

Le analisi dei significati dei concetti possono essere, inoltre, rilevanti per la demarcazione tra l'indagine scientifica e altri tipi di indagine. Per esempio, se si può mostrare che un termine viene usato in modo da non fornire alcun mezzo per distinguere la sua corretta applicazione da quella sbagliata, allora le interpretazioni in cui compare tale concetto possono essere escluse dal campo della scienza. Qualcosa di simile è avvenuto nel caso del concetto di « assoluta » simultaneità.

La distinzione indicata tra scienza e filosofia della scienza non è molto netta, si basa sulla differenza di intenzione piuttosto che su una differenza di contenuto. Consideriamo la questione dell'adeguatezza relativa della teoria delle onde luminose di Young e la teoria elettromagnetica di Maxwell. È lo scienziato in quanto tale che giudica superiore la teoria di Maxwell. Ed è il filosofo della scienza (o lo scienziato in quanto filosofo della scienza) che indaga i criteri generali di accettabilità che sono implicati in giudizi di questo genere. Chiaramente queste attività si compenetrano; lo scienziato che non conosce i precedenti nella valutazione delle teorie, probabilmente non è in grado di fornire una valutazione adeguata. E il filosofo della scienza che non conosce la pratica scientifica probabilmente non formulerà enunciati percettivi sul metodo scientifico.

Riconoscere che la frontiera tra la scienza e la filosofia della scienza non è netta, influenza la scelta dell'argomento di questo profilo storico. La fonte principale è ciò che gli scienziati e i filosofi hanno detto sul metodo scientifico. In alcuni casi questo è sufficiente; per esempio è possibile discutere le filosofie della scienza di Whewell e di Mill esclusivamente nei termini di ciò che essi hanno scritto sul metodo scientifico. In altri casi, però, questo non basta: per presentare le filosofie della scienza di Galileo e di Newton è necessario trovare un equilibrio tra ciò che essi hanno scritto sul metodo scientifico e la loro effettiva pratica scientifica.

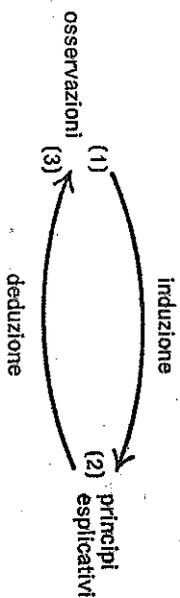
Inoltre, gli sviluppi della scienza, specialmente l'introduzione di nuove interpretazioni, possono fornire materiale ai filosofi della scienza. È per questa ragione che tra gli altri sono stati inclusi brevi riassunti dell'opera di Euclide, Archimede e degli atomisti classici.

## Capitolo primo

### La filosofia della scienza di Aristotele

#### 1. Il metodo induttivo-deduttivo di Aristotele

Aristotele<sup>1</sup> considerava l'indagine scientifica come una progressione dalle osservazioni ai principi generali e di nuovo alle osservazioni. Sosteneva che lo scienziato dovesse ricavare i principi esplicativi per via induttiva dai fenomeni che dovevano essere spiegati, e quindi dedurre asserzioni sui fenomeni da premesse che comprendessero questi principi. Il procedimento induttivo-deduttivo di Aristotele può essere rappresentato nel modo seguente:



<sup>1</sup> Aristotele (384-322 a.C.) nacque a Stagira nella Grecia settentrionale. Suo padre era medico alla corte macedone. A diciassette anni Aristotele fu mandato ad Atene a studiare all'Accademia di Platone, e qui rimase per vent'anni. Alla morte di Platone, nel 347 a.C., e a seguito dell'elezione del matematico Speusippo alla direzione dell'Accademia, Aristotele scelse di proseguire i suoi studi biologici e filosofici in Asia Minore. Nel 342 a.C. ritornò in Macedonia come precettore di Alessandro Magno e stabilì con lui un rapporto che durò due o tre anni. Nel 335 a.C. fece ritorno ad Atene dove, nel Liceo, fondò la scuola peripatetica. Nelle sue lezioni egli discuteva di logica, epistemologia, fisica, biologia, etica, politica ed estetica. Gli scritti di questo periodo che sono arrivati fino a noi sembrano raccogliere di appunti per le lezioni piuttosto che opere destinate alla pubblicazione. Essi vanno dalla speculazione sugli attributi predicali dell'« essere in sé » alle presentazioni enciclopediche di dati sulla storia naturale e sulle costituzioni delle città-stato della Grecia. I *Secondi Analitici* sono la principale opera di Aristotele sulla filosofia della scienza; ma anche la *Fisica* e la *Metafisica*.

Aristotele credeva che l'indagine scientifica muovesse dalla conoscenza circa la comparsa di determinati eventi, o la coesistenza di determinate proprietà. Si raggiunge la spiegazione scientifica soltanto quando asserzioni su questi eventi o proprietà sono dedotte da principi esplicativi. La spiegazione scientifica è pertanto una transizione dalla conoscenza di un fatto (punto 1 nel precedente diagramma) alla conoscenza delle ragioni del fatto (punto 3).

Per esempio, uno scienziato potrebbe applicare il procedimento induttivo-deduttivo a un'eclissi lunare nel modo seguente: inizia con l'osservazione dell'oscuramento progressivo della superficie lunare, quindi da questa e da altre osservazioni induce alcuni principi generali: che la luce si propaga in linea retta, che i corpi opachi proiettano ombre, e che una configurazione particolare di due corpi opachi vicini a un corpo luminoso pone un corpo opaco nell'ombra dell'altro. Da questi principi generali e dalla condizione che la terra e la luna sono corpi opachi che in questo caso hanno la posizione geometrica necessaria rispetto al sole luminoso, lo scienziato deduce un'asserzione sull'eclissi lunare. Egli è passato dalla conoscenza fattuale dell'oscuramento della superficie lunare a una comprensione del perché questo si è verificato.

### 1.1. *Lo stadio induttivo*

Secondo Aristotele ogni cosa particolare è una riunione di materia e di forma. La materia è ciò che rende il particolare un individuale unico, e la forma è ciò che fa del particolare un membro di una classe di cose simili. Specificare la forma di un particolare significa specificare le proprietà che esso divide con altri particolari. Per esempio, la forma di una particolare giraffa comprende la proprietà di avere uno stomaco diviso in quattro compartimenti.

Aristotele sosteneva che le generalizzazioni sulle forme fos-

contengono discussioni su certi aspetti del metodo scientifico. Aristotele lasciò Atena alla morte di Alessandro nel 323 a.C. per evitare che la città « infiggesse un secondo colpo alla filosofia ». Morì l'anno successivo. Aristotele è stato il primo filosofo della scienza e ha creato questa disciplina analizzando alcuni problemi sollevati dalla spiegazione scientifica.

sero tratte dall'esperienza sensoriale per induzione. Studiò due tipi di induzione. Entrambi hanno la caratteristica di procedere dalle asserzioni particolari alle asserzioni generali.

