

1 LA TRADIZIONE ATOMISTICA ANTICA

Considerazioni generali

Nonostante sia convinzione comune che la teoria atomica sia fondata su concezioni antiche, il confronto tra gli specialisti è ancora aperto e aspro. Se da un lato l'idea diffusa della contaminazione tra atomismo antico e moderno è sostenuta da molti storici della scienza ed epistemologi, alcuni studi specialistici hanno mostrato che non è possibile ipotizzare una diretta dipendenza tra le due teorie [1]. Sulla base di uno studio analitico dell'atomismo democriteo e di quello moderno nato con le prime scoperte chimiche del XVIII secolo e degli esperimenti storici condotti dai fisici del XIX secolo, i sostenitori di questa tesi confutano l'idea che i due paradigmi interpretativi dei fenomeni microscopici siano anche soltanto confrontabili. Secondo questi studiosi, il contesto concettuale della scienza moderna poggerebbe infatti su assunti completamente estranei alla filosofia di Leucippo e di Democrito, che risulterebbe quindi incommensurabile con il fondamento teorico dell'atomismo moderno. Un'ulteriore ostacolo all'affiancamento delle due teorie, sarebbe dato dal fatto che nel mondo antico non era sviluppata una dimensione sperimentale delle scienze per come oggi vengono concepite: la speculazione teorica era accorpata unitamente alla dimensione empirica quanto meno descrittiva e la filosofia – quella che poi sarebbe stata chiamata per secoli *philosophia naturalis* – costituiva il luogo della sintesi dei due mondi.

Altri storici della scienza, pur concordando con queste posizioni, individuano una traccia comune tra le due concezioni. A fronte della pluralità delle teorie antiche finalizzate all'interpretazione del reale, da quelle presocratiche fino all'aristotelismo maturo, l'atomismo democriteo costituisce un unicum ontologico completamente distinto dalle altre teorie, come per esempio quelle dei naturalisti ioni della scuola di Mileto o quella parmenidea a cui Leucippo e Democrito si contrappongono. Seppur distante dalle teorie dei fisici moderni, per questi studiosi risulta plausibile affiancare la matrice teorica dell'atomismo ottocentesco, per impostazione descrittiva e per le problematichità che contiene, a quella antica. Queste osservazioni, che sono state esposte in diverse sedi e anche in pubblicazioni divulgative [2], evidenziano la necessità nell'ambito di questo progetto di ricerca di fornire chiari riferimenti alla filosofia antica, sia che si opti per una o per l'altra scuola di pensiero.

Premesse materialistiche nel pensiero presocratico

Sotto l'influsso babilonese ed egizio, tra il VI e il V secolo a.C., si sviluppa la prima forma compiuta del pensiero ionico. In questa filosofia le cose si originano da un principio unico e incorruttibile, l'*arché*. Benché rimanga immutabile nel divenire delle cose, l'*arché* permette che queste si differenziano. Un principio di questo genere aveva per i greci un carattere astratto e non si fondava su considerazioni di tipo sperimentale o più semplicemente pratiche: una qualsiasi attività manuale era disprezzata, relegata agli schiavi e non era appannaggio degli uomini liberi.

Uno degli esempi più noti di filosofia fondata sull'*arché* è stato formulato da Talete di Mileto (640-546 a.C.): il principio primo del reale sta nell'acqua: l'acqua liquida per la sua capacità di trasformarsi facilmente in vapore o in solido può dare vita a tutte le cose. La stessa Terra viene immaginata sospesa nell'acqua, idea questa che verrà felicemente ripresa da Anassimandro (610-545 a.C.), che ne fece il fondamento di una primitiva teoria gravitazionale.

Di Anassimandro è tuttavia più conosciuta la filosofia dell'*àpeiron*, sviluppata nell'alveo del pensiero di Talete. L'*àpeiron*, ossia l'infinito che non è generato, genera il reale che si manifesta attraverso antinomie: il giorno e la notte, il caldo e il freddo, il secco e l'umido. Il moto vorticoso separa l'*àpeiron* nei contrari, spingendo i corpi più pesanti al centro della rotazione e i più leggeri verso la periferia. Spesso si è equivocato sulla natura dell'*àpeiron*, anche a causa del termine 'infinito' con cui lo

si rende in traduzione, che evoca un principio completamente astratto. Un'attenta analisi etimologica ha peraltro permesso al filologo Giovanni Semerano [3] di rimandare il termine *àpeiron* a una dimensione di significato più materico che concettuale. Alcuni lemmi riscontrabili nei testi delle civiltà del Mediterraneo sono accomunati ad *απειρος*: il biblico 'afar' che tra i significati ha quello di polvere, come il semitico 'apar, o anche l'accadico eperu che è associato al termine 'terra' o ancora 'polvere'. L'*àpeiron* risulterebbe perciò un principio generatore più prossimo a un substrato materico che a un concetto astratto e il vortice rotante da cui si genera il reale non sarebbe altro che una nube di corpuscoli. Si giustificherebbe così anche l'influenza del pensiero di Anassimandro su quello di Democrito a cui è accomunato: l'atomismo antico, sempre ricondotto alla matrice eleatica, è quindi in parte debitore anche al pensiero di Anassimandro a cui va riconosciuta la prima intuizione atomistica tra i filosofi presocratici.

Aporie e continuità ontologiche tra eleatismo e atomismo democriteo

Dalla quasi totalità degli studiosi Leucippo e il suo allievo Democrito, vissuti tra il V e il IV secolo a.C., sono considerati i fondatori dell'atomismo antico, che può essere visto come interpretazione e superamento del pensiero parmenideo. Più che dal lascito di frammenti dei due filosofi, spesso le informazioni più significative concernenti le loro teorie sono reperibili nelle testimonianze coeve o nei testi di autori immediatamente a loro successivi.

