi formò il numero

$$N' = (2 \times 3 \times 5 \times 7 \times 11 \times \dots \times N) + 1,$$

dove il prodotto in parentesi comprende tutti i numeri primi fino a  $N$ , poi formulò il seguente ragionamento; *modus tollens*:

Se  $N$  è il numero primo maggiore, allora  $N'$  (che è maggiore di  $N$ ) non è un numero primo.

Ma  $N'$  è un numero primo (poiché la divisione di  $N'$  per qualsiasi numero primo lascia un resto di 1).

Quindi

$N$  non è il numero primo massimo.

(Euclide, *Gli elementi*, Torino, Utet, 1970, Libro IX, proposizione 20).

bene non avesse dichiarato di aver compiuto esperimenti con i due tipi di proiettili<sup>20</sup>.

### 2.3. Il « rasoio » di Ockham

Molti scrittori del Medioevo difendevano il principio per cui la natura sceglie sempre la via più semplice. Per esempio, Grossatesta sostenne che l'angolo di rifrazione deve essere metà dell'angolo di incidenza per un raggio di luce che passa attraverso un mezzo più denso. Credette che questo rapporto 1:2 fosse valido sia perché la natura cerca sempre la via più facile, sia perché il rapporto 1:1 non è possibile in quanto è quello che governa la riflessione<sup>21</sup>.

Guglielmo di Ockham si era opposto alla tendenza a ricercare nella natura le idee umane sulla semplicità. Sentì che affermare che la natura segue sempre il processo più semplice significa limitare il potere di Dio. Dio potrebbe scegliere di raggiungere effetti nei modi più complicati.

Per questa ragione Ockham spostò il riferimento alla semplicità dal corso della natura alle teorie che su di essa si possono formulare. Ockham usò la semplicità come criterio per la formulazione dei concetti e la costruzione delle teorie, e ritenne che i concetti superflui dovessero essere eliminati e suggerì che tra due teorie che spiegano lo stesso tipo di fenomeno sia da preferire quella più semplice. Spesso gli scrittori successivi si sono riferiti a questo principio metodologico come al « rasoio di Ockham ».

Ockham applicò il suo « rasoio » nei dibattiti medievali sulla natura del moto dei proiettili. L'opinione corrente era che il moto di un proiettile fosse causato da un « impulso » acquisito che risiede in qualche modo nel proiettile per tutto il tempo in cui esso è in movimento. Ockham ritenne che l'impulso fosse un concetto superfluo. Secondo Ockham un'asserzione sul « moto di un corpo » è l'abbreviazione di una serie di asserzioni che assegnano al corpo varie posizioni in momenti di-

<sup>20</sup> Giovanni Buridano, *Quaestiones super octo Physicae libros*, Paris, 1509, *Quaestio XII*.

<sup>21</sup> A. C. Crombie, *Robert Grosseteste*, cit., pp. 119-24.

versi. Il moto non è una proprietà di un corpo, ma è una relazione che il corpo ha con gli altri corpi e con il tempo. Visto che il cambiamento di posizione non è una « proprietà » di un corpo, non vi è alcun bisogno di assegnare una causa efficiente a questo spostamento relativo. Ockham ritenne che dire che « un corpo si muove a causa di un impulso ricevuto » significava dire semplicemente che « un corpo si muove » e consigliava di eliminare dalla fisica il concetto di impulso<sup>22</sup>.

### 3. La controversia sulla verità necessaria

Aristotele aveva asserito che, dal momento che una « necessità naturale » ordina i rapporti tra le specie e il genere degli oggetti e degli eventi, l'espressione verbale adatta a questi rapporti deve avere lo status di verità necessaria. Secondo Aristotele i principi primi delle scienze non sono soltanto veri in modo contingente. Essi non possono essere falsi, poiché rispecchiano rapporti naturali che non potrebbero essere diversi da quello che sono.

Nel XIV secolo un importante sviluppo della filosofia della scienza fu la rivalutazione dello status cognitivo delle interpretazioni scientifiche. Giovanni Duns Scoto, Guglielmo di Ockham e Nicola di Autrecourt, fra gli altri, cercarono di determinare quali tipi di asserzioni, se esistono, sono verità necessarie. Il loro punto di partenza era la posizione di Aristotele secondo cui i principi primi della scienza sono autoevidenti, rappresentazioni necessarie del modo in cui le cose sono.

#### 3.1. *Duns Scoto sull'« unione attitudinale » dei fenomeni*

Duns Scoto operò una distinzione tra l'origine dei principi primi e il garante del loro status di verità necessarie. Era d'accordo con Aristotele che la conoscenza dei principi primi nasce dalla esperienza sensibile, ma aggiunse anche che lo status necessario di questi principi è indipendente dalla verità dei rap-

<sup>22</sup> Guglielmo di Ockham, *Summulae in Phys.*, Bononiae, 1494, III, 5-7.

porti riguardanti l'esperienza sensibile. Secondo Duns Scoto la esperienza sensibile fornisce occasioni per riconoscere la verità di un principio primo, ma essa non è un'evidenza per questa verità. Piuttosto, un principio primo è vero grazie ai significati dei suoi termini costituenti. È così, sebbene noi impariamo dall'esperienza i significati di questi termini<sup>23</sup>. Per esempio, il fatto che « corpi opachi gettino ombre » è autoevidente per chiunque comprenda il significato dei termini « opaco », « gettare », e « ombra ». Inoltre, questo principio è una verità necessaria. Negarlo sarebbe formulare un'autocontraddizione. Duns Scoto sostenne che neanche Dio può causare un'autocontraddizione realizzabile nel mondo.

Per Duns Scoto esistono due tipi di generalizzazioni scientifiche che hanno lo status di verità necessarie: i principi primi e le loro conseguenze deduttive e le asserzioni che riguardano le unioni attitudinali dei fenomeni. Al contrario, considerò le generalizzazioni empiriche come verità contingenti. Per esempio, è necessariamente vero che tutti i corvi *possono essere* neri, ma è soltanto un fatto contingente che tutti i corvi esaminati siano neri.

Naturalmente lo scienziato non può adagiarsi sulla conoscenza delle unioni attitudinali dei fenomeni. Dire che i corvi *possono essere* neri, o dire che la luna può essere eclissata, è dire relativamente poco sui corvi e sulla luna. Duns Scoto consigliò che, dove fosse possibile, le generalizzazioni venissero dedotte dai principi primi. I due esempi si distinguono in questo: il fatto che la luna sia un corpo frequentemente eclissato può essere dedotto dai principi primi secondo cui i corpi opachi gettano ombre e la terra è un corpo opaco che spesso si frappone tra il sole luminoso e la luna. Nessuna derivazione di questo tipo è possibile nel caso dei corvi neri.

#### 3.2. *Nicola di Autrecourt e la verità necessaria conforme al principio di non-contraddizione*

Nicola di Autrecourt<sup>24</sup> limitò il campo delle conoscenze

<sup>23</sup> Duns Scoto: *Philosophical Writings*, cit., pp. 106-9.

<sup>24</sup> Nicola di Autrecourt (c. 1300 - dopo 1350) studiò e insegnò all'Uni-

certe piú rigorosamente di Scoto. L'analisi di Nicola segnò l'apice della sfiducia dimostrata dal XIV secolo nella conoscenza di ciò che si considerava una verità necessaria.

Nicola decise di accettare come verità necessaria soltanto quei giudizi che soddisfacevano il principio di non-contraddizione. Seguendo Aristotele affermò che il principio primo del ragionamento è che due cose mutuamente contraddittorie non possono essere vere.

Ma sebbene Aristotele avesse stabilito che il principio di non-contraddizione è il principio fondamentale di ogni dimostrazione, egli sostenne che nessuna conclusione sui fenomeni fisici o biologici poteva essere dedotta unicamente da questo principio. Aristotele inserì nei principi primi della dimostrazione sia i principi logici generali, come le leggi di identità, di non-contraddizione, e del terzo escluso, sia i principi primi propri delle scienze particolari.

Nicola, comunque, si rifiutò di ammettere la certezza dei principi primi delle scienze ricavati induttivamente, sia che questi principi stabilissero relazioni causali oppure unioni puramente attitudinali dei fenomeni. Limitò la conoscenza certa al principio di non-contraddizione e a quelle asserzioni e quegli argomenti che sono « conformi » ad esso. Le uniche eccezioni ammesse furono gli articoli di fede <sup>25</sup>.

Nicola affermò che ogni dimostrazione scientifica dovrebbe essere conforme al principio secondo cui ogni asserzione della forma 'A e non A' è necessariamente falsa. Secondo Nicola un ragionamento « è conforme » al principio di non-contraddizione se, e soltanto se, l'unione delle sue premesse e la negazione della sua conclusione

$$(P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \dots P_n) \cdot \sim C$$

versità di Parigi, dove elaborò una critica delle principali dottrine di sostanza e causalità. Nel 1346 fu condannato dalla Curia di Avignone, costretto a bruciare i suoi scritti e a ritrattare davanti alla facoltà dell'Università di Parigi certe dottrine che erano state condannate. Nicola si sottomise a tale condanna e, stranamente, in seguito fu nominato Decano della cattedrale di Metz (1350).

<sup>25</sup> Cfr. la seconda lettera a Bernardo d'Arezzo di Nicola d'Autrecourt in *Medieval Philosophy*, a cura di H. Shapiro, New York, The Modern Library, 1964, pp. 516-20.

è autocontraddittoria <sup>26</sup>. I logici oggi accettano questo requisito come una condizione necessaria e sufficiente della validità deduttiva. Nicola ritenne che ogni ragionamento valido fosse riducibile al principio di non-contraddizione o immediatamente o mediatamente. La riduzione è immediata se la conclusione è identica alle premesse o ad una parte delle premesse. Per esempio, è immediatamente evidente che i ragionamenti della forma

$$\frac{A}{\therefore A} \text{ e } \frac{A \cdot B \cdot C}{\therefore A}$$

soddisfano il principio di non-contraddizione.

La riduzione è mediata nel caso del ragionamento sillogistico. Per esempio, dato il sillogismo

$$\begin{array}{l} P_1 - \text{Tutti i quadrilateri sono poligoni} \\ P_2 - \text{Tutti i quadrati sono quadrilateri} \\ \hline C - \therefore \text{Tutti i quadrati sono poligoni.} \end{array}$$

la negazione della conclusione non è coerente con l'unione delle premesse. Comunque, non è immediatamente evidente che la asserzione '(P<sub>1</sub>·P<sub>2</sub>)·~C' sia autocontraddittoria; lo è soltanto perché '(P<sub>1</sub>·P<sub>2</sub>)' implica 'C'.

Nicola negò che potesse essere raggiunta una conoscenza necessaria dei rapporti causali sulla base di questa analisi della natura del ragionamento deduttivo. Egli fece notare che nessuna informazione può essere dedotta da una serie di premesse ad eccezione di quelle informazioni implicate dalle, o « contenute nelle » premesse. In questo modo i ragionamenti deduttivi sono come spremi-arance — non si può estrarre piú succo di quanto ne sia inizialmente presente nelle arance. Ma siccome la causa è qualcosa di distinto dal suo effetto non si può dedurre una asserzione su un effetto dalle asserzioni riguardo la sua causa supposta. Nicola affermò che non è possibile dedurre che il verificarsi di un fenomeno particolare debba essere accompagnato da qualche altro fenomeno.

Inoltre, Nicola sostenne che non era possibile ottenere una conoscenza necessaria dei rapporti causali applicando il metodo

<sup>26</sup> Il simbolo '·' significa « e » nelle congiunzioni della forma 'p e q' dove p e q sono preposizioni singolari. L'espressione '~p' sta per « è falso che p ».



della concordanza, e che non si può stabilire che una correlazione, dimostratasi valida, debba essere valida anche in futuro<sup>27</sup>. Duns Scoto, naturalmente, avrebbe potuto accettare la critica di Nicola senza abbandonare la sua posizione, poiché egli aveva sostenuto che si dovessero stabilire soltanto unioni attitudinali tra due tipi di fenomeni.

La conclusione dell'analisi di Nicola è che non si può ottenere nessuna conoscenza necessaria dei rapporti causali. Le asserzioni riguardanti le cause non implicano asserzioni sugli effetti, e gli argomenti induttivi non provano che una correlazione osservata debba essere valida.