Il primo tipo di induzione è una enumerazione semplice in cui le asserzioni su oggetti o eventi individuali sono prese come base per una generalizzazione sulla specie di cui sono membri. O, a un livello superiore, le asserzioni sulla specie individuale sono prese come base per una generalizzazione sul genere.

*Il primo tipo di induzione aristotelica:  
la enumerazione semplice:*

<i>Premesse</i>	<i>Conclusioni</i>
Quanto si osserva essere vero di parecchi individui	generalizzazione
Quanto si osserva essere vero di parecchie specie	generalizzazione

Ciò che si presume sia vero della specie cui gli individui appartengono  
 ↳  
 Ciò che si presume sia vero del genere cui le specie appartengono

In un ragionamento induttivo basato sull'enumerazione semplice, le premesse e la conclusione contengono gli stessi termini descrittivi. Un ragionamento tipico basato sull'enumerazione semplice ha la forma:

$a_1$  ha la proprietà  $P$   
 $a_2$  » »  $P$   
 $a_3$  » »  $P$

quindi:  
 Tutte le  $a$  hanno la proprietà  $P$ .

Il secondo tipo di induzione è un'intuizione diretta di quei principi generali che sono esemplificati nei fenomeni. L'induzione intuitiva è un problema di discernimento; è la capacità di vedere quello che è « essenziale » nei dati dell'esperienza sensibile. Un esempio dato da Aristotele è il caso di uno scienziato il quale nota in diverse occasioni che la parte luminosa della luna è rivolta verso il sole, e arriva alla conclusione che la luna splende perché riflette la luce del sole.

L'operazione di induzione intuitiva è analoga all'operazione

della « visione » del tassonomo. Il tassonomo è uno scienziato che ha imparato a « vedere » gli attributi generici e le *differenziali* di un esemplare. In un certo senso dello stesso esemplare il tassonomo « vede più » dell'osservatore sprovvisto. Il tassonomo sa cosa cercare. Questa è una capacità che viene raggiunta solo dopo una lunga esperienza. È probabile che quando Aristotele scriveva sull'induzione intuitiva avesse in mente questo tipo di « visione ». D'altronde lo stesso Aristotele fu tassonomo di grande successo e intraprese la classificazione di circa 540 specie biologiche.

### 1.2. Lo stadio deduttivo

Nel secondo stadio dell'indagine scientifica, le generalizzazioni raggiunte per induzione sono usate come premesse per la deduzione di asserzioni riguardanti le osservazioni iniziali. Aristotele stabilì una restrizione importante sui tipi di asserzioni che possono presentarsi nella scienza quali premesse e conclusioni di argomenti deduttivi. Ammise solo quelle asserzioni che stabiliscono che una classe è inclusa in, o esclusa da una seconda classe. Se « S » e « P » vengono scelti per rappresentare le due classi, gli asseriti ammessi da Aristotele sono:

Tipo	Asserito	Relazione
A	Ogni S è P	S totalmente inclusa in P
E	Nessun S è P	S totalmente non inclusa in P
I	Qualche S è P	S parzialmente inclusa in P
O	Qualche S non è P	S parzialmente non inclusa in P

Aristotele riteneva che il tipo A fosse il più importante dei quattro, che certe proprietà inerissero a individui di determinate classi, e che gli asseriti della forma « ogni S è P » riproducessero la struttura di queste relazioni. Forse per questa ragione Aristotele sosteneva che una giusta spiegazione scientifica dovesse essere data in termini di asseriti di questo tipo. Più precisamente egli citò il sillogismo di Barbara come paradigma della

dimostrazione scientifica. Questo sillogismo consiste in asseriti di tipo A sistemati nel modo seguente:

Ogni M è P  
Ogni S è M

quindi:

Ogni S è P

dove P, S e M sono il maggiore, minore e medio termine del sillogismo.

Aristotele dimostrò la validità di questo tipo di sillogismo: se è vero che ogni S è incluso in M ed ogni M è incluso in P, deve anche essere vero che ogni S è incluso in P. Questo è valido quali che siano le classi rappresentate da S, P, M. Uno dei più interessanti risultati di Aristotele fu quello di sostenere che la validità di un ragionamento è determinata soltanto dalla relazione tra le premesse e la conclusione.

Aristotele costruiva lo stadio deduttivo dell'indagine scientifica come l'interposizione di termini medi tra il soggetto e il predicato dell'asserzione da verificare. Per esempio, l'asserzione « tutti i pianeti sono corpi che brillano costantemente » può essere dedotta scegliendo « corpi prossimi alla terra » come termine medio. Nella forma sillogistica la prova è:

Tutti i corpi prossimi alla terra sono corpi  
che brillano costantemente.

Tutti i pianeti sono corpi che brillano  
prossimi alla terra.

quindi:

Tutti i pianeti sono corpi che brillano  
costantemente.

Con l'applicazione dello stadio deduttivo del procedimento scientifico, lo scienziato è passato dalla conoscenza di un fatto riguardo i pianeti a una comprensione del perché questo fatto è come è.

**2. Requisiti empirici per la spiegazione scientifica**

Aristotele riconobbe che un'asserzione che predichi un attributo proprio di una classe può essere dedotto da più di un insieme di premesse. Ragionamenti differenti si hanno quando si scelgono differenti termini medi e alcuni ragionamenti sono più soddisfacenti di altri. Il sillogismo considerato precedentemente, per esempio, è più soddisfacente del seguente:

Tutte le stelle sono corpi che brillano costantemente.  
Tutti i pianeti sono stelle.

*quindi:*

Tutti i pianeti sono corpi che brillano costantemente.

Entrambi i sillogismi hanno la stessa conclusione e la stessa forma logica, ma il secondo sillogismo ha premesse false. Aristotele insisteva nel dire che le premesse di una spiegazione soddisfacente devono essere vere. Quindi escludeva dalla classe delle spiegazioni soddisfacenti quei sillogismi validi che avessero conclusioni vere ma premesse false.

La necessità che le premesse siano vere è uno dei quattro requisiti extra-logici che Aristotele collocò tra le premesse delle spiegazioni scientifiche. Gli altri tre requisiti sono che le premesse devono essere indimostrabili, meglio conosciute della conclusione, e cause dell'attribuzione fatta nella conclusione.

Sebbene Aristotele affermasse che le premesse di ogni spiegazione scientifica corretta debbono essere indimostrabili, è chiaro dal contesto della sua presentazione che egli intendeva dire soltanto che in ogni scienza devono esservi « alcuni » principi che non possono essere dedotti da principi più fondamentali. In una scienza, l'esistenza di alcuni principi indimostrabili è necessaria per evitare un regresso infinito nelle spiegazioni. Conseguentemente, nell'ambito di una scienza non tutta la conoscenza è sottoponibile a prova. Aristotele considerava indimostrabili le leggi più generali della scienza, e le definizioni che stabiliscono i significati degli attributi propri di quella scienza.