In opposizione al pensiero eleatico, Leucippo pone come principi ed elementi del reale il pieno e il vuoto: il pieno è costituito da infiniti corpi sempre mutevoli, dal cui movimento hanno origine i mondi secondo necessità [4, 5, 6]. Ne tratta Diogene Laerzio nel *De vitis et placitis philosophorum* :

Leucippo di Elea [...] conveniva sul fatto che le cose sono infinite e si mutano reciprocamente e che il tutto è vuoto e pieno di corpi. Dall'incontrarsi dei corpi nel vuoto si generano i mondi.

Questi corpi, costituenti fondamentali del reale, sono forme atomiche indivisibili, prive di qualità, come riporta Aristotele nel *De generatione et corruptione* [7]:

Democrito e Leucippo asseriscono che le altre realtà sono composte di corpi indivisibili e che questi ultimi sono infiniti, molteplici e sono forme, mentre le realtà da essi composte si differenziano per i componenti, per la posizione e l'ordine di questi.

Ogni cosa è generata da questi corpi, poiché dal Non-Essere non si origina nulla [6, 7, 8].

Il termine greco *atomon*, sempre al femminile, sta per indivisibile e si accompagna al termine *ἰδέα* che significa forma visibile per l'intelletto. Per visibile si intende visibile all'intelletto e comunque con proprietà analoghe a ciò che è visibile, il che rende gli atomi capaci di generare il concreto sensibile. In assenza di qualità gli atomi vanno perciò concepiti come forme puramente quantitative e quindi come forme geometriche. Essendo impassibili, gli atomi assumono anche il carattere dell'inalterabilità e quindi dell'indistruttibilità e quindi, come per l'Essere parmenideo, dell'eternità [9]. La combinazione degli atomi, del tutto irrazionale ossia non dettata da una volontà o da una divinità, è sottoposta alla Necessità, ovvero a una sorta di determinismo che ne detta le traiettorie conoscibile razionalmente [6].

La principale divergenza che oppone eleati e atomisti sta nella molteplicità dell'Essere. I seguaci di Parmenide, in particolare Melisso, definiscono l'Essere infinito. In quanto infinito è uno, pieno e quindi indifferenziabile: se fosse differenziabile in parti, non sarebbe uno. Al suo interno non è poi possibile movimento, perché se ci fosse movimento sarebbe moto dell'Essere verso il vuoto, che non è nulla, dato che se il vuoto fosse sarebbe parte dell'Essere. Il vuoto, quindi, se fosse non potrebbe rappresentare un luogo diverso dall'Essere verso cui l'Essere può dirigersi [11]. In questo

modo, la molteplicità, il vuoto e il movimento non possono rappresentare qualità dell'Essere, ma sono perciò caratteristiche del Non-Essere.

In un passo del *De generatione et corruptione*, Aristotele chiarisce l'obiezione rivolta a Melisso da parte di Leucippo [7]:

Leucippo stimava di poter apportare argomenti che, accordandosi con le sensazioni, non privavano gli essere né della generazione né della corruzione né del movimento né della molteplicità. Accordando le sue dottrine con i fenomeni, a chi prospetta l'Uno come privo di movimento data l'inesistenza del vuoto egli replica che il vuoto è il Non-Essere e che dell'Essere nulla è Non-Essere: infatti il vero Essere è Essere totalmente pieno. Tuttavia esso non è uno, ma una pluralità infinita e invisibile per la piccolezza delle masse.

Da questa testimonianza emergono le caratteristiche ontologiche fondamentali su cui si fonda l'atomismo antico:

1. Melisso eredita la dicotomia parmenidea tra Essere e Non Essere e l'obiezione di Leucippo non è relativa a questa premessa. L'affermazione riportata da Aristotele secondo cui per Leucippo "dell'Essere nulla è Non-Essere" indica che Leucippo per questo aspetto della teoria si pone in continuità col pensiero degli eleati.

2. Per Leucippo l'ipotesi della molteplicità atomica non è in contraddizione con l'unità dell'Essere. In virtù della loro appartenenza all'Essere gli atomi non possono non essere. Se così fosse nell'Essere si insinuerebbe il vuoto, che per definizione è Non-Essere. Come per Melisso, il Non-Essere non può separare l'Essere da se stesso. Affermando che "i molti sono, perché possono essere come l'Uno melissiano" [7], Leucippo rovescia l'argomento di assurdo riportato da Melisso: "Se esistessero i molti, questi dovrebbero essere tali quale io dico che è l'Uno" [11]. Gli atomi perciò partecipano dell'Essere e ne hanno tutte le caratteristiche.

3. L'Essere è quindi Uno e Molti, tali quale l'Uno. Dall'Uno non derivano i Molti, né da questi l'Uno. Uno e Molti sono principi paritari e non mutuamente deducibili.

4. Il passo di Aristotele chiarisce un'ulteriore aspetto della questione: il fondamento del principio atomistico non sta tanto in una sua validità assoluta, quanto nella capacità di spiegare i fenomeni. Leucippo introduce il concetto di molteplicità nell'Essere "accordandosi con le sensazioni" e "accordando le sue dottrine coi fenomeni".

5. Può essere interessante concludere che nella testimonianza aristotelica sono presenti due aspetti metodologici dell'atomismo che Aristotele riprenderà nell'elaborazione della *Fisica* [12]. Il primo aspetto è relativo alla natura dei principi alla base della conoscenza del mondo fisico. Questi per Aristotele, come anche per gli atomisti, non vengono fissati in virtù di una loro valenza assoluta, ma solo in quanto capaci di spiegare i fenomeni. Aristotele evidenzia così la natura dei principi che vengono postulati non in funzione di una loro verità astratta, ma solo perché utili a generare e sostenere la conoscenza sensibile.