Nicola sperava che la sua critica su ciò che si può conoscere con certezza fosse utile alla fede cristiana. Notò con disapprovazione che gli studiosi passavano tutta la loro vita a studiare Aristotele, e sostenne che sarebbe stato meglio che questa energia fosse utilizzata per migliorare la fede e la morale della comunità<sup>28</sup>. Forse per questa ragione egli aggiunse alla sua critica una teoria « probabile » dell'universo basata sull'atomismo classico. Nicola volle dimostrare non soltanto che la scienza di Aristotele non era una scienza di certezze, ma anche che la concezione aristotelica dell'universo non era nemmeno la più probabile.

<sup>27</sup> J. R. Wienberg, *Nicolaus of Autrecourt*, Princeton, N.J., Princeton University Press, 1948, p. 69.

<sup>28</sup> *Ibidem*, pp. 96-7.

## Capitolo sesto

### Il dibattito su « salvare le apparenze »

#### 1. Oslander sui modelli matematici e la verità fisica

La questione del corretto metodo in astronomia era ancora dibattuta nel XVI secolo. Il teologo luterano Andreas Oslander, nella prefazione all'opera di Copernico *De revolutionibus* sostenne la tradizione del « salvare le apparenze ». Oslander disse che Copernico stava seguendo la tradizione di quegli astronomi che inventano liberamente modelli matematici al fine di predire le posizioni dei pianeti. Oslander dichiarò che il problema non è se i pianeti ruotino veramente intorno al sole; quel che conta è che con questo assunto Copernico sia riuscito a salvare le apparenze. In una lettera Oslander cercò di convincere Copernico a presentare il suo sistema eliocentrico come una semplice ipotesi a cui si attribuiva soltanto una verità matematica.

#### 2. L'impegno pitagorico di Copernico

Comunque Copernico<sup>1</sup> non sottoscrisse quest'approccio all'astronomia. Quale pitagorico convinto, cercò nei fenomeni armonie matematiche, in quanto credeva che vi fossero realmente.

<sup>1</sup> Nicola Copernico (1473-1543) ricevette una sinecura come canonico a Frauenburg grazie all'interessamento di un suo influente zio, il vescovo di Ermland. Potè quindi trascorrere alcuni anni studiando presso università italiane e seguire il suo progetto per la riforma dell'astronomia planetaria matematica. Nel *De revolutionibus* (1543) Copernico rivide i modelli matematici di Tolomeo eliminando i punti equanti e ponendo il sole (pressappoco) al centro dei moti planetari.

Copernico ritenne che il suo sistema eliocentrico fosse qualcosa di più che uno strumento di calcolo. Egli riconobbe che i moti planetari osservati potevano essere dedotti quasi con lo stesso grado di precisione sia dal suo sistema, sia da quello di Tolomeo. Comprese quindi che la scelta tra uno di questi modelli rivali non era basata soltanto su considerazioni relative alla loro efficacia pratica. Copernico sostenne la superiorità del suo sistema appellandosi all'« integrazione concettuale » quale criterio di accettabilità. Confrontò il suo modello unificato del sistema solare con la collezione tolemaica di modelli distinti, uno per ciascun pianeta. Notò inoltre che il sistema eliocentrico spiega le grandezze e le frequenze dei moti retrogradi dei pianeti. Il sistema eliocentrico implica, per esempio, che il moto retrogrado di Giove sia più pronunciato di quello di Saturno e che la frequenza con cui avviene la retrocessione sia maggiore per Saturno che per Giove<sup>2</sup>. Per contro il sistema geocentrico di Tolomeo non spiega questi fatti<sup>3</sup>.

Copernico morì prima di poter rispondere alla prefazione fatta da Oslander alla sua opera. Di conseguenza, nel XVI secolo il confronto tra i due orientamenti metodologici — il pitagorismo e quello del « salvare le apparenze » — non fu così netto come avrebbe potuto essere.

### 3. Bellarmino contro Galileo

Toccò al cardinale Bellarmino e a Galileo stabilire con più forza le posizioni rivali. Nel 1615 Bellarmino informò Galileo che, per la chiesa, non era ammissibile discutere il sistema copernicano come modello matematico utile per salvare le apparenze, **tuttavia** si poteva sostenere che il modello di Copernico era in grado di salvare le apparenze meglio di quanto facesse il modello di Tolomeo. Ma Bellarmino ribadì che considerare un modello matematico superiore a un altro non significa dimo-

<sup>2</sup> Assumendo naturalmente che le velocità orbitali dei pianeti diminuiscono in modo regolare procedendo verso l'esterno, da Mercurio a Saturno.

<sup>3</sup> N. Copernico, *De revolutionibus orbium celestium libri VI*, Torino, Einaudi, 1975, libro I, cap. 10.

strare la verità fisica degli assunti del modello.

Il matematico gesuita Cristoforo Clavio dichiarò (nel 1581), che Copernico aveva salvato le apparenze dei movimenti planetari deducendo teoremi su questi movimenti da assiomi *falsi*. Clavio sostenne che non vi era nulla di eccezionale nei risultati ottenuti da Copernico poiché, dato un teorema vero, si può trovare un numero qualsiasi di premesse false che implicano il teorema. Lo stesso Clavio preferì il modello di Tolomeo perché credeva che un sistema con la terra al centro fosse coerente sia con i principi della fisica, sia con gli insegnamenti della chiesa.

Bellarmino sapeva che molti ecclesiastici influenti condividevano l'opinione di Clavio e avvertì Galileo che sarebbe stato pericoloso difendere la posizione secondo la quale il sole è realmente fermo e la terra realmente ruota intorno ad esso.

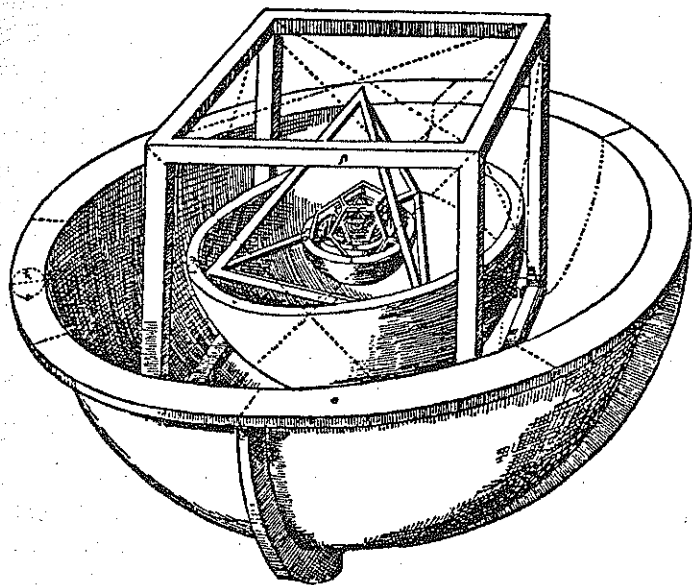
Com'è noto Galileo rischiò troppo. Nonostante dicesse il contrario, il suo *Dialogo sopra i due massimi sistemi* era una mal celata polemica sul sistema di Copernico. Galileo non considerò l'ipotesi eliocentrica come uno strumento di calcolo per salvare le apparenze, e infatti avanzò vari argomenti in favore della *verità fisica* del sistema copernicano. Fu di grande importanza per il successivo sviluppo della scienza il fatto che Galileo avesse completato il suo impegno pitagorico con la convinzione che esperimenti opportunamente scelti possano stabilire l'esistenza di armonie matematiche nell'universo.

### 4. L'impegno pitagorico di Keplero

L'orientamento pitagorico diede risultati notevoli nella ricerca astronomica di Giovanni Keplero<sup>4</sup>. Keplero attribuì un-

<sup>4</sup> Giovanni Keplero (1571-1630) nacque nella città sveva di Weil. Di costituzione delicata, dopo un'infanzia infelice, trovò sollievo nei suoi studi e nella fede protestante. All'Università di Tübingen, Michael Maestlin lo iniziò all'astronomia di Copernico. Il sistema con il sole al centro piaceva a Keplero per ragioni estetiche e teologiche; ed egli dedicò la sua vita alla scoperta dell'armonia matematica secondo la quale Dio doveva aver creato l'universo. Nel 1594 accettò un posto di insegnante di matematica in una scuola luterana di Graz. Due anni più tardi pubblicò il *Mysterium cosmographicum*, in cui stabilì la sua teoria del « nido di solidi regolari » concernente le distanze planetarie. Quest'opera, come tutti i suoi lavori, dimostrò l'impegno pitagorico ispi-

significato particolare al fatto che esistessero soltanto sei pianeti e soltanto cinque solidi regolari. Poiché credeva che Dio avesse creato il sistema solare secondo un modello matematico cercò di correlare le distanze dei pianeti dal sole con queste figure geometriche.



Il nido dei solidi regolari di Keplero

Nel *Mysterium Cosmographicum*, un testo pubblicato nel 1596, annunciò con un certo orgoglio di essere riuscito a svelare il piano della creazione di Dio. Keplero dimostrò che le distanze dei pianeti possono essere correlate ai raggi di gusci sferici inscritti e circoscritti a un nido di cinque solidi regolari. La sistemazione di Keplero era la seguente:

rato al fervore cristiano. Nel 1600, in parte per fuggire alle pressioni dei cattolici di Graz, Keplero giunse a Praga dove divenne assistente del grande astronomo Tycho Brahe. Alla fine poté sfruttare le osservazioni di Tycho, e spesso dovette moderare il suo entusiasmo per le correlazioni matematiche facendo riferimento alla precisione dei dati di Tycho. Keplero pubblicò le prime due leggi del moto planetario nell'*Astronomia Nova* (1609) e la terza legge in *Harmonices Mundi*.

Sfera di Saturno  
Cubo  
Sfera di Giove  
Tetraedro  
Sfera di Marte  
Dodecaedro  
Sfera della Terra  
Icosaedro  
Sfera di Venere  
Ottaedro  
Sfera di Mercurio

Keplero riuscì a trovare un accordo approssimativo tra i rapporti osservati dei raggi dei pianeti e i rapporti calcolati dalla geometria del nido dei solidi regolari. Comunque, ricavò i valori dei raggi planetari dai dati di Copernico che si riferivano a distanze dei pianeti dal centro dell'orbita della terra. Keplero sperò di migliorare la correlazione approssimativa ottenuta con la sua teoria, riferendosi a distanze dei pianeti dal sole e quindi tenendo conto dell'eccentricità dell'orbita terrestre. Egli ricalcolò su questa base i rapporti dei raggi planetari, usando i dati più precisi di Tycho Brahe e trovò che questi rapporti erano sostanzialmente diversi dai rapporti calcolati con la teoria dei solidi regolari. Keplero accettò questo fatto quale confutazione della sua teoria, ma la sua fede pitagorica rimase ben salda. Era convinto che le discrepanze tra le osservazioni e le teorie devono essere una manifestazione delle armonie matematiche ancora da scoprire. Keplero insistette nella sua ricerca delle regolarità matematiche nel sistema solare e alla fine riuscì a formulare tre leggi del moto planetario:

- 1) L'orbita di un pianeta è ellittica con il sole visto in uno dei fuochi.
- 2) Il raggio vettore che va dal sole a un pianeta spazia aree uguali in tempi uguali **quadrati dei**
- 3) Il rapporto dei periodi di due pianeti è direttamente proporzionale al rapporto dei cubi delle loro distanze medie dal sole.

La scoperta della terza legge di Keplero è una straordinaria applicazione dei principi pitagorici. Keplero era convinto che dovesse esistere una correlazione matematica tra le distanze planetarie e le velocità orbitali. Scoprì la terza legge soltanto

dopo aver tentato un gran numero di possibili relazioni algebriche.