La necessità che le premesse debbano essere « meglio conosciute della » conclusione riflette la convinzione di Aristotele che le leggi generali di una scienza devono essere autoevidenti.

Aristotele era consapevole che un ragionamento deduttivo non dà maggiori informazioni di quelle implicite nelle sue premesse, e affermava che i principi primi della dimostrazione devono essere evidenti almeno quanto le conclusioni tratte da essi.

Il più importante dei quattro requisiti è quello della relazione causale. È possibile costruire sillogismi validi con premesse vere in modo tale che le premesse non fissino la causa della attribuzione che viene fatta nella conclusione. Può essere utile confrontare i due seguenti sillogismi sui ruminanti:

*Sillogismo del fatto ragionato*

Tutti i ruminanti con lo stomaco diviso in quattro compartimenti sono animali senza incisivi superiori.  
Tutti i buoi sono animali con lo stomaco diviso in quattro.

*quindi:*

Tutti i buoi sono animali senza incisivi superiori.

*Sillogismo del fatto*

Tutti i ruminanti con gli zoccoli divisi sono animali senza incisivi superiori.  
Tutti i buoi sono ruminanti con gli zoccoli divisi.

*quindi:*

Tutti i buoi sono animali senza incisivi superiori.

Aristotele avrebbe detto che le premesse del suddetto sillogismo del fatto ragionato stabiliscono la causa del fatto che i buoi non hanno incisivi nella mascella superiore. La capacità dei ruminanti di immagazzinare cibo parzialmente masticato in una parte dello stomaco e di farlo ritornare in bocca per una ulteriore masticazione spiega perché non abbiano bisogno (e perciò non abbiano) incisivi nella mascella superiore. Al contrario le premesse del corrispondente sillogismo del fatto, non stabiliscono la causa della mancanza di incisivi. Aristotele avrebbe detto che la correlazione fra la struttura dello zoccolo e la struttura della mascella è accidentale.

A questo punto è necessario un criterio per distinguere le correlazioni causali da quelle accidentali. Aristotele era consapevole di questa necessità. Egli sostiene che in una relazione causale l'attributo<sup>2</sup> è vero per ogni esempio del soggetto<sup>3</sup>, è vero per il soggetto nella sua specificità e non in quanto parte di un insieme<sup>4</sup> più ampio ed è « essenziale al » soggetto.

I criteri aristotelici delle relazioni causali lasciano molto a desiderare. Il primo criterio può essere applicato per eliminare dalla classe dei rapporti causali qualsiasi relazione per la quale sussistano eccezioni. Ma si potrebbe stabilire un rapporto causale applicando questo criterio soltanto a quei casi in cui la classe del soggetto può essere completamente enumerata. Comunque, la grande maggioranza di rapporti causali di interesse per lo scienziato ha una predicazione di ampia portata; per esempio il fatto che oggetti con densità maggiore dell'acqua affondino in essa è una relazione ritenuta valida per tutti gli oggetti passati, presenti, futuri e non soltanto per quei pochi oggetti che sono stati messi nell'acqua. Non è possibile mostrare che ogni esempio del soggetto abbia queste caratteristiche.

Il terzo criterio di Aristotele identifica la relazione causale e l'attribuzione « essenziale » di un predicato a un soggetto. Questo riporta indietro il problema. Sfortunatamente, Aristotele non riuscì a suggerire un criterio per determinare quali attributi siano « essenziali ». Di sicuro, egli asserì che « animale » è un predicato essenziale dell'« uomo », e « musicale » non lo è, e che tagliare la gola a un animale è essenzialmente connesso con la sua morte, mentre passeggiare non è essenzialmente connesso con la comparsa dei fulmini<sup>5</sup>. Ma una cosa è fornita esempi di predicati essenziali e accidentali, altra cosa è stabilire un criterio generale di distinzione.

## 2.1. *La struttura di una scienza*

Sebbene Aristotele non avesse specificato un criterio dell'attribuzione « essenziale » di un predicato a una classe soggetto, affermò che ogni scienza particolare ha un genere soggetto caratteristico e un insieme di predicati distinti. Il genere soggetto della fisica, per esempio, è la classe dei casi in cui i corpi cambiano le loro posizioni nello spazio. Tra i predicati che sono tipici di questa scienza troviamo « posizione », « velocità » e « resistenza ». Aristotele poneva l'accento sul fatto che la spiegazione soddisfacente di un fenomeno deve utilizzare i predicati di quella scienza alla quale appartiene il fenomeno. Sarebbe inappropriato, per esempio, spiegare il moto di un proiettile in termini di predicati così distintamente biologici come « crescita » e « sviluppo ».

Aristotele riteneva che una scienza individuale fosse un insieme di asserzioni deduttivamente organizzate. Nel più alto livello di generalità troviamo i principi primi di ogni dimostrazione — i principi di identità, non-contraddizione e il terzo escluso. Questi sono principi applicabili a *ogni* ragionamento deduttivo. Nel successivo livello di generalità vi sono i principi primi e le definizioni della scienza particolare. Per esempio, i principi primi della fisica comprenderebbero:

- Ogni moto è naturale o violento.
- Ogni moto naturale è un movimento verso un luogo naturale.
- (Gli oggetti solidi si spostano per natura verso il centro della terra).
- Ogni moto violento è causato dall'azione continua di un agente
- (È impossibile l'azione a distanza).
- Un vuoto è impossibile.

I principi primi di una scienza non sono soggetti a deduzioni da principi più fondamentali. Sono i più generali asserti veri che possono essere fatti sui predicati propri della scienza. Come tali, i principi primi sono i punti di partenza di ogni dimostrazione scientifica. Essi fungono da premesse per la deduzione di quelle correlazioni che si trovano a livelli più bassi di generalità.

<sup>2</sup> Aristotele, *Secondi Analitici*, in *Opere*, Bari, Laterza, 1973, vol. I, 89b 10-20.

<sup>3</sup> *Ibidem*, 78a38-78b3.

<sup>4</sup> *Ibidem*, 71b20-72a5.

<sup>5</sup> *Ibidem*, 73a25-73b15.

2.2. *Le quattro cause*

Aristotele avanzò un'ulteriore richiesta alle interpretazioni scientifiche. Egli chiese che una spiegazione adeguata di una correlazione o di un processo specificasse tutti e quattro gli aspetti dell'azione causale. I quattro aspetti sono la causa formale, la causa materiale, la causa efficiente e la causa finale.