Il secondo punto interessante che riguarda anche Aristotele è relativo all'uso del termine *αἰσθησις* tradotto con sensazione: il lemma abbraccia un ventaglio di significati che vanno da "conoscenza" a "sensazione" fino a "percezione coi sensi o con l'intelligenza" e che nel contesto possono essere intercambiabili, a patto di non intendere "intuizione" che potrebbe introdurre un eventuale fraintendimento sul valore dei principi, la cui verità sarebbe stabilita in forza della sola intuizione, assumendo così il carattere dell'arbitrio o dell'assoluto. Questo non accade nella teoria atomista, così come non accade nella *Fisica* di Aristotele.

L'indivisibilità dell'atomo

È tutto interno all'eleatismo il primo confronto sull'indivisibilità degli atomi. Se per Melisso l'Essere è uno e indivisibile in quanto uno, alla luce della teoria atomica altri si pongono il problema della frammentazione degli atomi. Leucippo e Democrito risolvono il problema frettolosamente, attribuendo la proprietà dell'Essere melissiano agli atomi a cui viene associato il carattere di indivisibilità in quanto impassibili, nel senso di non perturbabile in alcun modo, e di piccole dimensioni. Questa tesi, non condivisa da Aristotele e poi ripresa da Epicuro che manterrà la sola giustificazione della scarsa dimensione, risulta confusa. Uno tra i più noti e incisivi allievi di Parmenide, Zenone, aveva posto il problema, che Leucippo e Democrito non avrebbero risolto. Si può sintetizzare la confutazione per assurdo di Zenone in quattro passaggi relativi alle proprietà degli atomi:

1. Se Molti sono, ciascuno di essi deve essere uno e quindi non deve possedere né estensione né massa, che lo renderebbero divisibile.
2. Se l'atomo non ha né estensione né massa non esiste: aggiungere o togliere a ciò che esiste una grandezza che non ha né estensione né massa significa non aggiungere o non togliere nulla, il che implica che ciò che è stato aggiunto o tolto non è.
3. Se gli atomi esistono devono perciò avere grandezza e massa e quindi risulterebbero infinitamente divisibili.
4. Gli atomi dovrebbero perciò essere estremamente piccoli per non avere estensione e allo stesso tempo essere infinitamente grandi per poter essere infinitamente divisibili. Il che è assurdo.

Le argomentazioni di Zenone, più che a contrapporsi a una qualsiasi forma di atomismo, si proponevano lo scopo di negare qualsiasi teoria capace di avallare la molteplicità e la divisibilità del reale. In virtù di questo, gli atomisti risolsero il problema della divisibilità supponendo che nel mondo macroscopico la divisibilità della materia è garantita dalle sue proprietà di estensione e massa, ma che in questo caso i prodotti della frammentazione non sono gli atomi originari che la teoria atomista presuppone, ma una sorta di atomi secondari, aventi massa e estensione e per questo divisibili. Gli atomi primari invece sono i Molti che sono parte di qualcosa ma senza tuttavia avere essi stessi alcuna parte. Alcuni interpreti del pensiero di Democrito, che si è impegnato a risolvere l'aporia, affermano che tale distinzione tra atomi secondari e originari sta tutta nel possesso della massa: gli atomi secondari avrebbero massa e sarebbero divisibili, gli atomi originari avrebbero solo estensione ma non massa. Gli atomi originari sono quindi grandezze non nulle poiché estesi, ma indivisibili in quanto privi di massa. La proprietà della divisibilità è quindi associata a quella della massa. Resta aperto peraltro un quesito, ossia come è possibile per gli atomi originari dare vita alla materia, dato che sono privi di massa. Questo dilemma viene risolto da Democrito ipotizzando che la costituzione della materia dovuto all'aggregazione degli atomi originari negli atomi secondari è un processo inconoscibile dalla mente umana, in quanto relativo a realtà microscopiche insondabili [13, 14].

La natura del vuoto

Si è detto che l'ipotesi della molteplicità costituente l'Essere non è solo di natura descrittiva, ma permette di comprendere la generazione del reale. La ricombinazione degli atomi permette infatti di generare mondi. Una delle peculiarità della teoria democritea sta nel postulare il moto di questi corpuscoli, che attraverso le loro traiettorie dettate dalla Necessità e, si direbbe oggi, attraverso le

loro interazioni, darebbero forma al reale [12]. Questi moti si sviluppano secondo Leucippo e Democrito nel vuoto inteso come spazio libero da qualsiasi struttura, una sorta di intercapedine fraposta tra gli atomi. In *In Aristotelis De Cælo* Simplicio traccia una sintesi di questa proprietà dello spazio:

Democrito sostiene che la natura delle cose eterne consista in una pluralità di infinite sostanze piccolissime e le pone in un altro luogo, infinito per grandezza, che indica con i nomi di "vuoto" e di "nulla" e di "infinito", mentre indica ciascuna di quelle sostanze con i termini di "qualcosa", di "solido" e di "Essere".

Nel Da ciò non consegue nessuna contraddizione con le premesse precedenti: nella filosofia di Leucippo l'Essere può essere separato dal vuoto che, proprio perché non è, non esiste e quindi non separa in nessuna parte l'Essere [15].

Il dibattito presente in letteratura sulla natura del vuoto nell'eleatismo e nell'atomismo è ampio e ha occupato diversi esegeti della materia: la conclusione non definitiva che se ne può trarre è che come per Parmenide, anche nella filosofia democritea il vuoto non è definito in alterità all'Essere. Non è in quanto è qualcosa in alternativa all'Essere. Questa sorta di principio di alterità o di differenziazione in realtà non è presente né tra gli Eleati né tra i Pluralisti e prende le mosse dalla cultura greca più antica, affondando le radici nella letteratura omerica. Il Non-Essere è reale non nel senso che è, ma per come afferma Parmenide: è e non è possibile che non sia; non è e non è possibile che sia. In questo modo il Non-Essere diventa il luogo della contraddizione, tema che aprirà ad Aristotele il varco di definire la Natura ordinata e comprensibile.