Il pitagorico convinto crede che se una relazione matematica si accorda con i fenomeni, ciò non può essere una coincidenza. Ma Keplero in particolare formulò molte correlazioni matematiche il cui status è quanto meno sospetto. Per esempio, confrontò le distanze dei pianeti e la loro « densità », e suggerì che le densità dei pianeti sono inversamente proporzionali alle radici quadrate delle loro distanze dal sole. Keplero non aveva nessuno strumento per calcolare le densità dei pianeti in modo indipendente. Malgrado ciò, egli notò che le densità calcolate con questa relazione matematica potevano essere correlate alle densità di sostanze terrestri ben note. Egli compilò la seguente tabella<sup>5</sup>:

*La relazione tra densità e distanza  
secondo Keplero*

Pianeta	Densità = $\sqrt{\text{distanza}}$ (Terra = 1.000)	Sostanza terrestre
Saturno	324	Le più dure pietre preziose
Giove	438	La magnetite
Marte	810	Il ferro
Terra	1.000	L'argento
Venere	1.175	Il piombo
Mercurio	1.605	Il mercurio

Keplero notò con soddisfazione che sarebbe appropriato correlare il sole con l'oro la cui densità è maggiore di quella del mercurio. Naturalmente, Keplero non credeva che la terra fosse composta d'argento e Venere di piombo, ma credeva che fosse importante che le densità planetarie da lui calcolate corrispondessero alle densità di queste sostanze terrestri.

Dal punto di vista pitagorico l'adeguatezza di una correlazione matematica viene determinata mediante l'appello ai criteri di « piena adeguatezza » e di « semplicità ». Se una relazione

<sup>5</sup> Keplero, *Epitome astronomiae copernicanae* (1618-1621), trad. ingl. *Epitome of Copernican Astronomy*, a cura di C.G. Wallis, in *Ptolemy, Copernicus, Kepler*, Great Books of the Western World, Chicago, III, Encyclopaedia Britannica, inc. 1952, vol. 16, p. 882.

non è matematicamente troppo complessa e se si accorda con i fenomeni presi in considerazione, deve avere una qualche importanza. Ma un individuo che non condividesse la fede pitagorica considererebbe senz'altro una coincidenza la correlazione distanza-densità di Keplero. Egli potrebbe fare appello a criteri che non siano quelli di « adeguatezza » e di « semplicità » in base al fatto che l'applicazione di questi criteri non è sufficiente per distinguere le correlazioni vere da quelle accidentali.

### La legge di Bode

La valutazione delle correlazioni matematiche è stato un problema sempre presente nella storia della scienza. Per esempio, nel 1772 Giovanni Tizio suggerì una correlazione che si collocava nella tradizione pitagorica. Notò che le distanze dei pianeti dal sole potevano essere correlate con termini « opportunamente corretti » della serie geometrica 3, 6, 12, 24..., cioè:

*Legge di Bode*

	4	4	4	4	4
	0	3	6	12	24
Calcolato	4	7	10	16	28
Pianeta	Mercurio	Venere	Terra	Marte	(Asteroidi)
Osservato	3,9	7,2	10	15,2	
	4	4	4	4	
	48	96	192	384	
Calcolato	52	100	196	388	
Pianeta	Giove	Saturno	(Urano)	(Nettuno)	(Plutone)
Osservato	52,0	95,4	191,9	300,7	395

I numeri così ottenuti si adattano straordinariamente bene alle distanze osservate relative alla terra (= 10). Il famoso astronomo Giovanni Bode fu molto colpito da questo rapporto.

Accettò la posizione pitagorica secondo cui un « buon accordo con i dati » non può essere considerato una semplice coincidenza. Dal momento che egli sostenne la validità di tale rapporto, questo prese il nome di « legge di Bode ». Nel 1780 il giudizio di un astronomo sul significato di tale legge era un buon criterio per valutare la portata del suo orientamento pitagorico.

In seguito, nel 1781, William Herschel scoprì un pianeta al di là di Saturno. Gli astronomi continentali calcolarono la distanza di Urano dal sole e scoprirono che il risultato era in eccellente accordo con il successivo termine della legge di Bode (196). Gli studiosi si meravigliarono, gli scettici non poterono più considerare questa correlazione come una coincidenza numerica trovata « dopo il fatto ». Un numero sempre maggiore di astronomi cominciò a prendere in seria considerazione la legge di Bode, e iniziò una ricerca del « pianeta perduto » tra Marte e Giove; gli asteroidi di Cerere e Pallade furono scoperti nel 1801 e nel 1802. Benché gli asteroidi fossero molto più piccoli di Mercurio le loro distanze erano tali che gli astronomi che credevano nella legge di Bode si dichiararono soddisfatti per aver trovato il termine mancante della serie.

In seguito divenne evidente che il moto di Urano doveva essere alterato da un pianeta ancora più distante. J. C. Adams e U.J.J. Leverrier calcolarono, l'uno indipendentemente dall'altro la posizione di questo nuovo pianeta. Un ingrediente dei loro calcoli era l'ipotesi che la distanza media del nuovo pianeta fosse data dal termine successivo della legge di Bode (388). Il pianeta Nettuno fu scoperto da Galle nella regione prevista da Leverrier. Comunque, l'osservazione più accurata del pianeta rivelava che la sua distanza media dal sole (relativa alla terra = 10) è circa 300, che non è in buon accordo con la legge di Bode<sup>6</sup>.

Con l'inclusione di Nettuno la legge di Bode non soddisfaceva più il criterio dell'« adeguatezza ». Quindi oggi si può essere pitagorici anche se non si aderisce alla legge di Bode. D'al-

<sup>6</sup> La posizione di Nettuno nella sua orbita al tempo della scoperta era tale che il calcolo inesatto della sua distanza dal sole non aveva grandi conseguenze sulla precisione della previsione della sua posizione rispetto alle stelle circostanti.

tra parte, siccome la distanza di Plutone è molto prossima al valore dato alla legge di Bode per il pianeta che si trova al di là di Urano, un pitagorico potrebbe essere tentato di spiegare il caso anomalo di Nettuno sostenendo che Nettuno è entrato a far parte recentemente del sistema solare e non è uno dei pianeti originali.

## Capitolo settimo

### L'attacco contro la filosofia aristotelica nel XVII secolo

#### 1. Galileo

##### 1.1. L'orientamento pitagorico e la demarcazione della fisica

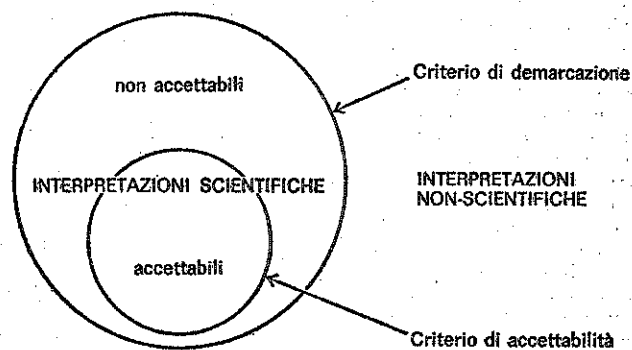
Galileo<sup>1</sup> era convinto che il libro della natura fosse scritto nel linguaggio matematico. Per questo motivo cercò di restringere il campo della fisica ad asserzioni sulle « qualità primarie ». Le qualità primarie sono quelle qualità che subiscono una variazione quantitativa sistematica rispetto a una scala. Galileo credeva che le qualità primarie come forma, misura, numero, posizione, e « quantità di moto » fossero proprietà oggettive

<sup>1</sup> Galileo Galilei (1564-1642) nacque a Pisa da una nobile famiglia decaduta. Nel 1581 si iscrisse all'Università di Pisa per seguire gli studi in medicina, che abbandonò ben presto per dedicarsi alla matematica e alla fisica. Nel 1592 ebbe l'incarico di professore di Matematica all'Università di Padova dove rimase fino al 1610. In questo periodo, Galileo fece importanti osservazioni al telescopio sulle macchie solari, sulla superficie della luna e su quattro satelliti di Giove. Queste osservazioni erano incompatibili con le implicazioni della visione del mondo aristotelica, secondo la quale il regno celeste è immutabile e la terra è il centro di ogni movimento. Nel 1610 Galileo divenne matematico di corte del granduca di Toscana. Si impegnò in una serie di dispute con i filosofi gesuiti e domenicani, insegnò a questi studiosi il modo corretto di interpretare le scritture, così da trovare un accordo con l'astronomia copernicana (*Lettera alla granduchessa Cristina*, 1615). Nel 1623 Maffeo Barberini, un ammiratore di Galileo, fu eletto papa e Galileo chiese ed ottenne il permesso di preparare uno studio imparziale sui due sistemi rivali, quello copernicano e quello tolemaico. Il *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632), contiene una prefazione e una conclusione in cui Galileo sostiene che i due sistemi rivali sono pure ipotesi matematiche formulate con l'intento di salvare le apparenze. Il resto dell'opera che Galileo scrisse in italiano per un pubblico più vasto contiene numerose argomentazioni a favore della verità fisica dell'alternativa copernicana. Galileo fu condotto di fronte all'Inquisizione e costretto ad abiurare. Si ritirò a Firenze sotto gli sguardi attenti dei suoi nemici. Comunque, si prese la rivincita con la pubblicazione dei *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze* (1638), in cui dimostrò la inadeguatezza della fisica di Aristotele e, di conseguenza, privò il geocentrismo del suo maggior sostegno.

dei corpi e che le qualità secondarie come i colori, i gusti, gli odori e i suoni esistessero soltanto nella mente del soggetto percipiente<sup>2</sup>.

Restringendo il contenuto della fisica alle qualità primarie e alle loro relazioni, Galileo esclude le spiegazioni teleologiche dalla serie dei possibili discorsi permessi dalla fisica. Secondo Galileo non è spiegazione scientifica in *bona fide* affermare che un moto ha luogo *affinché* si possa realizzare qualche altro stato futuro. In particolare, affermò che le interpretazioni di Aristotele in termini di « moti naturali » verso « luoghi naturali » non si qualificano come spiegazioni scientifiche. Galileo si rese conto che non è possibile dimostrare la falsità di un asserto del tipo « i corpi liberi si spostano verso la terra per raggiungere il loro 'luogo naturale' ». Ma egli disse anche che questo tipo di interpretazione può essere esclusa dalla fisica perché non « spiega » il fenomeno.

Implicita nell'analisi di Galileo è una distinzione tra due stadi della valutazione delle interpretazioni in seno alla scienza. Il primo stadio è quello in cui si distinguono le interpretazioni scientifiche da quelle non scientifiche. Galileo era d'accordo con Aristotele nel circoscrivere il contenuto proprio della scienza. Il secondo stadio è quello in cui si determina l'accettabilità delle interpretazioni qualificate come scientifiche. L'approccio di Galileo al problema della valutazione delle interpretazioni scientifiche può essere rappresentato nel modo seguente:



<sup>2</sup> G. Galilei, *Il Saggiatore*, in *Opere*, Torino, UTET, 1964, vol. I, pp. 595-807.

Galileo fissò la circonferenza del cerchio più grande limitando l'oggetto della fisica ad asserti sulle qualità primarie.

Una conseguenza della demarcazione della fisica di Galileo è che i moti dei corpi sono descritti in relazione a un sistema di coordinate nello spazio. Galileo sostituì lo spazio qualitativamente differenziato di Aristotele con uno spazio geometrico quantitativamente differenziato.

Ma la rottura con lo spazio qualitativamente differenziato dell'universo aristotelico non fu mai totale. In uno dei primi lavori, il *De Motu*, Galileo stesso sosteneva la dottrina dei « luoghi naturali »<sup>3</sup>. Anche se successivamente cercò di escludere dalla fisica le interpretazioni in termini di « luoghi naturali », restò fedele per tutta la vita alla dottrina per cui soltanto il moto circolare si addice ai corpi celesti. Galileo credette che la terra stessa fosse un corpo celeste *bona fide* e tentò di dimostrare agli aristotelici che la terra e i corpi alla sua superficie partecipano alla perfezione del moto circolare. Per esempio, sostenne che in assenza di ogni resistenza, il moto sulla superficie della terra persisterebbe all'infinito senza rallentamenti<sup>4</sup>. In questo caso, Galileo è colpevole di aver formulato lo stesso tipo di interpretazione che la sua demarcazione della fisica aveva cercato di escludere.

### 1.2. *La teoria del procedimento scientifico*

La polemica anti-aristotelica di Galileo non era diretta contro il metodo induttivo-deduttivo di Aristotele. Egli accettò la posizione di Aristotele sull'indagine scientifica come una progressione a due stadi, dall'osservazione ai principi generali e indietro di nuovo fino alle osservazioni.