Un processo suscettibile di questo tipo di analisi è il cambiamento del colore della pelle di un camaleonte mentre si muove da una foglia di un verde brillante a un ramoscello di un grigio opaco. La causa formale è la struttura del processo. Per descrivere la causa formale è sufficiente specificare una generalizzazione riguardo alle condizioni in base alle quali avviene questo tipo di cambiamento di colore. La causa materiale è quella sostanza che determina un cambiamento di colore della pelle. La causa efficiente è il passaggio dalla foglia al ramo, un passaggio che viene accompagnato da un cambiamento della luce riflessa, e quindi da un cambiamento chimico nella pelle del camaleonte. La causa finale del procedimento è che il camaleonte dovrebbe evitare di essere scoperto dai suoi predatori.

Aristotele sosteneva che ogni spiegazione scientifica di una correlazione o di un procedimento doveva comprendere una spiegazione della causa finale, o *telos*. Spiegazioni teleologiche sono spiegazioni che usano l'espressione « affinché » o qualcosa di analogo. Aristotele richiedeva spiegazioni teleologiche non solo per la crescita e lo sviluppo dell'organismo vivente, ma anche per i movimenti degli oggetti inanimati. Per esempio, riteneva che il fuoco salisse per raggiungere il suo « luogo naturale » (un guscio sferico appena all'interno dell'orbita della luna). Le interpretazioni teleologiche non devono presupporre una decisione e una scelta cosciente. Dire, per esempio, che « i camaleonti cambiano colore per non essere scoperti » non significa sostenere che questa sia un'attività cosciente da parte dei camaleonti. Neppure è da sostenere che il comportamento dei camaleonti realizzi qualche « scopo cosmico ».

Comunque, le interpretazioni teleologiche presuppongono che un futuro stato di cose determini il modo in cui un'attuale

stato di cose si sviluppa. Una ghianda cresce nel modo in cui cresce per realizzare il suo scopo naturale, cioè diventare una quercia; una pietra cade per raggiungere il suo scopo naturale, cioè uno stato di quiete il più vicino possibile al centro della terra; e così via. In ogni caso lo stato futuro « tira in avanti », per così dire, la successione di stati che portano ad esso.

Aristotele criticava i filosofi che cercavano di spiegare il cambiamento esclusivamente in termini di cause materiali e di cause efficienti. Egli era particolarmente critico nei confronti dell'atomismo di Democrito e di Leucippo, dove i processi naturali erano « spiegati » con l'aggregazione e la dispersione di atomi invisibili. Soprattutto, le critiche di Aristotele si fondavano sul fatto che gli atomisti trascuravano le cause finali.

Aristotele criticava anche quei filosofi naturali pitagorici che credevano di aver spiegato un processo nel momento in cui avevano trovato una relazione matematica esemplificata in esso. Secondo Aristotele, l'approccio pitagorico risentiva della sua attenzione esclusiva per le cause formali.

Va, comunque, detto, che Aristotele riconosceva l'importanza per la scienza fisica delle relazioni numeriche e delle relazioni geometriche. Infatti, egli scelse un gruppo di « scienze composite » — astronomia, ottica, armonia e meccanica<sup>6</sup> — il cui contenuto è dato dai rapporti matematici tra oggetti fisici.

3. *La demarcazione della scienza empirica*

Aristotele cercava non soltanto di circoscrivere l'oggetto di ciascuna scienza individuale, ma anche di distinguere l'intera scienza empirica dalla matematica pura. Egli ottenne questa demarcazione distinguendo tra la matematica applicata, come è praticata nelle scienze composite, e la matematica pura che tratta numeri e figure in astratto.

Aristotele sosteneva che, mentre l'oggetto della scienza empirica è il cambiamento, l'oggetto della matematica pura è ciò

<sup>6</sup> Aristotele include la meccanica nei gruppi di scienze composite nei *Secondi Analitici*, (cit., 76a23-5) e nella *Metafisica* (in *Opere*, cit., vol. VI, 1078a14-7), ma non menziona la meccanica nella *Fisica* (in *Opere*, cit., vol. III, 194a7-11).

che non cambia. Il matematico puro astrae da situazioni fisiche certi aspetti quantitativi dei corpi e le loro relazioni e si occupa esclusivamente di questi aspetti. Aristotele riteneva che queste forme matematiche non avessero esistenza oggettiva. Soltanto nella mente del matematico le forme sopravvivono alla distruzione dei corpi da cui sono astratte.

#### 4. Lo status necessario dei principi primi

Aristotele affermò che la conoscenza scientifica effettiva aveva lo status di verità necessaria, e che i principi primi delle scienze correttamente formulati, e le loro conseguenze deduttive non potevano essere che vere. Poiché i principi primi predicano attributi di classe di termini, sembrerebbe che Aristotele aderisse alle seguenti tesi:

1) certe proprietà ineriscono essenzialmente agli individui di certe classi; un individuo non sarebbe un membro di una di queste classi se non possedesse le proprietà in questione.

2) In tali casi esiste un'identità di struttura fra l'asserto universale positivo che predica un attributo di una classe di termini e la inerenza non verbale della proprietà corrispondente ai membri della classe.

3) È possibile per lo scienziato intuire correttamente questo isomorfismo di linguaggio e realtà.

La posizione di Aristotele è plausibile. Per esempio, noi crediamo che l'asserto « tutti gli uomini sono mammiferi » sia necessariamente vera, mentre « tutti i corvi sono neri » è vera soltanto accidentalmente. Aristotele avrebbe detto che sebbene un uomo non possa essere assolutamente un non-mammifero, un corvo potrebbe essere non-nero. Come è già stato notato, sebbene Aristotele fornisse esempi di questo tipo per mettere a confronto « predicazione essenziale » e « predicazione accidentale », egli non riuscì a formulare un criterio generale per determinare quali predicazioni siano essenziali.

Aristotele lasciò in eredità ai suoi successori la convinzione che, siccome i principi primi delle scienze rispecchiano relazioni che in natura non possono essere diverse da quel che

sono, questi principi non possono essere falsi. Di certo egli non poteva verificare questa fiducia. Malgrado ciò, l'idea di Aristotele che le leggi scientifiche stabiliscano verità necessarie, ha influenzato ampiamente la storia della scienza.

## Capitolo secondo

### L'orientamento pitagorico

#### 1. La concezione pitagorica della natura

Probabilmente non è possibile per uno scienziato indagare la natura in modo assolutamente imparziale. Infatti, pur non avendo nessun secondo fine particolare è probabile che si ponga sempre in modo soggettivo di fronte ad essa. L'« orientamento pitagorico » è un modo di vedere la natura che ha influito molto sulla storia della scienza. Uno scienziato, il quale adotti un tale orientamento, crede che il « reale » sia l'armonia matematica presente nella natura. Il pitagorico convinto è sicuro che la conoscenza di questa armonia matematica permetta di penetrare la struttura fondamentale dell'universo. Un esempio convincente di questa visione è contenuto nell'asserzione di Galileo:

La filosofia è scritta in questo grandissimo libro, che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi (io dico l'universo) ma non si può intendere se prima non s'impara a intendere la lingua, e conoscer i caratteri, ne quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, e altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola<sup>1</sup>.