Le caratteristiche degli atomi. Generazione e autonomia dei fenomeni

Una volta chiarito il contesto in cui gli atomi sono ontologicamente collocati rispetto all'Essere, conviene descriverne le caratteristiche, fondamentali per capire come da essi sia possibile generare i fenomeni e in quale misura. Le tre caratteristiche individuate da Democrito sono: *rhysmos*, *diatighé* e *tropé*, che nella traslitterazione aristotelica assumono il significato di *figura ordine* e *posizione*. *Rhysmos* o *figura* possono essere pensati come una sorta di traiettoria, come il tracciato regolare della scrittura a cui il lemma *rhysoms* è generalmente correlato. L'etimologia di *diaghilé* è invece legata all'"entrare in contatto con qualcosa attraversandola", mentre *tropé* ha più il significato di "girare, rivolgere". La relazione tra atomi può quindi a giusto titolo essere vista come la creazione di un testo attraverso la scrittura, in cui le forme vengono variate o ripetute: la *tropé* genera la *diaghilé* e insieme danno vita al *rhysmos*. Per questo l'atomo non è simile a un corpuscolo, ma piuttosto a una lettera che si propaga e si ripete uguale a se stessa, indefinitamente, nel vuoto, per combinarsi con altre lettere e dar vita a una scrittura. Ogni atomo possiede perciò un ritmo caratteristico e l'incrocio infinito di queste traiettorie determina l'identità degli aggregati quando questi si vengono a formare. Può del resto accadere che alcuni atomi non siano compatibili, non si congiungano e nella loro interazione invece di unirsi si respingano [16]. Ulteriori precisazioni vengono fornite nelle due seguenti testimonianze di Aezio [6]:

I discepoli di Leucippo e di Democrito, che denominano atomi i corpi primi, i più piccoli in assoluto, affermano che in conformità alle configurazioni da queste assunte, alla loro posizione e disposizione si ingenerano le differenze che distinguono i corpi in caldi e ignei, ossia quelli composti dai corpi primi più acuti e sottili, che si dispongono secondo la stessa posizione, in freddi e umidi, vale a dire quelli che si compongono degli atomi aventi le proprietà opposte a quelli precedenti, in irraggianti e lucenti e in oscuri e tenebrosi.

Gli altri filosofi ritengono che i sensibili siano tali per natura, mentre Leucippo <e> Democrito e anche Diogene affermano che quelli sono stati per convenzione, vale a dire in dipendenza dalle nostre opinioni e affezioni. Non v'è nulla di vero e di comprensibile fuorché i primi elementi, ossia

gli atomi e il vuoto. Questi soli, infatti, sono per natura, mentre le altre realtà differiscono a seconda della posizione, dell'ordine e della figura secondo cui accidentalmente si dispongono tali elementi.

Gli atomi sono caratterizzati da qualità primarie, connesse al solo aspetto quantitativo, che determinano nei fenomeni tutto ciò che è legato alla dimensione quantitativa. Gli atomi sono infatti lisci o scabri, tondi, appuntiti o uncinati e così via. Non sono invece qualità dell'atomo quelle secondarie, come il colore, il sapore, che sono ricondotti alla percezione del soggetto. Il dolce e l'amaro, il chiaro e lo scuro sono opinabili in quanto soggette all'opinione del singolo, non hanno perciò carattere universale. I fenomeni sono perciò l'esito del continuo divenire del molteplice, che si aggrega in forme diverse dovute alle qualità primarie degli atomi e alla loro disposizione nelle catene che si vengono a costituire, come se i singoli atomi fossero gli ideogrammi di un geroglifico che prende significato non solo per effetto della qualità apportata dai singoli atomi, ma anche per la reciproca collocazione interna alla successione.

2 DECLINO DELL'ATOMISMO DEMOCRITEO

Platone, Aristotele

La teoria atomistica influenzò la filosofia successiva, in particolare quella di Platone, che nel *Timeo* riprese il concetto di atomo, fondamento della realtà materiale. A differenza di quanto sostenuto da Leucippo e Democrito, Platone individua negli atomi il mezzo con cui la natura può imitare il mondo delle idee in un processo di perenne *mímesis* e grazie alla forgiatura del demiurgo, un essere superiore, artefice del mondo. Ogni corpo materiale tende a rifarsi a una forma perfetta e le forme ideali sono rappresentate dai cinque solidi platonici: il tetraedro, l'esaedro, l'ottaedro, l'icosaedro e il dodecaedro. Gli atomi hanno forma di cubi, di tetraedri, di icosaedri e così via. La solidità e la durezza della terra sono spiegate assumendo che gli atomi che la compongono sono cubici, le punte delle fiamme sono dovute agli angoli solidi dei tetraedri atomici che compongono il fuoco, l'acqua sarebbe costituita da icosaedri e l'aria di ottaedri [17]. È evidente che la riflessione platonica prende le mosse dallo stesso contesto teorico e in particolare dalla filosofia eleatica, anche se con scopi ben differenti. Se Leucippo e Democrito si muovono nell'ottica epistemologica tipicamente cara ai pensatori greci tesa a φαίνομενα σωζειν, ossia a salvare i fenomeni, Platone non si preoccupa più di questo aspetto dato che è interessato più all'indagine dei *noumeni*, ossia delle idee pure. Non si preoccupa neppure della natura degli atomi e delle loro caratteristiche materiali, se non nella misura in cui questi non siano funzionali al principio della *mímesis*: il paradigma conoscitivo democriteo si riduce nella filosofia platonica a un semplice apparato teleologico descrittivo.