Inoltre, Galileo approvò la posizione di Aristotele per cui i principi esplicativi devono essere indotti dai dati dell'esperienza sensibile. A questo proposito, Galileo osservò che lo stesso Aristotele avrebbe respinto la dottrina dell'immutabilità dei cieli se soltanto fosse stato in possesso della testimonianza

<sup>3</sup> G. Galilei, *Le Meccaniche*, in *Opere*, cit., pp. 137-189.

<sup>4</sup> G. Galilei, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, Torino, Einaudi, 1975, p. 174; *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*, Torino, Boringhieri, 1958.

telescopica del XVII secolo sulle macchie solari. Dichiarò che « Più aristotelicamente filosoferete dicendo "Il cielo è alterabile, perché così mi mostra il senso", che se direte "Il cielo è inalterabile, perché così persuade il discorso ad Aristotile" »<sup>5</sup>.

Le osservazioni di Galileo sul procedimento scientifico erano indirizzate a coloro che praticavano un falso aristotelismo, che aggravavano il problema costituito dal metodo di risoluzione e composizione iniziando dai principi primi di Aristotele anziché dall'induzione dall'esperienza sensibile. I falsi aristotelici incoraggiavano una teorizzazione dogmatica che isolava la scienza dalla sua base empirica. Spesso Galileo condannò questa perversione della metodologia aristotelica.

### 1.2.1. *Il metodo di risoluzione*

Galileo affermò l'importanza per la fisica dell'astrazione e dell'idealizzazione, estendendo così il campo delle tecniche induttive. Nel suo lavoro si avvale di idealizzazioni come « la libera caduta nel vuoto » e il « pendolo ideale ». Queste idealizzazioni non sono esemplificate direttamente nei fenomeni. Sono formulate per estrapolazione da fenomeni ordinati in serie. Il concetto di « caduta libera nel vuoto », per esempio, è un'extrapolazione dall'osservazione del comportamento di corpi lasciati cadere in una serie di fluidi di densità decrescente<sup>6</sup>. Allo stesso modo il concetto di pendolo ideale è una idealizzazione; un pendolo « ideale » è un pendolo il cui bilanciere è appeso a un filo « privo di massa », in cui non siano presenti quelle forze d'attrito dovute ai differenti periodi di moto per i differenti segmenti del filo. Inoltre, il moto di un tale pendolo è reso impossibile dalla resistenza dell'aria.

Il lavoro di Galileo in meccanica testimonia la fertilità di questi concetti. Egli riuscì a dedurre il comportamento approssimativo della caduta dei gravi e del pendolo reale dai principi esplicativi che specificavano le proprietà dei moti idealizzati. Una conseguenza importante di questo uso delle idealizzazioni fu di mettere in evidenza il ruolo dell'immaginazione creativa nel

<sup>5</sup> G. Galilei, *Dialogo sopra i due massimi sistemi*, cit., p. 70.

<sup>6</sup> G. Galilei, *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*, cit.

metodo di risoluzione. Le ipotesi sulle idealizzazioni non possono essere ottenute né dall'induzione per semplice enumerazione né dai metodi della concordanza e della differenza. È necessario che lo scienziato intuisca quali proprietà del fenomeno siano la base propria dell'idealizzazione, e quali proprietà possano essere ignorate<sup>7</sup>.

### 1.2.2. *Il metodo di composizione*

Grossatesta e Ruggero Bacone avevano ampliato il metodo di composizione suggerendo la deduzione delle conseguenze non comprese nei dati inizialmente usati per indurre i principi esplicativi. Galileo fece un'applicazione sorprendente di questo procedimento, deducendo dalle sue ipotesi sulle traiettorie paraboliche dei proiettili che la parabola massima viene raggiunta a 45°. Questo fatto era già noto prima del lavoro di Galileo. Il risultato di Galileo fu una spiegazione di questo fatto. Dalla traiettoria parabolica Galileo dedusse anche che per angoli di elevazione ugualmente distanti dai 45°, per esempio 40° e 50°, la parabola ottenuta è sempre la stessa. Affermò che questo fatto non era stato riconosciuto dagli artiglieri, e si avvale di questa occasione per ribadire la superiorità della dimostrazione matematica sull'esperienza incontrollata<sup>8</sup>.

### 1.2.3. *La conferma sperimentale*

Grossatesta e Ruggero Bacone avevano aggiunto al metodo della risoluzione e della composizione un terzo stadio nel quale le conclusioni ottenute venivano ulteriormente verificate dall'esperienza. L'atteggiamento di Galileo verso questo terzo stadio è stato considerato in vario modo: è stato salutato come l'espressione più alta della metodologia sperimentale, ma è stato anche criticato per non aver apprezzato l'importanza della conferma sperimentale. Ognuno di questi giudizi può essere sostenuto con esempi tratti sia dai commenti galileiani al procedimento scientifico sia dalla sua pratica scientifica.

<sup>7</sup> G. Galilei, *Dialogo sopra i due massimi sistemi*, cit.

<sup>8</sup> G. Galilei, *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*, cit.



Galileo si pronunciò in modo ambivalente sul valore della conferma sperimentale, ma prevalse in lui un atteggiamento positivo. Per esempio, nei *Discorsi intorno a due nuove scienze* dopo che Salviati ha dedotto la legge della caduta dei gravi, Simplicio chiede una conferma sperimentale di questa relazione. Galileo fece rispondere a Salviati che

Voi, da vero scienziato, fate una ben ragionevol domanda; e così si costuma e conviene nelle scienze le quali alle conclusioni naturali applicano le dimostrazioni matematiche<sup>9</sup>.

Comunque è anche vero che Galileo in alcune occasioni scrisse come se la conferma sperimentale fosse poco importante. Per esempio, dopo aver dedotto la variazione della traiettoria parabolica di un proiettile rispetto all'angolo di elevazione scrisse che

La cognizione d'un solo effetto acquistata per le sue cause ci apre l'intelletto a 'ntendere ed assicurarci d'altri effetti senza bisogno di ricorrere alle esperienze<sup>10</sup>.

Una simile ambivalenza sulla sperimentazione si trova nella pratica scientifica di Galileo. Molto spesso egli descrisse esperimenti che probabilmente egli stesso aveva compiuto.

Per la storia della fisica gli esperimenti più importanti di Galileo furono quelli relativi al problema della caduta dei gravi. Galileo riferì di aver trovato conferma alla legge della caduta dei gravi facendo rotolare delle sfere lungo piani inclinati di varia altezza. Sebbene non specificasse i valori ottenuti in questi esperimenti, si dilungò in dettagli considerevoli sulla costruzione dei piani e sulla misurazione del tempo di caduta per mezzo di un orologio ad acqua<sup>11</sup>.

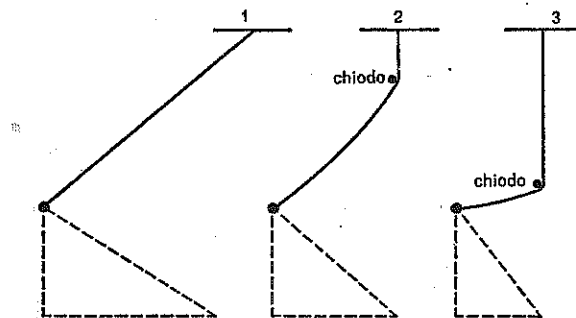
Galileo riferì anche di avere eseguito esperimenti con il pendolo per confermare l'ipotesi che le velocità raggiunte da un corpo che scende lungo piani di diversa inclinazione sono uguali quando le altezze dei piani sono uguali. Dichiarò che se il moto di un pendolo formato da una pallina legata ad una

<sup>9</sup> *Ibidem*, p. 199.

<sup>10</sup> *Ibidem*, p. 331.

<sup>11</sup> *Ibidem*.

corda viene arrestato quando la corda colpisce un chiodo, allora la pallina raggiunge la stessa altezza di quando le sue oscillazioni non sono ostacolate.



*Esperimento di Galileo del pendolo e del chiodo*

Galileo sostenne che l'esperimento del pendolo e del chiodo confermava indirettamente l'ipotesi sul moto lungo piani inclinati. Notò che non si può ottenere una conferma diretta facendo rotolare una sfera giù lungo un piano e in su lungo un altro, a causa dell'« ostacolo » che incontra nel punto di congiunzione<sup>12</sup>.

Tra gli esperimenti meno conosciuti di Galileo troviamo la dimostrazione che un recipiente in legno cavo galleggiante non affonda quando lo si riempie d'acqua<sup>13</sup>, e un occultamento delle stelle per mezzo di una fune per dimostrare che i diametri stellari appaiono esagerati se osservati a occhio nudo<sup>14</sup>.

Malgrado le descrizioni di esperimenti che si suppone egli abbia eseguito, l'impegno di Galileo nella conferma sperimentale non fu completo. Vi sono casi in cui egli respinse l'evidenza sperimentale poiché deponessa a sfavore delle sue teorie.

Per esempio, in uno dei primi lavori, il *De Motu*, Galileo introdusse la relazione  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{d_1 - d_m}{d_2 - d_m}$ , in cui  $v_1$  e  $v_2$  indicano la velocità di caduta di due sfere di uguale volume attraverso un

<sup>12</sup> *Ibidem*.

<sup>13</sup> G. Galilei, *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono*, in *Opere*, cit., pp. 409-517.

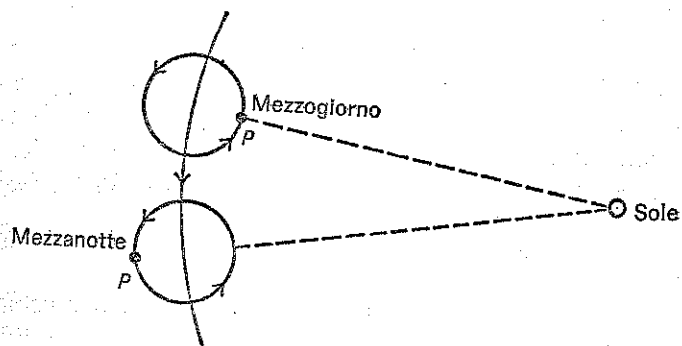
<sup>14</sup> G. Galilei, *Dialogo sopra i due massimi sistemi*, cit., pp. 350 ss.

mezzo,  $d_1$  e  $d_2$  la densità di questi corpi e  $d_m$  la densità del mezzo. Commentando questa relazione Galileo ammise che se si gettano due sfere da una torre, scelte in modo che  $\frac{d_1 - d_m}{d_2 - d_m} = 2$ ,

non si osserva un rapporto corrispondente nelle velocità. Infatti, le due sfere arrivano a terra più o meno allo stesso momento. Galileo attribuì questo fallimento della conferma a « accidenti non naturali »<sup>15</sup>. In questo caso si affrettò a sostenere una relazione matematica che credeva derivasse dalla legge di Archimede sul galleggiamento, nonostante non descrivesse il comportamento dei corpi che cadono nell'aria. Successivamente Galileo abbandonò questa relazione in favore dell'approccio cinematico in cui la distanza di caduta è correlata al trascorrere del tempo.

Galileo respinse anche l'evidenza contraria alle sue teorie sulle maree. Credeva che le maree fossero determinate dal sommarsi e dall'annullarsi periodico di due movimenti della terra — la sua rivoluzione annuale attorno al sole e la rotazione giornaliera sul proprio asse. L'ipotesi di Galileo, detta schematicamente, era che per un dato porto  $P$ , la rivoluzione e la rotazione si sommano l'una all'altra a mezzanotte e si annullano a mezzogiorno.

Il risultato di questa somma e cancellazione periodica è che l'acqua al largo è spinta indietro di notte e avanti lungo la costa di giorno.



*Teoria dell'alta marea di Galileo*

<sup>15</sup> G. Galilei, *De Motu*, 1590.

Dalla teoria di Galileo segue che in una data località, ci dovrebbe essere soltanto un'alta marea al giorno verso mezzogiorno.

Ma è risaputo che in un porto ci sono due alte maree al giorno. Inoltre, il momento in cui si verificano varia di giorno in giorno. Galileo decise di non farsi scoraggiare; attribuì la divergenza fra teorie e fatti a cause secondarie di poca importanza, come la profondità irregolare del mare e la forma e la direzione della linea costiera. Galileo fu così impaziente di trovare argomenti a favore del moto della terra che volle negare l'evidenza che depondeva contro la sua teoria delle maree.