Questo orientamento sorse quando Pitagora o i suoi discepoli scoprirono che le armonie musicali potevano essere messe in relazione a rapporti matematici, cioè:

<sup>1</sup> G. Galilei, *Il Saggiatore*, in *Opere*, Torino, Utet, 1964, vol. I, p. 595.

Intervallo	Rapporto
ottava	2 : 1
quinta	3 : 2
quarta	4 : 3

I primi pitagorici scoprirono inoltre che i rapporti armonici sono validi sia quando le note sono prodotte da corde vibranti, sia quando sono prodotte da colonne d'aria risonanti. In seguito, i filosofi naturali pitagorici lessero armonie musicali nella totalità dell'universo. Associarono il moto dei corpi celesti ai suoni in modo tale che ne risultasse « l'armonia delle sfere ».

## 2. Platone e l'orientamento pitagorico

Platone<sup>2</sup> è stato più volte condannato in quanto presunto divulgatore di un orientamento filosofico deleterio per il progresso della scienza. L'orientamento in questione è un allontanamento dallo studio del mondo quale viene rivelato dall'esperienza sensibile, in favore della contemplazione delle idee astratte. I denigratori di Platone spesso citano la *Repubblica*, 529-30, dove Socrate raccomanda di spostare l'attenzione dai passeggeri fenomeni degli astri alla purezza eterna dei rapporti geometrici. Ma, come ha sottolineato Dicks, questa indicazione di Socrate è data nel contesto di una dissertazione sull'educazione ideale dei futuri regnanti. In tale contesto Platone vuole sostenere quel genere di studi che favorisce lo sviluppo della capacità per il pensiero astratto<sup>3</sup>. Quindi contrappone la « geometria

<sup>2</sup> Platone (428/7 - 348/7 a.C.) nacque da un'illustre famiglia ateniese. In gioventù nutrí ambizioni politiche, ma fu deluso dapprima dalla tirannia del Tiro, poi dalla restaurazione della democrazia che aveva giustiziato il suo maestro Socrate nel 399 a.C. Negli anni della maturità, Platone si recò a Siracusa per due volte nella speranza di educare il giovane re alla responsabilità politica. Questi viaggi non ebbero successo. Platone fondò l'Accademia nel 387 a.C. Sotto la sua direzione quest'istituzione divenne un centro di ricerca matematica, scientifica e di teoria politica. Platone stesso vi contribuì con dialoghi che riguardavano l'intera sfera dell'esperienza umana. Nel *Timeo* presentò come « probabile » un'immagine di un universo strutturato su armonie geometriche.

<sup>3</sup> D.R. Dicks, *Early Greek Astronomy to Aristotle*, London, Thames and Hudson, 1970, pp. 104-7.

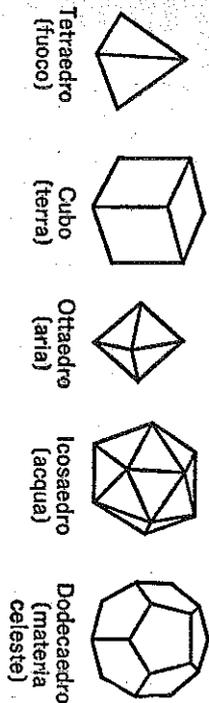
tria pura » alla sua applicazione pratica, e l'astronomia geometrica all'osservazione di raggi luminosi nel cielo.

Tutti sono concordi nel dire che Platone non era soddisfatto di una conoscenza « puramente empirica » della successione e della coesistenza dei fenomeni. Tale « conoscenza » deve essere traseca in modo tale da rendere manifesto l'ordine razionale sottostante. Il punto di disaccordo tra gli interpreti di Platone è questo: se colui che cerca questa verità più profonda debba allontanarsi da quello che gli offre l'esperienza sensibile. La mia opinione personale è che Platone a questo proposito avrebbe risposto « no », e avrebbe sostenuto che questa « conoscenza più profonda » deve essere raggiunta scoprendo il modello che « giace nascosto all'interno » dei fenomeni. Però forse Platone non avrebbe influenzato la storia della scienza se i filosofi naturali successivi non lo avessero così interpretato.

Questa influenza si è espressa principalmente in termini di un atteggiamento generale verso la scienza. I filosofi della natura che si ritenevano « platonici » credevano nella razionalità sottostante l'universo e nell'importanza di scoprirla. E trovarono un sostegno alla loro teoria in quella che credevano fosse una analoga convinzione di Platone. Nel tardo Medioevo e nel Rinascimento, questo platonismo costituì un importante correttivo sia alla denigrazione della scienza da parte degli ambienti religiosi sia alle dispute fondate sui testi in uso nei circoli accademici.

Inoltre, la diffusione della filosofia di Platone tese a rafforzare un orientamento pitagorico verso la scienza. Infatti, l'orientamento pitagorico fu molto importante nell'occidente cristiano soprattutto come risulato del matrimonio fra il *Timeo* di Platone e le Sacre Scritture. Nel *Timeo* Platone descrisse la creazione dell'universo ad opera del benevolo demiurgo che aveva impresso un modello matematico ad una materia primordiale informe. Questa ipotesi fu fatta propria dagli apologeti cristiani, i quali identificarono tale modello col piano divino della creazione ma evitarono di considerare la materia primordiale. Per quelli che accettarono questa sintesi, il compito del filosofo della natura era quello di scoprire il modello matematico su cui l'universo è ordinato.

Platone stesso suggerì nel *Timeo* che i cinque « elementi » — quattro terrestri e uno celeste — possono essere messi in relazione ai cinque solidi regolari.



Assegnò il tetraedro al fuoco, poiché il tetraedro è il solido regolare con gli angoli più acuti e poiché il fuoco è l'elemento più penetrante. Assegnò il cubo alla terra perché è necessario un maggiore sforzo per capovolgere il cubo sulla sua base di quanto ne sia necessario per capovolgere gli altri tre solidi, e perché la terra è l'elemento più solido. Platone usò un ragionamento simile per assegnare l'ottaedro all'aria, l'icosaedro all'acqua e il dodecaedro alla materia celeste. Inoltre suppose che le trasformazioni fra l'acqua, l'aria e il fuoco risultassero da una « dissoluzione » di ogni faccia a forma di triangolo equilatero dei rispettivi solidi regolari in sei triangoli <sup>4</sup> di 30°-60°-90°, e della successiva ricombinazione di questi triangoli minori per formare le facce di altri solidi regolari.