Approcci più legati all'osservazione diretta dei fenomeni e analisi condotte con strumenti più legati a una mentalità empirica che idealistica sono gli elementi peculiari che caratterizzano la fisica aristotelica. Nonostante il dibattito sia ancora aperto, alcuni studioso del pensiero dello Stagirita ritengono che la *Fisica* preceda la *Metafisica* sia nella fase di elaborazione che in quella di scrittura. Questo aspetto non è marginale e fa dell'opera di Aristotele uno dei centri primigeni della sua filosofia. A differenza di ciò che spesso si ritiene, lo scopo dell'opera non è quello di indagare la natura nella sua complessità, nelle sue interazioni reciproche, né tanto meno di fornire un quadro sistematico esplicativo di ogni fenomeno [10]. Aristotele indaga singoli fenomeni, senza la preoccupazione di fornire un quadro interpretativo unitario. Contrariamente a quello che si può ipotizzare riferendosi all'autore che ha esplicitato i fondamenti della logica deduttiva, nella *Fisica* mancano deduzioni derivanti da principi semplici e universali: un oggetto o un singolo fenomeno non è analizzato sotto un unico punto di vista, ma attraverso una pluralità di esperienze del soggetto che lo pensa. L'attività conoscitiva è quindi asistemica e il metodo assiomatico-deduttivo è relegato alle sole considerazioni relative a conoscenze di cui si è già in possesso. Contrapponendosi a Platone e alla tradizione eleatica, Aristotele concepisce quindi una fisica che non è una fisica di principi: la vera conoscenza è memoria di ciò che si conosce già e ogni principio è principio di qualcos'altro. Qualora un principio venga invocato, non è per confrontarlo con altri principi, ma perché se ne rende necessario un suo utilizzo per la spiegazione dei fenomeni. Se di volta in volta diventa necessario spiegare un fenomeno senza inquadrarlo in una teoria di postulati, appare evidente che non vi è neppure la distinzione tra fenomeno particolare e fenomeno generale. Ogni fenomeno diventa oggetto di studio nel suo insieme, diremmo oggi macroscopicamente, senza la preoccupazione che debba essere ricondotto a cause ulteriori. Ogni causa è causa di qualcos'altro: ogni analisi fisica diventa inutile perché rimanderebbe indefinitamente ad altre cause e infine al motore immobile. Le uniche cause ammesse sono quelle per spiegare il movimento, che è l'unico oggetto di studio, perché la fisica studia la natura in quanto movimento, che può essere rettilineo o circolare. Dato che il moto di un corpo dipende dal peso e dalla resistenza del mezzo in cui si muove, il vuoto non può esistere. Più il mezzo diventa rarefatto, infatti, più aumenta la velocità del grave; al limite, nel vuoto, tenderebbe a un

valore infinitamente grande, in disaccordo con l'esperienza sensibile. L'impossibilità del vuoto permette ad Aristotele di negare l'esistenza degli atomi. Se così fosse, infatti, ossia se gli atomi esistessero, la materia non risulterebbe continua e tra due atomi vi sarebbe il vuoto. Di fronte a questa impossibilità, risulta evidente che la materia è continua e infinitamente divisibile, fino al punto in cui una sostanza arriva a perdere le proprietà che la caratterizzano e ne assume di nuove, come capita nei processi di miscelazione di due sostanze che si dividono infinitamente a vicenda fino a generare un nuovo composto con nuove qualità. La trasmutazione interna degli elementi fondamentali presenti in natura, aria, acqua, terra e fuoco, idea che verrà ripresa successivamente dagli alchimisti, risulterà fondamentale nello sviluppo della chimica moderna. Il numero relativamente basso degli elementi non può infatti giustificare la varietà dei corpi presenti in natura, a meno di ipotizzare per ogni elemento la possibilità di trasformarsi. Aristotele ipotizza perciò che ogni elemento come combinazione di quattro qualità, il caldo e il freddo, il secco e l'umido e dalla loro distribuzione nell'elemento si genera il reale.

La fisica tra aristotelismo e neoplatonismo

Una fisica del tutto, non una fisica delle parti: così spesso si intende la fisica aristotelica. L'impossibilità di concepire un mondo microscopico di atomi e quella di generalizzare i fenomeni naturali conducono Aristotele a individuare le ragioni del movimento nelle quattro cause: materiale, formale, efficiente e finale. Questa suddivisione si rivelerà utile nelle descrizioni dei fenomeni, ma non permetterà lo sviluppo di innovazioni significative del paradigma aristotelico.

La sistematizzazione del corpus dello Stagirita tramandato da Teofrasto fu operata da Andronico Rodio, ma non fu tuttavia sufficiente a determinare un influsso certo sui pensatori ellenistici, su cui è aperto ancora il dibattito [18]. È indubbio che alcuni filoni della filosofia aristotelica trovarono nell'ambito dell'ellenismo sviluppi degni di nota, come fu per la biologia per merito di Aristofane di Bisanzio. In generale, tuttavia, durante il peripato ellenistico e nella fase post-ellenistica, solo i temi etici riscossero grande consenso, soprattutto nell'interlocuzione privilegiata con lo stoicismo.