Inoltre vi è un caso in cui Galileo riferì di aver trovato conferma a una legge in un campo in cui tale legge non può essere valida. Assertò di aver osservato che il periodo di un pendolo è indipendente dall'ampiezza delle sue oscillazioni per angoli di 80° rispetto alla perpendicolare<sup>16</sup>. Ma il periodo di un pendolo è indipendente dall'ampiezza soltanto per piccoli spostamenti dalla perpendicolare. Bisogna concludere che Galileo non si preoccupò di fare esperimenti con oscillazioni di grandi ampiezze oppure che le sue osservazioni furono fatte senza particolare cura. Forse l'errore è da attribuirsi alla sua ferma convinzione su come un pendolo *dovrebbe* oscillare.

### 1.3. *L'ideale della sistematizzazione deduttiva*

Galileo sostenne l'ideale archimedeo della sistematizzazione deduttiva, accettò anche la distinzione platonica tra il reale e il fenomenico, a cui questo ideale era spesso associato. Partendo da tale distinzione, è naturale sminuire le divergenze tra i teoremi dei sistemi deduttivi e ciò che viene veramente osservato. Tali discrepanze possono essere attribuite a complicazioni sperimentali « poco importanti ». Come già detto, Galileo ricorse più volte a questa impostazione.

Comunque, uno degli aspetti più importanti dell'impegno archimedeo-platonico di Galileo fu il suo insistere sul valore dell'astrazione e dell'idealizzazione nella scienza. Questo fu

<sup>16</sup> G. Galilei, *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*, cit.

l'altro aspetto della sua volontà di eliminare ogni discrepanza tra teoria e osservazione. Si è detto precedentemente che molto del successo di Galileo in fisica deve essere attribuito alla sua abilità nell'eliminare le complicazioni empiriche per lavorare con concetti ideali come « libera caduta nel vuoto », « pendolo ideale » e « moto privo di attrito di una nave attraverso l'oceano ». Questa è una caratteristica positiva dell'ideale di sistematizzazione deduttiva. Galileo stesso aveva una idea molto sofisticata riguardo al ruolo da assegnare all'astrazione nella scienza. Scrisse che:

Sì come a voler che i calcoli tornino sopra i zuccheri, le sete e le lane, bisogna che il computista faccia le sue tare di casse, invoglie ad altre bagaglie, così, quando il filosofo geometra vuol riconoscere in concreto gli effetti dimostrati in astratto, bisogna che difalchi gli impedimenti della materia; che se ciò saprà fare, io vi assicuro che le cose si risconteranno non meno aggiustatamente che i computi aritmetici. Gli errori dunque non consistono né nell'astratto né nel concreto, né nella geometria o nella fisica, ma nel calcolatore, che non sa fare i conti giusti<sup>17</sup>.

## 2. Francesco Bacone

### 2.1. La controversia sul valore del contributo di Bacone

Francesco Bacone<sup>18</sup> è una figura molto controversa nella

<sup>17</sup> G. Galilei, *Dialogo sopra i due massimi sistemi*, cit., p. 252.

<sup>18</sup> Francesco Bacone (1561-1626) fu uno dei figli di Sir Nicholas Bacon, Lord guardasigilli della regina Elisabetta I. Bacone entrò al Trinity College di Cambridge a tredici anni, e qui nacque la sua antipatia verso la filosofia di Aristotele. Successivamente, studiò legge al Grey's Inn e nel 1568 fu ammesso all'Ordine degli avvocati. Bacone fece numerosi tentativi per assicurarsi una nomina governativa dalla regina, ma sebbene suo zio William Cecil, più tardi Lord Burghley, fosse il ministro più importante di Elisabetta, la nomina tardò ad arrivare. Ciò fu dovuto in parte alla difesa fatta da Bacone dei diritti dei Comuni contro certe proposte sostenute dai ministri della regina. In seguito all'ascesa al trono di Giacomo I, la sorte di Bacone volse in meglio. Nel 1603 divenne cavaliere, nel 1613 procuratore generale, Lord guardasigilli nel 1617, Lord cancelliere nel 1618, barone di Verulamio nel 1618, e visconte di St. Albans nel 1621. Poco dopo si dichiarò colpevole di aver accettato doni da persone convocate alla sua presenza in qualità di Lord Cancelliere. Bacone insistette sul fatto di non aver permesso che i doni ricevuti influenzassero il suo giudizio, ma non si difese dall'accusa di aver accettato i doni. Dovette pagare una multa, fu incarcerato e bandito dalla vita pubblica dai suoi pari della Camera dei Lords, ma il re gli condonò la multa e lo liberò dopo pochi giorni di prigionia. Negli ultimi cinque anni della sua vita, Bacone trascorse molto tempo lavorando alla sua *Instauratio Magna*,

storia della scienza. Agli occhi dei fondatori della *Royal Society* era il profeta di una nuova metodologia scientifica. Allo stesso modo i *philosophes* guardavano a Bacone come a un innovatore, il campione del nuovo metodo induttivo-sperimentale. Ma Alexandre Koyré e E. J. Dijksterhuis, due eminenti storici del XX secolo, hanno minimizzato il valore del suo contributo, rilevando che Bacone non ottenne nuovi risultati nella scienza, e che la sua critica al metodo di Aristotele non fu né originale, né incisiva. Secondo Dijksterhuis il ruolo di Bacone nella scienza è analogo al ruolo militare dello zoppo poeta greco Tirteo, che non poteva combattere, ma i cui canti bellici ispiravano coloro i quali combattevano<sup>19</sup>.

I critici concordano su parecchi aspetti del contributo di Bacone: 1) Bacone non arricchì la scienza con esempi concreti del suo metodo; 2) grazie alla sua grande abilità letteraria, Bacone fu in grado di esprimere le sue idee in modo così efficace che molti studiosi gli hanno attribuito un ruolo importante nella rivoluzione scientifica del XVII secolo; e 3) l'originalità di Bacone — se di originalità si può parlare — sta nella sua teoria del metodo scientifico.

Bacone stesso sostenne l'originalità del suo metodo, e scelse *Novum Organum* come titolo della sua principale opera sul metodo, affermando perciò che il suo metodo doveva sostituirsi a quello discusso nell'*Organon*, una compilazione medievale degli scritti di Aristotele. Alcuni critici hanno sostenuto che il progetto baconiano ebbe successo. Per esempio, John Herschel dichiarò nel suo *Preliminary Discourse on Natural Philosophy* (1830) che grazie alle scoperte di Copernico, Keplero e Galileo gli errori della filosofia aristotelica furono di fatto chiariti da un semplice richiamo ai fatti della natura; ma restava da dimostrare come e perché Aristotele fosse in errore sui principi generali; e restava da mettere in evidenza la debolezza peculiare del suo metodo filosofico, e sostituirlo con un altro migliore.

una proposta di rinnovamento delle scienze. Il suo più importante contributo per questa *Instauratio* fu il *Novum Organum*, pubblicato nel 1620. In quest'opera egli enunciò un « nuovo » metodo scientifico da sostituire a quello di Aristotele.

<sup>19</sup> E. J. Dijksterhuis, *Il meccanicismo e l'immagine del mondo*, Milano, Feltrinelli, 1971, p. 538.

Questo compito importante fu portato a termine da Francesco Bacone<sup>20</sup>.

## 2.2. *La critica al metodo aristotelico*

Ma il metodo di Bacone fu veramente un « nuovo » *Organon*? Bacone sostenne che il primo requisito del metodo scientifico è che il filosofo della scienza si liberi da ogni pregiudizio e torni ad essere come un bambino di fronte alla natura. Egli notò che lo studio della natura era stato offuscato da quattro tipi di « idoli » che assediano la mente umana. Gli « idoli della tribù » hanno la loro origine nella stessa natura umana: l'intelletto umano è portato a supporre nella natura maggiore regolarità di quella che vi si trova in realtà, e tende a generalizzare in modo avventato e a sopravvalutare il valore dell'istanza di conferma. Gli « idoli della spelonca », al contrario, sono atteggiamenti verso l'esperienza derivanti dall'educazione degli uomini come individui. Gli « idoli del foro » sono distorsioni che appaiono quando i significati delle parole sono ridotti al più basso denominatore comune dell'uso volgare e perciò impediscono il formarsi del concetto scientifico. E gli « idoli del teatro » sono i dogmi ereditati e i metodi delle varie filosofie.

La filosofia di Aristotele era l'idolo del teatro che Bacone si affrettò a screditare. Va sottolineato, ad ogni modo, che Bacone accettò le linee principali della aristotelica teoria induttiva-deduttiva del procedimento scientifico. Bacone, come Aristotele, considerava la scienza come una progressione dalle osservazioni ai principi generali e poi nuovamente alle osservazioni. È vero che Bacone pose l'accento sullo stadio induttivo del procedimento scientifico; ma assegnò al ragionamento deduttivo un ruolo importante nella conferma delle generalizzazioni induttive<sup>21</sup>. Sostenne inoltre che i frutti dell'indagine scientifica sono le invenzioni e i nuovi lavori, e disse che questo è un pro-

<sup>20</sup> J. F. W. Herschel, *A preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy*, London, Longman, Rees, Orme, Brown e Green, John Taylor, 1831, pp. 113-4.

<sup>21</sup> F. Bacone, *Novum Organum*, in *Scritti filosofici*, Torino, UTET, 1975, I, aforisma CVI, p. 614.

blema di deduzione dai principi generali delle conseguenze che hanno un'applicazione pratica<sup>22</sup>.

Ma anche se Bacone accettò la teoria aristotelica del procedimento scientifico, fu molto critico circa il modo in cui questo procedimento era stato portato avanti. La sua accusa allo stadio induttivo si divide in tre parti.

Primo, Aristotele e i suoi seguaci si limitarono a una raccolta di dati, acritica e casuale. Francesco Bacone richiese un uso completo della seconda prerogativa della scienza sperimentale di Ruggero Bacone, vale a dire l'impiego di una sperimentazione sistematica per ottenere una nuova conoscenza della natura. A questo proposito, Francesco Bacone sottolineò il valore degli strumenti scientifici nella raccolta dei dati.

Secondo, gli aristotelici generalizzarono troppo affrettatamente. Date poche osservazioni, essi passarono immediatamente ai principi più generali e utilizzarono questi principi per dedurre generalizzazioni di minore portata.

Terzo, Aristotele e i suoi seguaci si fidavano dell'induzione per enumerazione semplice, dove le correlazioni di proprietà considerate valide per parecchi individui di una data specie, sono considerate valide per tutti gli individui di quel tipo. Ma l'applicazione di questa tecnica induttiva porta spesso a conclusioni false in quanto non si tiene conto dei casi negativi. (Bacone non fa menzione dell'attenzione posta da scrittori medievali come Grossatesta e Ockham ad un « metodo della differenza »).

Bacone mosse due critiche principali allo stadio deduttivo della ricerca scientifica. La prima affermava che gli aristotelici non erano riusciti a definire chiaramente predicati importanti come « attrazione », « generazione », « elemento », « grave » e « umido », per cui sono del tutto inutili i ragionamenti sillogistici in cui compaiono questi predicati<sup>23</sup>. Sottolineò correttamente che la dimostrazione sillogistica a partire dai principi primi è effettiva solo se i termini del sillogismo sono ben definiti.

La seconda critica di Bacone era che Aristotele e i suoi discepoli avevano ridotto la scienza alla logica deduttiva soprav-

<sup>22</sup> *Ibidem*, II, aforisma X, p. 649.

<sup>23</sup> *Ibidem*, I, aforisma XV, p. 554.

valutando la deduzione delle conseguenze dai principi primi. Bacone sostenne che i ragionamenti deduttivi hanno valore scientifico soltanto se le loro premesse hanno un corretto supporto induttivo.

A questo punto Bacone avrebbe dovuto fare una distinzione tra l'aristotelica teoria del procedimento e il modo in cui se ne erano indebitamente appropriati alcuni pensatori successivi che si autodefinirono « aristotelici ». I sostenitori di un falso aristotelismo avevano aggirato, sin dall'inizio, il metodo di Aristotele in quanto iniziavano non con l'induzione dall'evidenza osservativa bensì con i principi primi di Aristotele. Questo falso aristotelismo aveva alimentato una teorizzazione dogmatica e isolante la scienza dalla sua base empirica. Ma lo stesso Aristotele aveva sostenuto che i principi primi sono indotti dall'evidenza osservativa. Bacone fu ingiusto nel condannare Aristotele per aver ridotto la scienza alla logica deduttiva.