La spiegazione data da Platone della materia e delle sue proprietà in termini di figure geometriche si colloca pienamente nella tradizione pitagorica.

### 3. La tradizione del « salvare le apparenze »

Il filosofo della natura pitagorico crede che i rapporti matematici adatti ai fenomeni valgano come spiegazioni del perché



le cose sono come sono. A questa visione si è sempre opposto un altro punto di vista, in base al quale le ipotesi matematiche devono essere distinte dalle teorie sulla struttura dell'universo. Perciò, una cosa è « salvare le apparenze » sovrapponendo ai fenomeni i rapporti matematici, altra cosa è spiegare perché i fenomeni sono come sono.

Questa distinzione fra teorie fisicamente vere e ipotesi che salvano le apparenze è stata fatta da Geminus nel I secolo a.C. Geminus tracciò due strade per lo studio dei fenomeni celesti. Una è il metodo del fisico che fa derivare i movimenti dei corpi celesti dalla loro natura essenziale. La seconda è il metodo dell'astronomo che fa derivare i movimenti dei corpi celesti dalle figure matematiche e dai movimenti. Geminus affermò che non rientra nei compiti dell'astronomo sapere quale corpo, per propria natura, sia idoneo a restare immobile e quale invece sia più idoneo al movimento, ma introduce ipotesi per le quali alcuni corpi restano immobili, mentre altri si muovono, e poi considera a quali ipotesi i fenomeni effettivamente osservati nel cielo corrispondano <sup>5</sup>.

#### 3.1. Tolomeo e i modelli matematici

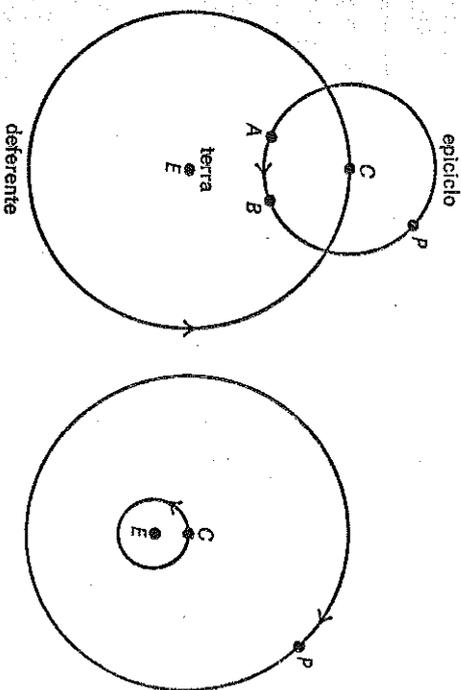
Nel II secolo d.C. Claudio Tolomeo <sup>6</sup> formulò una serie di modelli matematici, uno per ogni pianeta allora conosciuto. Una caratteristica importante dei modelli è l'uso dei cerchi epiciclici deferenti per riprodurre i movimenti apparenti dei pianeti rispetto allo zodiaco. Sul modello epiciclo-deferente, il pianeta P si muove lungo un cerchio epiciclico, il centro del quale si muove intorno alla terra, lungo un cerchio deferente. Regolando le velocità di rivoluzione dei punti P e C, fu in grado di ri-

<sup>5</sup> Geminus è citato da Simplicio, *Commentaria in Aristotelem graeca*, VII, 1894, VIII, 1907, IX, 1882, X, 1895, XI, 1882.

<sup>6</sup> Tolomeo (Claudius Ptolemaeus, c. 100-c. 178) fu un astronomo alessandrino della cui vita non sappiamo praticamente nulla. La sua opera principale, l'*Almagesto*, è una sintesi enciclopedica dell'astronomia greca, una sintesi aggiornata con nuove osservazioni. Inoltre, egli introdusse il concetto di moto circolare con velocità angolare costante attorno a un punto equante, un punto a una certa distanza dal centro del cerchio. Sommando gli equanti agli epicicli e ai deferenti riuscì a stabilire con notevole precisione i movimenti dei pianeti rispetto allo zodiaco.

produrre il movimento retrogrado periodico del pianeta osservato. Se si passa da *A* a *B*, lungo l'epiciclo, sembra, all'osservatore sulla terra, che il pianeta inverte la direzione del moto rispetto alle stelle retrostanti.

Tolomeo sottolineò il fatto che si possono costruire più modelli matematici per salvare le apparenze dei movimenti planetari. Notò, in particolare, che può essere costruito un sistema dell'eccentrico mobile matematicamente equivalente a un dato sistema epiciclico-deferente<sup>7</sup>.



Modello epiciclo-deferente

Modello dell'eccentrico mobile

Nel modello dell'eccentrico mobile il pianeta *P* si muove attorno a un cerchio con il centro nel punto eccentrico *C*; tale punto *C* si muove in senso opposto attorno a un cerchio col centro sulla terra *E*. Poiché i due modelli sono matematicamente equivalenti, l'astronomo è libero di usare il modello a lui più conveniente.

È sorta in seno all'astronomia una tradizione secondo la quale l'astronomo dovrebbe costruire modelli matematici per salvare le apparenze, ma che non dovrebbe teorizzare sui « moti

reali » dei pianeti. Questa tradizione deve molto al lavoro di Tolomeo sui moti planetari. Comunque, lo stesso Tolomeo non difese coerentemente questa posizione. Sostenne infatti nell'*Almagesto* che i suoi modelli matematici sono soltanto strumenti per il calcolo e che non bisogna pensare che i pianeti descrivano effettivamente tali movimenti epiciclici nello spazio fisico, ma in un'opera successiva, l'*Hypothèses Planetarium*, dichiarò che il suo complicato sistema di cerchi rivela la struttura della realtà fisica.

La preoccupazione di Tolomeo di assegnare all'astronomia il solo compito di salvare le apparenze si ritrova in Proclo, un neoplatonico del V secolo. Proclo lamentò che gli astronomi avevano soverrito il metodo scientifico corretto. Invece di dedurre le conclusioni da assiomi in sé evidenti, sul modello della geometria, essi avevano formulato ipotesi esclusivamente per sistemare i fenomeni. Proclo affermò che l'assioma corretto dell'astronomia è il principio di Aristotele per cui ogni moto semplice è il moto attorno al centro dell'universo oppure il moto da o verso esso. L'incapacità degli astronomi di far derivare i moti dei pianeti da quest'assioma fu vista da Proclo come indicazione di un limite imposto da Dio alla mente umana.

<sup>7</sup> Tolomeo attribuì ad Apollonio di Perga (attivo intorno al 220 a.C.) la prima dimostrazione di questa equivalenza.