Nei primi due secoli del I millennio, la ripresa del platonismo operata da Antioco di Ascalone, anche in funzione di una sua pitagorizzazione come negli intenti di Eudoro di Alessandria, offuscò parzialmente la filosofia aristotelica che restò al servizio di un platonismo dogmatico e matematizzante che determinò l'esaurimento della tradizione peripatetica nel III secolo d. C. Il forte impulso filosofico del neoplatonismo, ad opera di Plotino e soprattutto di Porfirio, determinarono infatti una svolta epistemologica del paradigma aristotelico. Giudicata troppo limitata nell'indagine attorno agli intellegibili, la fisica venne così rinnovata alla radice: alle quattro cause individuate da Aristotele si sommarono la causa paradigmatica e la causa strumentale. Una rilettura del *Timeo* permise a Proclo di ordinare tre cause: efficiente, paradigmatica e finale rispettivamente attorno ai concetti di demiurgo, modello e bene. Lo studio del mondo assume così una dimensione teologica e si riduce a un'esplorazione delle cose intellegibili. Un esempio permette di cogliere lo scarto che si viene a creare con l'avvento della fisica neoplatonica. Studiando il moto dei proiettili, Aristotele riconosce il propulsore del moto nell'aria retrostante il proiettile. Sebbene attraverso analisi dinamiche non sempre precise e in un sistema di pensiero in qualche punto farraginoso o incompleto, per Aristotele la materia in qualche misura diventa causa del movimento di altra materia, idea che sarà ripresa da Buridano nel XV secolo. Lo stesso fenomeno interpretato da Giovanni Filippono, allievo della scuola alessandrina di Ammonio e autore di un testo dal titolo emblematico *Contro Aristotele*, viene invece letto in questo modo: non è l'aria che muove il proiettile, bensì è il demiurgo che ne determina la traiettoria imprimendogli una forza.

Nel tentativo di coniugare aristotelismo e platonismo si arriva così alla concezione di una fisica teologica, ridotta alla speculazione astratta di fenomeni le cui cause sono agenti esterni, con lo scopo

di realizzare fini estranei all'evoluzione spontanea della natura. E così anche il carattere sperimentale della fisica aristotelica si perde a vantaggio di una forma di platonismo rinnovato in chiave pitagorica e etica.

DE RERUM NATURA

Il contesto culturale del rinascimento

Anche considerando significativi i contributi delle sperimentazioni e delle speculazioni medievali a cui taluni non negano l'attributo di scientifiche, pur ammettendo il valore della "piccola rivoluzione scientifica" esplosa alla corte di Federico II, è innegabile constatare che dell'ipotesi atomistica antica per secoli si hanno solo deboli tracce. Nel corso del medioevo, infatti, la produzione tecnica era perlopiù focalizzata al perfezionamento di macchine note, mentre il confronto tra filosofi interessati all'osservazione dei fenomeni naturali avveniva attraverso la lente deformante di un aristotelismo cristallizzato, venato da elementi di neoplatonismo.

Oscurato dalla teoria del continuo di Aristotele, ma non completamente archiviato, l'atomismo discreto democriteo sopravvisse a tutto il medioevo. Per i filosofi meccanicisti gli atomi erano caratterizzati da poche proprietà (forma, dimensione, movimento), erano indivisibili e immutabili. Le proprietà fisiche dei corpi dipendevano solo da quelle degli atomi e non da un'eventuale struttura interna [19]. A queste convinzioni si sostituì nel corso del XVI secolo una concezione atomistica continua, detta dei *minima naturalia*. Questa teoria è debitrice delle idee aristoteliche e in essa la materia è immaginata come infinitamente divisibile e i suoi più piccoli costituenti, i *minima naturalia*, rappresentano il punto oltre il quale non è possibile definire un'unità materiale microscopica a cui ricondurre le proprietà della materia [20].

Questa teoria, diffusa tra gli aristotelici, venne sostenuta dai padri della Chiesa, che nell'atomismo democriteo vedevano i germi di un sapere eretico e trovò un ampio rinnovamento nella tradizione araba e nel rinascimento italiano. Così il dibattito italiano tra i corpuscolaristi, come Cardano e Fracastoro, e i continuisti come Scaligno continuò per tutto il Cinquecento e fu oggetto di ripresa da parte di Giordano Bruno. Questi cercò di sintetizzare le due teorie, anche se fu il chimico astrologo Sennert a coniugare completamente l'atomismo democriteo e le teorie aristoteliche, in una sintesi in cui i *minima moralia*, suddivisi in primari e secondari, costituiranno la base concettuale di quelli che poi verranno chiamati atomi e molecole [21].

Nonostante il dibattito teorico fosse molto vivace, le discussioni tuttavia non erano altro che rivisitazioni di concezioni antiche e ruotavano sostanzialmente attorno a un aristotelismo più o meno rinnovato. Sul fronte sperimentale l'evoluzione delle pratiche di laboratorio e la diffusione dei primi manuali di chimica non furono sufficienti a far compiere alla chimica quel salto decisivo nell'ottica della scienza moderna, come nel '600 sarebbe accaduto con la fisica e l'astronomia nell'ambito della rivoluzione scientifica, grazie al ruolo non solo dell'osservazione ma anche dell'uso della matematica.

Il recupero delle teorie atomistiche in pieno rinascimento, grazie anche alla scoperta di Poggio Bracciolini del *De rerum natura*, è dovuto al rinnovato interesse per i classici che si sviluppa in quel momento storico. Questi erano oggetto di studio anche nel medioevo, ma nel rinascimento vengono frequentati con rinnovato spirito critico: l'approccio filologico diventa necessario per la corretta interpretazione dei testi greci e latini e sostituisce la tradizione di lettura di copie mal tradotte o testi incrostati di *lectiones* errate. Il culto dei classici, iniziato da Petrarca e Boccaccio, nel Quattrocento

investe soprattutto l'area umanistica. In ambito artistico con la "terza maniera" si impongono dapprima a Firenze, poi a Roma e quindi in tutta Europa gli esempi di Raffaello, Leonardo e Michelangelo; sul fronte orientale esplose il colore nei lavori di Giovanni Bellini, di Tiziano e Sebastiano del Piombo. Nel campo filosofico e delle lettere, Marsilio Ficino rinnova il platonismo e tenta di conciliarlo con il cristianesimo, approfondendo i temi dell'amore platonico, della contemplazione e dell'immortalità dell'anima. Il suo interesse per la filosofia peripatetica lo avvicina allo studio dei fenomeni e in particolare diventa uno dei protagonisti dello studio delle analogie tra macrocosmo e microcosmo. Attento lettore di Lucrezio, non è soddisfatto della lettura atomistica del reale e ipotizza cause più profonde, insondabili, che lo avvicinano al sapere ermetico, all'occultismo e al recupero del culto di Ermete Trismegisto fino alla magia. Come Ficino, anche altri Pico della Mirandola esaltano la magia: lo stesso Pico della Mirandola ci si avvicina anche se da una prospettiva più prossima alle pratiche alchemiche, che diventeranno fondamentali per la nascita della chimica moderna.