### 2.3. La « correzione » del metodo aristotelico

Bacone costruì il suo « nuovo » metodo per la scienza al fine di colmare le presunte carenze della teoria aristotelica del procedimento. Le due caratteristiche principali del nuovo metodo furono le induzioni gradualì, progressive e un metodo di esclusione.

Bacone sostenne che la ricerca scientifica condotta in modo corretto è un'ascesa, passo dopo passo, dalla base all'apice di una piramide di proposizioni, vale a dire:



La piramide di proposizioni di Bacone

Sugerì che si sarebbe dovuta compilare una serie di « storie naturali e sperimentali » per dare una base sicura alla piramide. Egli stesso vi contribuì con studi sui venti, sul flusso e riflusso delle maree, sulla longevità e modi di vita di diversi popoli e animali. Sfortunatamente trasse molto del materiale per la sua storia naturale da fonti non attendibili.

Bacone sostenne che, dopo aver stabilito i fatti di una scienza particolare, il filosofo della natura avrebbe dovuto cercare le correlazioni all'interno di questi fatti, e puntò su una ascesa graduale, induttiva da correlazioni di basso grado di generalità a quelle maggiormente inclusive.

Sapeva che alcune correlazioni tra fatti sono soltanto correlazioni « accidentali ». Per eliminare tali correlazioni formulò un metodo di esclusione; suggerì che le correlazioni accidentali spesso possono essere identificate controllando la *tabula presentiae*, la *tabula absentiae* e la *tabula graduum*. Deve essere esclusa dalla piramide ogni correlazione per la quale si dà un caso in cui un attributo è assente quando un altro è presente, o casi in cui un attributo diminuisce quando l'altro aumenta. Credeva che dopo aver escluso le correlazioni accidentali in questo modo, sarebbero rimaste soltanto le correlazioni essenziali; e le correlazioni essenziali sono un oggetto adatto per ulteriori generalizzazioni induttive.

Bacone citò il metodo di esclusione come un importante elemento di superiorità del suo metodo su quello di Aristotele, e sostenne giustamente che l'enumerazione semplice, uno dei procedimenti induttivi usati da Aristotele, non è adatta per distinguere le correlazioni essenziali da quelle accidentali. Affermò che l'applicazione del metodo di esclusione può portare a questa distinzione poiché questo metodo pone la dovuta attenzione all'assenza e all'intensità relativa.

Bacone fu sufficientemente realista da riconoscere che, in molti casi, è difficile trovare le correlazioni essenziali soltanto dall'esame della *tabula presentiae*, della *tabula absentiae* e della *tabula graduum*. Per questa ragione, egli scelse diversi tipi di « istanze prerogative » che hanno un valore particolare nella ricerca delle correlazioni essenziali. Sembra che abbia creduto

che facesse parte della natura stessa di queste istanze rivelare le correlazioni essenziali.

Forse la piú importante tra le 27 istanze prerogative di Bacone è l'« istanza del segnavia ». Questa istanza decide l'esito tra spiegazioni rivali. Bacone stesso suggerí un'istanza cruciale di questo tipo per decidere tra due ipotesi sul flusso e il riflusso della marea. La prima ipotesi era che le maree fossero un avanzamento ed un indietro delle acque in analogia con l'oscillazione dell'acqua in una bacinella. La seconda ipotesi era che le maree fossero un sollevarsi ed abbassarsi periodico delle acque. Bacone notò che l'ipotesi della bacinella sarebbe stata smentita se si fosse potuto dimostrare che la coincidenza temporanea dell'alta marea sui lidi della Spagna e della Florida non erano accompagnate da una bassa marea da qualche altra parte. Sugerí che uno studio delle maree sulle coste peruviane e cinesi avrebbe dato la risposta <sup>24</sup>.

Bacone riconobbe che un'istanza è « cruciale » soltanto se non è coerente con l'insieme di premesse esplicative, eccetto una. Ma non è possibile provare che un asserto su un tipo di fenomeno possa essere dedotto soltanto da queste premesse date e non da altre. Bacone sapeva di sopravvalutare la forza logica delle istanze indicative. Comunque, l'eliminazione di ipotesi le cui conseguenze deduttive (date le condizioni specifiche antecedenti) non sono in accordo con le osservazioni, può avere valore nella ricerca di una spiegazione piú adeguata. Naturalmente, non fu Francesco Bacone a inventare questo metodo di falsificazione. Aristotele lo aveva utilizzato e Grossatesta e Ruggero Bacone lo avevano consigliato come metodo standard per determinare un'ipotesi eliminando le ipotesi rivali.

#### 2.4. *La ricerca delle forme*

Bacone chiamava « forme » i principi generali posti alla sommità della piramide. Le forme sono le espressioni verbali delle relazioni tra « nature semplici », quelle qualità irriducibili presenti negli oggetti che noi percepiamo. Bacone credeva

<sup>24</sup> *Ibidem*, II, aforisma XXXVI, n. 717.

che le diverse combinazioni di queste nature semplici costituissero gli oggetti della nostra esperienza e che se noi potessimo soltanto acquisire la conoscenza delle forme sarebbe possibile controllare e modificare le forze della natura.

In alcuni dei suoi commenti sulle forme, Bacone pare aver concepito l'unione di nature semplici in termini di analogia alchemica. Per esempio scrisse che:

chi conosce infatti le forme e i modi di introdurre il giallo, il peso, la duttilità, la solidità, la fluidità, la solubilità e così via, nonché i loro gradi e i modi, vedrà come far sí che queste cose possano congiungersi in un corpo, onde ne consegua la sua trasformazione in oro <sup>25</sup>.

Lo stesso Bacone contribuì alla ricerca delle forme di calore, candore, attrazione dei corpi, peso, sapore, memoria e la forma dello « spirito racchiuso nei corpi tangibili » <sup>26</sup>.

Le forme di Bacone non sono le forme di Platone, o le cause formali di Aristotele. Piuttosto sono forme che si suppone esprimano quelle relazioni tra le proprietà fisiche che hanno il potere di produrre effetti. In termini aristotelici, le forme di Bacone alludono all'aspetto materiale ed efficiente della causalità, così come all'aspetto puramente formale.

In molti casi (il magnetismo e lo « spirito racchiuso nei corpi tangibili » sono delle eccezioni), Bacone specificò le forme nei termini delle configurazioni e dei movimenti delle parti invisibili dei corpi. Accettò il principio degli atomisti per cui gli effetti macroscopici devono essere spiegati con le interazioni submacroscopiche. Ma non accettò la posizione degli atomisti per cui l'urto e l'impenetrabilità sono le proprietà fondamentali degli atomi. Bacone attribuì alle parti dei corpi « forze » e « simpatie », e non accettò l'idea di un vuoto continuo nel quale si distribuiscono gli atomi.

Assegnò due requisiti alle forme: queste proposizioni devono essere vere in tutte le istanze e i loro contrari devono essere ugualmente veri <sup>27</sup>. Per esempio, la forma del caldo, se-

<sup>25</sup> *Ibidem*, II, aforisma V, p. 644.

<sup>26</sup> *Ibidem*, II, aforisma XI-XXXVI, pp. 650-717.

<sup>27</sup> Queste necessità corrispondono rispettivamente alle Regole di Verità e Saggezza di Pietro Ramus (cfr. Paolo Rossi, *Francesco Bacone. Dalla magia alla scienza*, Torino, Einaudi, 1974).

condo Bacone stabilisce un'identità del « caldo » con « un rapido movimento espansivo delle parti minori dei corpi, le quali sono trattenute dallo sfuggire all'esterno della superficie del corpo »<sup>28</sup>. Secondo Bacone, se il calore è presente, è presente anche questo rapido movimento espansivo e viceversa. Una tale convertibilità si suppone sia valida in tutte le forme.

Bacone talvolta parlò delle forme come di « leggi ». Per esempio, nel libro II del *Novum Organum* scrisse che

quando parliamo delle forme, non intendiamo altro che quelle leggi e determinazioni dell'atto puro, che ordinano e costituiscono qualche natura semplice; come il calore, la luce, il peso in qualunque materia o soggetto che ne sia suscettibile. La forma del caldo o della luce è dunque la stessa cosa della legge del caldo o della luce ...<sup>29</sup>.

Se tratte dal contesto, alcune note di Bacone sulle « leggi » hanno una risonanza moderna. Ma molti degli entusiasmi di Bacone sono non moderni. In primo luogo Bacone costruì le leggi fisiche sul modello delle ordinanze imposte dal potere civile. In secondo luogo Bacone non fu interessato a esprimere le leggi in forma matematica. E in terzo luogo, Bacone vide l'universo come una collezione di sostanze che hanno proprietà e poteri, e che stanno l'una in relazione con l'altra; non lo considerò come un flusso di eventi che ricorrono nei modelli stabiliti. A questo proposito la metafisica di Bacone è ancora aristotelica.

Bisogna concludere che la ricerca delle forme di Bacone si colloca ancora ampiamente nella tradizione aristotelica. John Herschel sopravvalutò l'originalità della teoria baconiana del procedimento scientifico.

### 2.5. *Bacone promulgatore della ricerca scientifica organizzata*

Ma se questo fosse tutto quello che c'è da dire su Bacone, sarebbe difficile capire perché egli sia una figura controversa nella storia della scienza. È vero che Bacone tentò di riformulare il metodo scientifico; tuttavia c'è molto di più nella visione

della scienza di Bacone che non nelle « correzioni » da lui apportate alla teoria aristotelica del procedimento.

Bacone adottò quale imperativo morale l'idea che l'uomo debba riacquistare il dominio della natura che ha perduto con il peccato originale. Egli sottolineò ripetutamente che gli uomini devono controllare e dirigere le forze della natura in modo da migliorare la qualità della vita dei loro simili. Quindi, la scoperta delle forme è soltanto un primo traguardo nella ricerca scientifica. Bisogna acquisire la conoscenza delle forme prima di poter assoggettare la natura al servizio dell'uomo. Ma il traguardo finale della ricerca scientifica è il potere sulla natura. L'entusiasmo di Bacone per l'applicazione pratica della conoscenza scientifica si pone in netto contrasto con la visione aristotelica della conoscenza della natura come fine a se stessa. È proprio questo accento sul controllo delle forze naturali che separa nettamente la filosofia di Bacone da quella di Aristotele che egli sperava di abbattere.

Questo entusiasmo per l'applicazione pratica della conoscenza scientifica spiega bene le polemiche eccessivamente ostili condotte da Bacone contro Aristotele. Farrington ha ragione quando sottolinea che l'ostilità di Bacone riflette un oltraggio morale — non solo la filosofia di Aristotele non ha portato nuove opere a beneficio dell'umanità, ma ha anche ostacolato quei pochi tentativi che erano stati fatti<sup>30</sup>. Al contrario, Bacone esaltò il progresso conseguito nelle diverse tradizioni artigianali; egli citò le invenzioni della stampa, della polvere da sparo e della bussola nautica come esempi di ciò che l'uomo può realizzare se è libero dalla seduzione degli « idoli del teatro ».

Un aspetto importante della nuova visione della scienza di Bacone è l'idea che il recupero del dominio dell'uomo sulla natura è possibile soltanto attraverso lo sviluppo di una collaborazione tra gli scienziati. Per realizzare questa sua convinzione, Bacone fece numerosi tentativi per introdurre riforme per via amministrativa. Rivolse i suoi appelli a sostegno di tali progetti quasi esclusivamente alla corona e ai suoi ministri, piut-

<sup>28</sup> F. Bacone, *Novum Organum*, cit., II; aforisma XX, p. 681.

<sup>29</sup> *Ibidem*, II, aforisma XVII, p. 677.

<sup>30</sup> Vedi B. Farrington, *The Philosophy of Francis Bacon*, Liverpool, Liverpool University Press, 1964, p. 30.

tosto che all'Università, adottando una strategia che riflette la poca considerazione in cui egli teneva la vita accademica. Ma non ebbe successo. La sua visione della ricerca si realizzò solamente con le successive generazioni; la Royal Society non solo adottò l'atteggiamento generale verso la scienza teorizzato da Bacone, ma intraprese anche la realizzazione di un gran numero di suoi progetti specifici.