## Capitolo terzo

### L'ideale della sistematizzazione deduttiva

Una tesi ampiamente sostenuta fra gli scrittori dell'antichità era che la struttura di una scienza evoluta dovesse essere un sistema di asseriti deduttivo. Lo stesso Aristotele aveva lavorato molto sulla deduzione di conclusioni dai principi primi. Molti scrittori della tarda antichità credevano che l'ideale della sistematizzazione deduttiva si fosse realizzato nella geometria d'Euclide<sup>1</sup> e nella statica di Archimede<sup>2</sup>.

Euclide e Archimede avevano formulato sistemi di asseriti — comprendenti assiomi, definizioni e teoremi — organizzati in modo che la verità dei teoremi discendesse dalla supposta verità degli assiomi. Per esempio, Euclide provò che i suoi assiomi, insieme alle definizioni di termini come «angolo» e «triangolo», implicano che la somma degli angoli di un triangolo sia uguale a due angoli retti. E Archimede dimostrò, a partire dai suoi assiomi sulla leva, che due pesi diversi si bilanciano

<sup>1</sup> Euclide (attivo intorno al 300 a.C.), secondo Proclo, insegnò ad Alessandria dove fondò una scuola. La sua opera più importante arrivava fino a noi è *Gli elementi*. Non è possibile dire con sicurezza fino a che punto quest'opera sia stata la codificazione delle conoscenze di geometria acquisite da altri e fino a che punto invece sia stata il risultato di ricerche originali. È probabile che oltre ad aver esposto la geometria come sistema deduttivo, Euclide abbia costruito un certo numero di dimostrazioni originali.

<sup>2</sup> Archimede (287-212 a.C.), figlio di un astronomo, nacque a Siracusa. Si pensa che trascorresse diverso tempo ad Alessandria, forse studiando con i successori di Euclide. Al suo ritorno a Siracusa si dedicò alla ricerca nel campo della matematica pura e applicata. La fama di Archimede nell'antichità è dovuta in gran parte alla sua abilità come ingegnere militare. Pare che le catapulte che egli progettò siano state effettivamente usate contro i romani durante l'assedio di Siracusa. Si diceva che Archimede stesso tenesse in gran conto le sue ricerche astratte sulle sezioni coniche, sull'idrostatica e sugli equilibri implicanti le leggi della leva. Secondo la leggenda, Archimede fu ucciso dai soldati romani mentre meditava su un problema geometrico.

quando la loro distanza dal fulcro è inversamente proporzionale ai loro pesi.

I tre aspetti dell'ideale della sistematizzazione deduttiva sono: 1) gli assiomi e i teoremi sono deduttivamente correlati; 2) gli assiomi stessi sono verità autoevidenti; 3) i teoremi concordano con le osservazioni. I filosofi della scienza hanno assunto posizioni diverse sul secondo e terzo punto, ma sul primo l'accordo è stato generale.

Non si può sottoscrivere l'ideale deduttivo senza accettare come necessario il fatto che i teoremi siano deduttivamente correlati agli assiomi. Euclide e Archimede utilizzarono due importanti tecniche per dimostrare i teoremi sulla base dei loro assiomi: la *reductio ad absurdum*, e un metodo di esaurizione.

Per dimostrare il teorema «  $T$  », la tecnica di *reductio ad absurdum* consiste nell'assumere « non- $T$  » come vero e poi dedurre da « non- $T$  » e dagli assiomi del sistema sia un asserto che la sua negazione. Se due asserti contraddittori possono essere dedotti in questo modo e se gli assiomi del sistema sono veri, allora anche «  $T$  » deve essere vero<sup>3</sup>.

Il metodo di esaurizione è un'estensione della tecnica di *reductio ad absurdum*. Consiste nel dimostrare che ogni possibile contrario di un teorema ha conseguenze non coerenti con gli assiomi di un sistema<sup>4</sup>.

Per quanto riguarda l'esigenza di relazioni deduttive tra gli assiomi e i teoremi, la geometria di Euclide era carente. Euclide dedusse gran parte dei suoi teoremi ricorrendo all'operazione

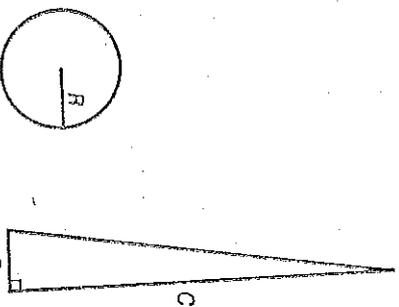
<sup>3</sup> Archimede usò la *reductio ad absurdum* per provare che i pesi che si bilanciano a distanze uguali dal fulcro sono uguali («  $T$  »). Incominciò assumendo la verità dell'asserzione contraddittoria che « i pesi che si bilanciano sono di grandezza diversa » (« non- $T$  »), quindi dimostrò che « non- $T$  » è falso, poiché ha implicazioni che contraddicono uno degli assiomi del sistema. Infatti se « non- $T$  » fosse vero si potrebbe diminuire il peso del maggiore di modo che i due pesi stiano di uguale grandezza. Ma l'assioma 3 stabilisce che se uno dei due pesi inizialmente in equilibrio viene diminuito, allora la leva si inclina verso il peso che non è stato diminuito. La leva non sarebbe più in equilibrio. Ma questo contraddice « non- $T$  » e quindi conferma «  $T$  » (Archimede, *Opere*, Torino, Utet, 1977).

<sup>4</sup> Archimede usò il metodo di esaurizione per provare che l'area di un cerchio è uguale all'area di un triangolo retto la cui base è il raggio del cerchio e la cui altezza è la sua circonferenza. Archimede provò questo teorema dimostrando che se si assume che l'area del cerchio è maggiore o minore di quella del triangolo, ne derivano contraddizioni nel sistema di assiomi della geometria. (*Ibidem*). (Vedi anche il diagramma a fronte).

di sovrapposizione delle figure al fine di stabilire la loro congruenza. Ma negli assiomi non esiste alcun riferimento a quest'operazione di sovrapposizione. Quindi Euclide « provò » alcuni dei suoi teoremi uscendo dal sistema di assiomi. Negli ultimi anni del secolo XIX la geometria di Euclide venne ristrutturata da David Hilbert secondo una forma deduttiva rigorosa. Nella riformulazione hilbertiana ogni teorema del sistema è una conseguenza deduttiva degli assiomi e delle definizioni.

Un secondo e più controverso aspetto dell'ideale di sistematizzazione deduttiva è la necessità che gli assiomi siano verità autoevidenti. Questa esigenza fu stabilita chiaramente da Aristotele, che insistette nel dire che i principi primi delle varie scienze devono essere verità necessarie.

Il requisito per gli assiomi dei sistemi deduttivi di essere verità autoevidenti era in accordo anche con l'approccio pitagorico alla filosofia naturale. Il pitagorico crede che in natura esistano rapporti matematici che possono essere scoperti con la ragione. Su questa base è del tutto naturale affermare che i punti di partenza della sistematizzazione deduttiva devono essere le relazioni matematiche che si sono trovate al di sotto dei fenomeni.