L'innovazione tecnica

Negli stessi anni, sono ancora Ficino e Pico a rinvigorire il dibattito filosofico attorno all'innovazione tecnica che si caratterizza come una delle novità rinascimentali. I due intellettuali si muovono parallelamente: se nella filosofia ficiniana uno dei cardini stava nella rivalutazione del lavoro manuale, così anche per Pico lo studio del funzionamento degli utensili, la fabbricazione delle macchine, il loro utilizzo diventano funzionali alla dignità dell'individuo e la macchina assume una nuova centralità [22]. Al di là di alcune innovazioni tecniche, che potevano essere anche di concezione molto antica, fino a quel momento le macchine erano state prodotte per risolvere circostanze eccezionali, come per esempio durante la peste, o per usi effimeri o dilettantistici. Nel Rinascimento al contrario vengono progettate per alleviare la fatica umana quotidiana. Al lavoro dei 'vili meccanici' viene riconosciuta piena dignità: si riscoprono le invenzioni di Archimede; dal tedesco Konrad Keyser a Leonardo si recuperano bozzetti antichi per la realizzazione di macchine ellenistiche, romane e medievali - una per tutte la catapulta; l'intera collettività europea inizia a ingegnarsi per migliorare la produzione di macchine idrauliche, argani, pulegge, paranchi, macchine per la frantumazione dei minerali, arnesi per la fusione dei metalli. La siderurgia, l'estrazione mineraria, ma anche l'architettura e l'idraulica sono comparti che vengono favoriti dal progresso tecnologico in atto.

L'innovazione riguarda anche tecniche nate altrove, che vengono importate, studiate, perfezionate. La polvere da sparo nata in Cina per gli spettacoli pirotecnici, in Europa verrà ampiamente utilizzata nelle prime armi da fuoco; la fabbricazione della carta, arrivata dall'Oriente, in pochi decenni diventa una delle principali attività nell'intera Europa; uno strumento semplice come la bussola, importata dalla Cina è in Europa che trova un diffusissimo impiego nelle rotte marittime. Nel Cinquecento un ulteriore progresso tecnologico si affermerà, soprattutto nelle corti italiane e in particolare ad Urbino. Lo studio accurato degli strumenti di precisione grazie all'eccezionale contributo dei matematici rinascimentali permetterà di progettare e costruire marchingegni da utilizzare per le rappresentazioni geometriche (i compassi, strumenti per la sezione degli angoli, per il disegno di coniche, i compassi di riduzione), strumenti astronomici e topografici, e infine anche basati su principi fisici, come le bilance costruite da Guidobaldo col centro di sospensione coincidente col baricentro o i primi termoscopi [23].

La riscoperta dell'atomismo greco: il De rerum natura

In questo quadro composito il rinvenimento dell'opera di Lucrezio, favorito dalla diffusione a stampa già nel Quattrocento, ha permesso agli scienziati rinascimentali di recuperare l'idea che la compren-

sione dei fenomeni fosse riconducibile all'esistenza e all'interazione di particelle elementari, caratterizzate da figura, ordine e posizione. In uno dei passi del *De rerum Natura* Lucrezio mostra l'evoluzione del modello democriteo [24], di cui già nell'alveo dell'antichità greca vi era traccia. In particolare, uno dei primi a distinguere ulteriormente le proprietà delle interazioni atomiche fu Epicuro che riconobbe agli atomi due tipi di movimento [25]. Nelle sostanze solide sono vincolati a vibrare attorno a posizioni fisse, mentre quando costituiscono sostanze gassose, sono liberi di muoversi anche molto velocemente. Questa specificazione è comprensibile nell'ottica epistemologica antica, che era quella di φαίνομενα σώζειν, di salvare i fenomeni, argomento si è detto caro anche a Leucippo e Democrito. Il fenomeno che verrebbe salvato è relativo alla natura del calore, una delle principali proprietà dei corpi. Per questo può essere utile lo stralcio di un'opera di Plutarco [26]:

Il freddo sembra essere statico, il caldo in movimento

Riprendendo le idee sostenute nella letteratura interessata alla pneumatica che in Filone di Bisanzio aveva trovato il principale studioso [27], Plutarco precisa in un altro passo che "più caldo" significa "più veloce", introducendo un argomento che avrebbe avuto secoli dopo una grande fortuna. A causa della scarsità delle fonti per la quasi totalità perdute, è solo ipotizzabile che gli atomisti antichi e i loro discepoli abbiano formulato teorie e ottenuto altri risultati del tutto confrontabili con quelli della scienza moderna. È certo che Filone di Bisanzio abbia spiegato la dilatazione termica dell'aria ed è plausibile immaginare che in altri testi di pneumatica fosse stato istituito un legame tra l'aumento di velocità degli atomi per effetto termico portasse a un aumento delle distanze interatomiche.