Un altro aspetto della nuova visione scientifica di Bacone è il divorzio tra la scienza da un lato e la teleologia e la teologia dall'altro. Bacone restrinse la ricerca sulle cause finali agli aspetti volitivi del comportamento umano, osservando che la ricerca delle cause finali dei fenomeni fisici e biologici porta a dispute puramente verbali che impediscono il progresso scientifico<sup>31</sup>. L'esclusione baconiana delle cause finali dalle scienze naturali riflette il suo insistere sul fatto che lo scienziato di fronte alla natura deve ritornare bambino. Vedere la natura attraverso il prisma dell'adattamento intenzionale, ordinato da Dio o meno, significa non riuscire ad affrontare la natura nei giusti termini. Porsi continuamente la domanda « per quale scopo? » rende poco probabile la scoperta delle forme e il successivo miglioramento della condizione umana.

### 3. Cartesio

#### 3.1. Capovolgimento della teoria del procedimento di Francesco Bacone

Cartesio<sup>32</sup> era d'accordo con Francesco Bacone che la più

<sup>31</sup> F. Bacone, *Novum Organum*, cit., II, aforisma I, p. 640.

<sup>32</sup> René Descartes (Cartesio, 1596-1650) studiò nel collegio gesuita di La Flèche e conseguì la laurea all'Università di Poitiers nel 1616, ma, godendo di una considerevole fortuna familiare non gli fu necessario esercitare la professione. Cartesio era molto interessato alla matematica, alla scienza e alla filosofia e decise di abbinare i suoi impegni intellettuali con i viaggi. Per molti anni viaggiò attraverso l'Europa, spesso come allievo volontario in parecchi eserciti. Nel 1618 fece la conoscenza del fisico Isaac Beeckman che lo incoraggiò ad intraprendere gli studi di matematica teoretica. Cartesio rispose a tale incitamento applicandosi ai fondamenti della geometria analitica dove le proprietà delle superfici geometriche sono espresse da equazioni algebriche. Nel novembre del 1619, dopo un periodo di grande sforzo intellettuale, Cartesio fece tre sogni, la cui interpretazione influì enormemente sulla sua vita.

alta realizzazione della scienza fosse una piramide di proposizioni, dove i principi più generali stanno all'apice. Ma mentre Bacone cercò di scoprire le leggi generali per mezzo di un'ascesa induttiva progressiva a partire dalle relazioni meno generali, Cartesio volle iniziare dall'apice e discendere quanto più in basso fosse possibile per mezzo di un procedimento deduttivo. A differenza di Bacone, Cartesio era d'accordo con l'ideale archimedeo di una gerarchia deduttiva delle proposizioni.

Cartesio pretese la certezza per i principi generali posti all'apice della piramide. Lavorando a questa esigenza di certezza, egli cominciò sistematicamente a dubitare di tutti i giudizi che precedentemente aveva considerato veri, per vedere se se ne trovavano alcuni al di là del dubbio, e concluse che alcuni lo erano effettivamente: che in quanto pensa, egli deve esistere e che deve esistere un Essere Perfetto.

Cartesio pensò che un Essere Perfetto non avrebbe creato l'uomo in modo tale che i suoi sensi e la sua ragione lo ingannassero sistematicamente. Quindi, deve esistere un universo esterno all'essere pensante, un universo non opaco alle facoltà cognitive dell'uomo. Andò anche oltre sostenendo che ogni idea chiara e distintamente presente alla mente deve essere vera.

Secondo Cartesio, chiaro è ciò che è immediatamente presente alla mente, distinto è ciò che è chiaro e incondizionato. Il distinto è conosciuto *per se*; la sua autoevidenza è indipendente da ogni condizione limitativa. Per esempio, posso avere una idea chiara della « frattura » di un bastone immerso parzialmente in acqua, senza per questo comprendere i fattori re-

Credette di essere stato chiamato dallo Spirito della Verità a ricostruire la conoscenza umana in modo da fornirle quella certezza fino allora posseduta soltanto dalla matematica. Cartesio si stabilì in Olanda nel 1628 e vi rimase, ad eccezione di brevi soggiorni in Francia, fino al 1649. Qui preparò un trattato — *Il mondo* — in cui espone un'interpretazione meccanicistica dell'universo dove ogni cambiamento è causato dalla collisione o dalla pressione. Ritirò il manoscritto quando seppe della condanna di Galileo da parte dell'Inquisizione, e decise di preparare il terreno a *Il mondo* con altre pubblicazioni. Tra queste, il *Discorso sul metodo* (1637) al quale erano allegati i trattati sulla geometria, sull'ottica e sulla meteorologia, quali esempi dell'applicazione del metodo, le *Meditazioni sulla prima filosofia* (1641), e i *Principi di filosofia* (1644). *Il mondo* fu pubblicato postumo nel 1664. Nel 1649 Cartesio accettò l'invito di assumere l'incarico di filosofo di corte presso la regina Cristina di Svezia. Morì l'anno seguente.



sponsabili di tale apparente « frattura ». Ma per conseguire una idea precisa della « frattura » del bastone, dovrei capire la legge della rifrazione e come si applica a questo caso particolare.

### 3.2. *Qualità primarie e qualità secondarie*

Dopo aver stabilito la propria esistenza come essere pensante e l'esistenza di un Dio benevolo che garantisce che ciò che è chiaramente e distintamente presente alla mente è vero, Cartesio rivolse la sua attenzione all'universo creato. Cercò di scoprire ciò che è chiaro e distinto degli oggetti fisici. Commentando il liquefarsi di un blocco di cera, egli disse:

Ma ecco che, mentre parlo, lo si avvicina al fuoco: svanisce quel sapore che ancora gli restava, evapora l'odore, si cambia il colore, si perde la forma, aumenta la grandezza, diviene liquido, si scalda, lo si può toccare appena e benché lo si percuota, non produce più suoni. Resta ancora la stessa cera dopo questo cambiamento? Bisogna confessare che resta e che nessuno lo può negare. Che cosa dunque si conosce con tanta distinzione di questo pezzo di cera? Certo nulla di ciò che ho osservato per mezzo dei sensi; poiché tutte le cose che ricadono sotto il gusto, l'odorato, la vista, il tatto o l'udito si trovano cambiate, sebbene resti la stessa cera... prescindendo da tutte le qualità che non appartengono alla cera vediamo che cosa resta. Certo non resta altro che qualcosa di esteso, di flessibile e di nobile<sup>33</sup>.

Ma come arriviamo a conoscere questa « estensione » che costituisce l'essenza del blocco di cera? Cartesio sostenne che la nostra conoscenza dell'estensione — la « vera natura della cera » — è un'intuizione della mente. E questa intuizione della mente deve essere distinta dalla sequenza di apparenze che la cera presenta ai nostri sensi. Cartesio, come Galileo, fece distinzione tra quelle « qualità primarie » che tutti i corpi devono possedere per essere tali, e le « qualità secondarie » — colori, suoni, gusti, odori — che esistono solo nell'esperienza percettiva del soggetto.

Egli affermò che se l'estensione è la singola proprietà dei corpi dei quali noi abbiamo un'idea chiara e distinta, essere un corpo significa essere estesi. Nessun vuoto può esistere. Car-

<sup>33</sup> R. Cartesio, *Meditazioni metafisiche sulla filosofia prima*, in *Opere filosofiche*, Torino, UTET, 1969, pp. 208-9.

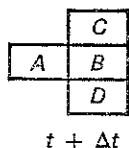
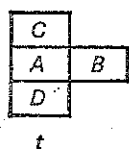
tesio per « estensione » intese « pieno di materia » e concluse che il concetto « estensione priva di materia » è una contraddizione<sup>34</sup>.

Ma sebbene negasse che in natura possa esistere un vuoto, Cartesio sostenne alcune implicazioni metodologiche dell'atomismo classico. Cercò di interpretare i processi macroscopici in termini di interazioni submacroscopiche. Un esempio è la sua interpretazione dell'attrazione magnetica: Cartesio attribuì l'attrazione di un magnete da parte di un pezzo di ferro all'emissione da parte del magnete, di particelle invisibili a forma di vite che passano attraverso canali filettati presenti nel ferro, e ne producono il movimento. Inoltre, Cartesio riprese l'ideale degli atomisti di spiegare i cambiamenti qualitativi a livello macroscopico in termini di cambiamenti quantitativi a livello submacroscopico. Limitò il contenuto della scienza a quelle qualità che possono essere espresse in forme matematiche e confrontate come rapporti.

In tal modo, la sua visione della scienza combinò i punti di vista archimedici, pitagorici e atomisti. Per Cartesio l'ideale della scienza è una gerarchia deduttiva di proposizioni i cui termini descrittivi si riferiscono agli aspetti rigidamente quantificabili della realtà, spesso a un livello submacroscopico. Indubbiamente egli fu spinto ad accettare questo ideale dal successo ottenuto nella formulazione della geometria analitica. Cartesio auspicava una matematica universale per svelare i segreti dell'universo, allo stesso modo in cui la sua geometria analitica aveva ridotto le proprietà delle superfici geometriche ad equazioni algebriche.

Sfortunatamente per il suo programma, Cartesio usò il termine « estensione » anche con un secondo senso. Per descrivere i movimenti dei corpi considerò i corpi che occupano prima uno spazio e poi un altro. Per esempio, se i corpi *A* e *B* sono limitati l'uno dopo l'altro dai corpi *C* e *D*, Cartesio avrebbe detto che è come se *B* si fosse mosso nello « spazio » lasciato vuoto da *A*.

<sup>34</sup> R. Cartesio, *I principi della filosofia*, in *Opere filosofiche*, cit.



Ma questo « spazio » o « pezzo di estensione » non è identico a nessun corpo specifico. « Spazio » in questo senso, è la relazione che un corpo ha con gli altri corpi. Questo doppio uso del concetto di « estensione » è un serio equivoco. Secondo gli *standard* dello stesso Cartesio, si potrebbe dire che egli non raggiunse un'idea chiara e distinta di « estensione », la sua categoria fondamentale per l'interpretazione dell'universo.

### 3.3. *Le leggi scientifiche generali*

Comunque, Cartesio ricavò molti principi fisici importanti dalla sua comprensione dell'estensione. Buchdahl ha sottolineato che Cartesio sembrava credere che certe generalizzazioni dei concetti di estensione e di movimento fossero verità *a priori*, poiché i concetti di estensione e di movimento sono chiari e distinti<sup>35</sup>. Una di queste generalizzazioni è che ogni movimento è causato dall'urto o dalla pressione. Cartesio sostenne che, non potendo esistere il vuoto, un dato corpo è costantemente in contatto con altri corpi. Ritene che l'unico modo per imprimere movimento a un corpo fosse quello per cui i corpi adiacenti ad un lato esercitano una pressione maggiore di quella esercitata dai corpi adiacenti all'altro lato. Restrungendo le cause del moto all'urto e alla pressione, egli negò la possibilità dell'azione a distanza. Cartesio difese una concezione totalmente meccanicistica della causa.

La filosofia meccanicistica di Cartesio fu una dottrina rivoluzionaria nel XVII secolo. Molti pensatori vi aderirono considerandola più scientifica dei sistemi rivali i quali accettavano le qualità occulte come, per esempio, le forze magnetiche e gravitazionali. Da un punto di vista cartesiano dire che un corpo

<sup>35</sup> Gerd Buchdahl, *Metaphysics and the Philosophy of Science*, Oxford, Blackwell, 1969, p. 125.

si muove verso un magnete a causa di una qualche forza esercitata dal magnete significa non spiegare nulla. Si potrebbe dire allo stesso modo che un corpo si muove verso un magnete perché desidera abbracciarlo.

Un altro importante principio fisico derivato dall'idea di estensione è che ogni moto sia un riordinamento ciclico dei corpi. Cartesio disse che se un corpo muta la sua « locazione », è necessario uno spostamento simultaneo degli altri corpi al fine di prevenire il vuoto. Inoltre, è solo muovendosi lungo una linea chiusa che un numero finito di corpi può alterare la propria posizione senza creare un vuoto.

Sostenne che Dio è la causa ultima del moto nell'universo; egli credeva che un Essere Perfetto avesse creato l'universo « tutto in una volta »<sup>36</sup> e visto che tutta la materia dell'universo è stata messa in moto nello stesso istante, concluse che un Essere Perfetto avrebbe assicurato la conservazione perpetua di questo movimento. Altrimenti, l'universo sarebbe stato simile a un orologio che alla fine si scarica, cioè il prodotto di un lavoro umano.