*La relazione di Archimede tra il cerchio e il triangolo*

Un atteggiamento differente è stato assunto da coloro i quali, nell'astronomia matematica, seguivano la cosiddetta tradizione del « salvare le apparenze ». Essi rifiutavano le richieste

aristoteliche; per salvare le apparenze è sufficiente che le conseguenze deduttive degli assiomi siano in accordo con le osservazioni. Il fatto che gli assiomi stessi non siano plausibili o addirittura falsi è del tutto irrilevante.

Il terzo aspetto dell'ideale della sistematizzazione deduttiva è che il sistema deduttivo sia in corrispondenza con la realtà. Certamente, Euclide e Archimede intesero dimostrare quei teoremi che avevano un'applicazione pratica. Infatti Archimede è rimasto famoso per la sua applicazione della legge della leva alla costruzione di catapulte per scopi bellici.

Ma per essere in contatto con il regno dell'esperienza è necessario che almeno alcuni dei termini del sistema deduttivo si riferiscano agli oggetti e alle relazioni esistenti nel mondo. Sembra che solo Euclide e Archimede e i loro immediati successori abbiano assunto che termini come « punto », « linea », « peso », « sbarra » avessero termini di correlazioni empirici. Archimede, per esempio, non dice nulla dei problemi sollevati dal tentativo di dare un'interpretazione empirica ai suoi teoremi sulla leva. Non fece alcun commento sui limiti da imporre alla natura della leva stessa, e tuttavia i suoi teoremi sono stati confermati sperimentalmente soltanto relativamente a sbarre che non si pieghino in modo apprezzabile e che abbiano un peso distribuito uniformemente. I teoremi di Archimede possono essere applicati rigorosamente soltanto a una « leva ideale » che non può essere realizzata in pratica, cioè a una sbarra infinitamente rigida ma priva di massa.

Forse, l'attenzione di Archimede per le leggi applicabili a questa « leva ideale » riflette una tradizione filosofica nella quale si sottolinea il contrasto tra la complessità caotica dei fenomeni e la purezza eterna delle relazioni formali. Questa tradizione è stata spesso rafforzata dalla convinzione ontologica che il regno dei fenomeni sia al massimo un'« imitazione » o un « riflesso » del « mondo reale ». Platone e i suoi interpreti hanno la piena responsabilità della divulgazione di questo punto di vista. Questo dualismo ha avuto importanti ripercussioni sul pensiero di Galileo e di Cartesio.

## Capitolo quarto

### L'atomismo e il concetto di meccanismo nascosto

Come già detto, alcuni discepoli di Platone spiegavano il mondo come un riflesso imperfetto di una realtà sottostante. Una discontinuità più radicale fu proposta dagli atomisti Democrito e Leucippo. Per gli atomisti la relazione fra il fenomeno e la realtà non era la relazione tra l'originale e la copia imperfetta; essi credevano piuttosto che gli oggetti e le relazioni del « mondo reale » fossero *differenti per natura* dal mondo che noi conosciamo mediante i sensi.

Secondo gli atomisti ciò che è reale è il movimento degli atomi attraverso il vuoto. Sono questi movimenti che causano la nostra esperienza percettiva di colori, odori e sapori. Se non ci fossero tali movimenti non ci sarebbe alcuna esperienza percettiva. Inoltre, gli stessi atomi hanno soltanto dimensione, forma, impenetrabilità, e movimento, e tendono a combinarsi e ad associarsi in vario modo. A differenza degli oggetti macroscopici, gli atomi non possono essere penetrati e suddivisi.

Gli atomisti facevano risalire i cambiamenti fenomenici all'associazione o alla dissociazione degli atomi. Per esempio, attribuivano il sapore salato di alcuni cibi allo sprigionarsi di atomi grandi e irregolari e la capacità del fuoco di penetrare i corpi ai rapidi movimenti dei piccolissimi atomi sferici del fuoco<sup>1</sup>.

Molti aspetti del programma degli atomisti hanno avuto grande importanza nello sviluppo del metodo scientifico; uno di essi è l'idea che i cambiamenti osservati possono essere spie-

<sup>1</sup> G. S. Kirk e J. E. Raven, *The Preocratic Philosophers*, Cambridge, Cambridge University Press, 1962, pp. 420-5.

gati facendo riferimento ai processi che hanno luogo a un livello piú elementare di organizzazione. Questo divenne il credo dei filosofi naturali del XVII secolo. Il fatto che interazioni submicroscopiche causino cambiamenti a livello macroscopico è stato affermato, tra gli altri, da Gassendi, Boyle e Newton.

Inoltre, gli atomisti antichi si erano resi conto, almeno implicitamente, che non si possono spiegare in modo adeguato le qualità e i processi che si svolgono a un certo livello soltanto ipotizzando che le stesse qualità e gli stessi processi sono presenti a un livello piú profondo. Per esempio, non si possono spiegare in modo soddisfacente i colori degli oggetti attribuendo i colori alla presenza di atomi colorati.

Un altro aspetto molto importante del programma degli atomisti è la riduzione dei cambiamenti qualitativi a livello macroscopico a cambiamenti quantitativi a livello atomico. Gli atomisti concordavano con i pitagorici nel dire che le spiegazioni scientifiche devono essere formulate in termini di rapporti geometrici e numerici.

Due fattori giocavano contro l'accettazione unanime della versione classica dell'atomismo. Il primo era il materialismo intrinseco di questa filosofia. Spiegando le sensazioni e anche il pensiero in termini del movimento degli atomi, gli atomisti negavano l'autocoscienza dell'uomo. Sembrava che l'atomismo non lasciasse spazio ai valori spirituali. Sicuramente, i valori dell'amicizia, del coraggio, della fede non possono essere ridotti a movimento di atomi. Inoltre gli atomisti non lasciavano spazio nella scienza ad alcuna considerazione sui fini, siano essi naturali o divini.

Il secondo fattore era la natura *ad hoc* delle spiegazioni degli atomisti. Essi fornivano una visione, un modo di guardare i fenomeni, senza che fosse possibile controllare la validità di tale visione. Consideriamo la dissoluzione del sale nell'acqua. La spiegazione ipotizzata dagli atomisti classici era che tale effetto poteva essere prodotto dalla dispersione di atomi di sale nel liquido. Però gli atomisti classici non potevano spiegare perché il sale si scioglie nell'acqua mentre la stessa cosa non succede per la sabbia. Naturalmente potevano dire che gli atomi di sale, a differenza di quelli di sabbia, entrano negli interstizi

degli atomi dell'acqua. Ma i critici dell'atomismo scartarono tale spiegazione perché era semplicemente un altro modo di dire che il sale si dissolve nell'acqua e la sabbia no.