Galilei nel Saggiatore non farà che riprendere le idee epicuree, con lievi differenze spesso riconducibili solo a questioni lessicali, aprendo la strada alla modellazione successiva finalizzata alla comprensione delle leggi dei gas ideali attraverso un'interpretazione microscopica della materia [28]. In questo si distinse tra gli altri Gassendi che, senza aver formulato teorie originali o scoperto risultati notevoli, ha costituito un forte tramite tra i pensatori del XVII secolo e Newton. Analizzando i fenomeni di compressione e di dilatazione dei gas, infatti, Gassendi fu il principale assertore della riduzione dei fenomeni al puro meccanicismo: la materia per Gassendi non è altro che un insieme vorticoso di atomi che si agitano nel vuoto. Quest'idea ripresa dagli atomisti antichi venne raccordata con le nuove idee sull'infinità dello spazio e del tempo, con l'esistenza del vuoto, con la spiegazione delle qualità sensibili attraverso le proprietà atomiche di peso, numero e misura. Quello che non era riuscito nell'antichità, ovvero la sintesi tra l'atomismo democriteo e la matematizzazione platonica, fu portato a termine da Gassendi, che diede un fondamento ontologico alla scienza moderna, aprendo le porte alla fisica matematica newtoniana [29].

In questo solco, Boyle formulò le leggi della chimica pneumatica, dove sosteneva convintamente la teoria atomica della materia derivata dall'epicureismo, ereditando l'esempio dello scienziato fiorentino e dell'insegnamento cartesiano. Nell'opera *The Sceptical Chymist* espose le sue teorie: i corpuscoli differiscono per forma, dimensioni e movimento. La loro agitazione nel vuoto permette le reazioni chimiche, dovute alla loro ricombinazione, dalla fusione di gruppi di loro o dal rilascio di parti di essi da gruppi più grandi [30]. L'empirismo di Boyle poggiava dunque su questi fondamenti concettuali: la coerenza tra i risultati sperimentali e le previsioni del modello corpuscolare fornivano una validazione del modello atomista.

Saranno queste idee a permeare il dibattito scientifico tra il XVIII e il XIX secolo, coinvolgendo le migliori menti dell'epoca, da Daniel Bernoulli a Ruggiero Giuseppe Boscovich, da Georges-Louis Le Sage a James Clerk Maxwell, un dibattito estremamente debitore agli antichi [31] e che si è svolto

spesso sotto traccia, mentre la comunità scientifica si affannava a spiegare le proprietà termodinamiche della materia attraverso grandezze macroscopiche continue, impermeabile alle suggestioni dell'antico.

- [1] A. Chalmers, *The Scientist's Atom and the Philosopher's Stone: How Science Succeeded and Philosophy Failed to Gain Knowledge of Atoms*, Springer, Dordrecht, 2009
- [2] L. Russo, *Notre culture scientifique*, Les Belles Lettres, Paris, 2020
- [3] G. Semerano *L'infinito : un equivoco millenario*, Bruno Mondadori, Milano, 2007
- [4] Diogenes Laertius, *De vitis et placitis philosophorum*, Teubner, Stoccarda, 1999
- [5] Hippolytus, *Refutatio contra omnes haereses*, Walter de Gruyter, Berlin-NY, 1986
- [6] Aëtius, *De placitis philosophorum*, E. Corsinus, Firenze, 1750
- [7] Aristoteles, *De generatione et corruptione*, Les Belles Lettres, Paris, 2005
- [8] Plutarchus, *Adversus Coloten*, Teubner, Lipsia, 1895
- [9] V. E. Alfieri, *Atomos idea. L'origine del concetto dell'atomo nel pensiero greco*, Galatina, 1979
- [10] W. Wieland, *La Fisica di Aristotele*, Torino, 2018
- [11] G. Reale, *Melisso. Testimonianze e frammenti*, Firenze, 1970
- [12] Aristotele, *Fisica*, Milano, 1995
- [13] Sextus Empiricus, *Adversus mathematicos*, Teubner, Lipsia, 1961
- [14] Simplicius, *in Aristotelis De Cælo*, , Oxford University Press, Oxford & New York, 1922
- [15] Galenus, *De elementis secundum Hippocratem*, in *On the Elements According to Hippocrates*, Akademie Verlag, Berlino, 1996
- [16] Aristoteles, *Metaphysica*, Penguin Books, London, 2000
- [17] Platone, *Timeo*, in Platone, *Opere*, Bompiani, Milano, 2000
- [18] A. Falcon, *Aristotelismo*, Torino, 2017
- [19] F. Abri, *Elementi, principi e particelle. Le teorie chimiche da Paracelso a Stahl*, Loescher, Torino, 1980
- [20] G. Villani, *La chiave del mondo. Dalla filosofia alla scienza: l'onnipotenza delle molecole*, CUEN, Napoli, 2001
- [21] A. Clericuzio, *Elements, Principles and Corpuscles. A Study of Atomism and Chemistry in the Seventeenth Century*, Kluwer, Dordrecht, 2000
- [22] P. Greco, *La scienza e l'Europa, vol 2.*, Roma, L'asino d'oro, 2015
- [23] E. Gamba, V. Montebelli, *Le scienze a Urbino nel tardo Rinascimento*, Urbino, Quattroventi, 1988
- [24] Lucrezio, *De Rerum Natura*, Flores, Napoli, 2002
- [25] Epicuro, *Lettera a Erodoto*, Chronicle Books, San Francisco, 2011
- [26] Plutarco, *Sul principio del freddo*, Harvard University Press, Cambridge , 1957
- [27] Filone di Bisanzio, *Pneumatica*, Teubner, Berlino, 1893
- [28] M. Camerota, *Galileo, Lucrezio e l'atomismo*, in *Lucrezio, la natura e la scienza*, Leo S. Olschki, Firenze, 2008
- [29] A. Koyré, *Études d'histoire de la pensée scientifique*, Gallimard, Paris, 1973
- [30] R. Boyle, *The Sceptical Chimist, or Chimica-Physical Doubts & Paradoxes, Touching the Spagyrist's Principles Commonly Called Hypostatical*, Cadwell, London, 1661
- [31] J. H. Gaiser, T. K. Gaiser, *Partons in antiquity*, American Journal of Physics, vol. 45, 1977