Da questi principi più generali del moto Cartesio ricavò altre tre leggi del moto:

*Prima legge.* Ciascuna cosa conserva sempre il medesimo stato in cui si trova; e così ciò che una volta si muoveva continua sempre a muoversi.

*Seconda legge.* Ogni movimento è per se stesso rettilineo; e perciò le cose che si muovono in senso circolare tendono sempre ad allontanarsi dal centro del circolo che descrivono<sup>37</sup>.

*Terza legge.* Allorché un corpo incontra un altro più forte, non perde nulla del suo movimento, ma incontrandone uno meno forte perde tanto di movimento quanto ne trasmette all'altro.

Da queste leggi Cartesio dedusse poi sette regole di scontro per tipi specifici di collisione. Queste regole non sono esatte, soprattutto perché Cartesio prese la forma, e non il peso, come fattore determinante delle collisioni. Di queste regole di scontro, la quarta è forse la più nota. Essa stabilisce che, indipen-

<sup>36</sup> Cartesio non spiegò perché un Essere Perfetto sceglierebbe necessariamente un singolo atto di creazione piuttosto che una creazione continua di materia e di moto.

<sup>37</sup> E non, come aveva sostenuto Galileo, un moto circolare.

dentemente dalla velocità, un corpo in moto non può muovere un corpo fermo di dimensioni maggiori. Enunciando quello che considerava implicito nel concetto di « estensione » e di « moto » Cartesio formulò una serie di regole in disaccordo con il moto osservato dei corpi.

Dichiarò che le leggi scientifiche da lui elaborate erano le conseguenze deduttive dei suoi principi filosofici. Nel *Discorso sul Metodo* scrisse che

in primo luogo, ho cercato di trovare i principi generali o cause prime di tutto ciò che è o ci può essere nel mondo senza considerare a tal fine nient'altro che Dio che l'ha creato e non traendoli da altra fonte se non da certi germi di verità naturalmente insiti nelle nostre anime<sup>38</sup>.

Molto del fascino della filosofia cartesiana deriva dalla sua ampia portata. Partendo dai principi metafisici teistico-creazionisti, Cartesio giunse a derivare le leggi generali dell'universo. La versione cartesiana della piramide delle verità scientifiche è riportata nella pagina seguente.

### 3.4. *L'evidenza empirica nella filosofia della scienza di Cartesio*

#### 3.4.1. *I limiti della deduzione « a priori »*

Cartesio concluse che mediante la deduzione ci si poteva allontanare di poco dall'apice della piramide. La deduzione da principi intuitivamente autoevidenti è di scarsa utilità per la scienza. Essa può infatti stabilire soltanto le leggi più generali. Inoltre, dal momento che le leggi fondamentali del moto fissano dei limiti soltanto per ciò che può accadere in determinate circostanze, una serie infinita di eventi è coerente con tali leggi. In generale, l'universo che noi conosciamo altro non è che uno degli infiniti universi che avrebbero potuto essere creati secondo queste leggi.

Cartesio sottolineò che non è possibile determinare il corso dei processi fisici in base a una semplice considerazione delle leggi generali. La legge sulla conservazione del moto, per esem-



*La piramide di Cartesio*

pio, dice che qualunque sia il processo considerato, non si verifica alcuna perdita di movimento. Ma il modo in cui il movimento è distribuito tra i corpi interessati deve essere determinato per ciascun tipo di processo. Per dedurre una asserzione su un effetto particolare, è necessario includere tra le premesse l'informazione sulle circostanze sotto le quali si verifica l'effetto. Nel caso della spiegazione di un processo fisiologico, per esempio, le premesse devono includere l'informazione specifica sulla struttura anatomica, oltre alle leggi generali del movimento. Quindi, nella teoria cartesiana del metodo scientifico, un momento importante per l'osservazione e l'esperimento è la conoscenza delle condizioni sotto le quali si verificano i fatti di un certo tipo.

È a questo punto che diviene valido il programma baconiano per la compilazione della storia naturale e la ricerca delle correlazioni fra i fenomeni. Cartesio riconobbe tale ruolo alla scienza di Bacone; negò comunque che fosse possibile stabilire importanti leggi di natura raccogliendo e confrontando gli esempi osservati.

<sup>38</sup> R. Cartesio, *Discorso sul metodo*, in *Opere filosofiche*, cit., p. 176.

3.4.2. *Il ruolo dell'ipotesi nella scienza*

Un secondo momento importante dell'osservazione e dell'esperimento, secondo la teoria cartesiana del metodo scientifico è quello di suggerire ipotesi che specificano quali siano i meccanismi coerenti con le leggi fondamentali. Cartesio sostiene che un'ipotesi si giustifica per la sua capacità di spiegare i fenomeni insieme alle leggi fondamentali. Le ipotesi devono essere compatibili con le leggi fondamentali, ma il loro contenuto specifico deve essere adatto a guidare la deduzione delle asserzioni sui fenomeni in questione.

Spesso Cartesio suggerì ipotesi basate sulle analogie tratte dalle esperienze quotidiane. Assimilò i moti dei pianeti alla rivoluzione di pezzi di sughero catturati in un gorgo, il riflesso della luce ad una pallina da tennis che rimbalza su superfici dure e l'azione del cuore alla produzione di calore nei mucchi di fieno. In ogni caso l'analogia con l'esperienza quotidiana assumeva una importanza decisiva per la teoria risultante.

È probabile che l'uso di analogie pittoresche di questo tipo contribuirono alla popolarità della sua teoria dell'universo. Ma il più delle volte, la fiducia riposta da Cartesio su tali analogie si rivelò fuorviante. Un chiaro esempio è la sua spiegazione sulla circolazione del sangue. Cartesio si compromise con una analogia inadeguata e ignorò l'evidenza sperimentale che smentiva l'analogia. Secondo lui il cuore, che genera calore in modo analogo alla generazione spontanea di calore nei covoni di fieno, vaporizza il sangue venoso e di conseguenza il cuore si allarga e spinge il sangue nel sistema delle arterie. La soluzione di Cartesio contrasta con i fatti. William Harvey aveva dimostrato sperimentalmente che la pulsazione del sangue nelle arterie è accompagnata da una contrazione del cuore. Cartesio aveva letto e apprezzato il libro di Harvey sulla circolazione ma nonostante decise di difendere la propria ipotesi<sup>39</sup>.

3.4.3. *La conferma sperimentale*

La teoria del metodo scientifico di Cartesio è più vulnera-

<sup>39</sup> *Ibidem*.

bile sul tema della conferma sperimentale. È chiaro che egli pagò lo scotto per un'insufficiente attenzione al valore della conferma sperimentale. Egli riconobbe, per esempio, che una asserzione su un tipo di fenomeno può essere dedotta da più di un insieme di premesse esplicative, per esempio:

Leggi di natura asserzioni delle circostanze rilevanti ipotesi I
. . . E
Leggi di natura asserzioni delle circostanze rilevanti ipotesi II
. . . E

In questi casi, Cartesio affermò che si devono trovare altri effetti che si possano dedurre dalle premesse che includono l'ipotesi I, ma non da quelle che includono l'ipotesi II (o viceversa).

Comunque, la pratica di Cartesio spesso non corrisponde alla raffinatezza dei suoi scritti sul metodo. In generale, egli tendeva a vedere nella sperimentazione un ausilio per la formulazione delle spiegazioni piuttosto che una pietra di paragone per l'adeguatezza di tali spiegazioni.

Sebbene le interpretazioni di Cartesio spesso non siano state coerenti con i fatti, la sua teoria dell'universo ebbe un grande fascino. Accordava un giusto peso sia a un desiderio di certezza, sia a una consapevolezza della complessità dei fenomeni. Le leggi generali di natura, erano presumibilmente le conseguenze deduttive di verità necessarie che devono essere riconosciute da ogni individuo pensante<sup>40</sup>. E se, seguendo Ma-

<sup>40</sup> Cartesio sottolineò che non era necessario che Dio avesse creato l'universo secondo le leggi della piramide. Le leggi non sono una costrizione nell'attività creatrice di Dio. Infatti, Cartesio sostenne che fa parte del potere di Dio aver creato un mondo in cui sono realizzate le contraddizioni. Per esempio, Dio può aver creato un mondo nel quale il cerchio abbia i raggi di lunghezza diversa, e in cui esistano le montagne senza le valli. (*Lettre à Mersenne* - 27 maggio 1630; *Lettre à Arnauld* - 29 giugno 1648). Inutile dire che queste possibilità vanno oltre la comprensione umana. Tuttavia Cartesio sostenne costantemente che l'essenza dei fenomeni naturali è l'estensione e il moto. E spesso parlò come se le leggi fondamentali del moto — per questo

lebranche, la « quantità di moto » viene interpretata come *momentum*, le regole di impatto risultanti non sono in contrasto con l'esperienza. Ma queste leggi generali spiegano i fenomeni solo in relazione alle informazioni specifiche sui fatti, e spesso alle ipotesi. Era possibile eliminare la divergenza tra la teoria e l'osservazione modificando le ipotesi e lasciando in tal modo intatte le leggi generali di natura. L'esistenza di questa flessibilità nel sistema cartesiano fu la causa della sua duratura popolarità durante i secoli XVII e XVIII.

mondo che Dio ha creato — non potessero essere diverse da quello che sono. Queste leggi non sono generalizzazioni empiriche su ciò che è stato osservato; piuttosto esse determinano la comprensione chiara e distinta della struttura dell'universo.

## Capitolo ottavo

### Il metodo assiomatico di Newton

#### 1. Il metodo di analisi e di sintesi

Le considerazioni di Newton<sup>1</sup> sul metodo scientifico erano rivolte principalmente contro Cartesio e i suoi discepoli. Cartesio aveva cercato di ricavare le leggi fisiche fondamentali da principi metafisici. Newton si oppose a questo metodo di teorizzazione della natura. Sostenne che il filosofo naturale deve

<sup>1</sup> Isacco Newton (1642-1727) nacque a Woolsthorpe (Lincolnshire). Suo padre, agricoltore, morì prima che egli nascesse; la madre si risposò quando Isacco aveva tre anni e la sua educazione fu affidata a una nonna fino alla morte del patrigno, avvenuta nel 1653. Newton frequentò il Trinity College di Cambridge e si laureò nel 1665. Dal 1665 al 1667 restò a Woolsthorpe per sfuggire alla peste. Fu questo un periodo di grande attività durante il quale formulò il teorema binomiale, sviluppò il « metodo delle flussioni » (calcolo), costruì il primo telescopio a riflessione e arrivò a comprendere la natura universale dell'attrazione gravitazionale. Nel 1669 Newton fu nominato professore di matematica a Cambridge e nel 1672 fu eletto membro della Royal Society. Poco dopo, comunicò alla Royal Society le sue scoperte sulle proprietà rifrattive della luce. Ne nacque un acceso dibattito con John Hooke e altri. La controversia con Hooke si accentuò in seguito alla pubblicazione dei *Principi matematici della filosofia naturale* (1687). Hooke lamentò che Newton si era appropriato della sua teoria grazie alla quale i moti dei pianeti possono essere spiegati da un principio di inerzia rettilinea combinato con una forza proporzionale a  $1/r^2$  emanata dal sole. Newton rispose che era arrivato a tale conclusione prima di Hooke, e che soltanto lui poteva provare che la legge della forza  $1/r^2$  porta ad orbite planetarie ellittiche. Nel 1696 Newton divenne direttore della Zecca e rivelò un grande talento nelle questioni amministrative. Fu eletto presidente della Royal Society nel 1703, e da questa posizione privilegiata portò avanti una disputa con Leibniz sulla priorità nello sviluppo del calcolo. Nel 1704 pubblicò gli *Scritti di ottica*, un modello di ricerca sperimentale. Includere nel *Questionario* che chiude questo libro una enunciazione del suo punto di vista sul metodo scientifico. Per tutta la sua vita, Newton studiò i testi biblici dal punto di vista della concezione unitaria. Una grande quantità di appunti sulla cronologia dei regni antichi e sulle esegesi di Daniele sono stati trovati tra le sue carte.