

La composizione della materia

Roberto Zingales

Dipartimento di Chimica Inorganica e Analitica *Stanislao Cannizzaro*

zinko@unipa.it

Non sappiamo quando l'*homo sapiens* abbia cominciato a interrogarsi sulle origini proprie, del mondo e dei fenomeni naturali che avvenivano intorno a lui. E' verosimile, però, che le prime risposte, elaborate da sciamani e sacerdoti, fossero basate su intuito e fantasia, piuttosto che su una interpretazione razionale dei fenomeni. In genere, l'origine del mondo, era attribuita a un atto creativo, dal nulla o da qualche sostanza primordiale, da parte di una divinità, o altro ente superiore. Questo però non significa che i popoli antichi non osservassero attentamente i fenomeni naturali e non si fossero accorti del regolare ripetersi di alcuni di essi. L'alternarsi di giorno e notte, fasi lunari, stagioni, costitui, presso tutte le civiltà, il criterio per scandire lo scorrere del tempo: il calendario egizio era basato sul ripetersi periodico, ogni 365 giorni circa, della piena del Nilo, quello babilonese, messo a punto nel III millennio a.C., e poi adottato da Greci e Ebrei, sul ciclo lunare.

Il ripetersi periodico dei fenomeni spesso si realizzava attraverso un mutamento continuo tra due situazioni diametralmente opposte, vita e morte, giorno e notte, caldo e freddo, tempesta e quiete; così, sia presso le società primitive, che presso quelle più evolute, si fece strada l'idea che tutte le cose consistessero di principi contrari e opposti, come luce e buio, caldo e freddo, maschio e femmina. La **teoria dei contrari** costituì uno dei principi cardine del pensiero delle antiche civiltà, che personificarono gli opposti nelle loro divinità: Osiride e Iside, in Egitto, Baal e Istar in Mesopotamia, Ahura Mazda e Arhiman in Persia. I Cinesi non associavano alcuna divinità ai principi contrari, *Yin* e *Yang*, che, nel mondo sensibile, costituivano ombra e luce, freddo e caldo, passività e attività, ed erano responsabili di tutte le mutazioni che stanno alla base dei fenomeni naturali, come l'alternarsi delle stagioni o del giorno e della notte¹. Infine, nel primo libro della Genesi (XIII sec. a.C.), la Creazione è descritta come separazione della materia primordiale in due sostanze contrarie, dalle quali si formavano poi tutte le cose: la luce dalle tenebre nel primo giorno, il cielo dalla terra nel secondo, la terra dalle acque nel terzo e il sole dalla luna nel quarto.

¹ M. Ciardi, *Breve Storia delle teorie della Materia*, Le Bussole, Carocci, Roma (2003) 11

L'influsso della religione si estese anche alle attività, più o meno complesse, finalizzate alla trasformazione della materia, per produrre metalli, bevande fermentate, medicinali, coloranti. Presso Babilonesi ed Egizi esse raggiunsero livelli notevoli, ma erano ritenute parte integrante delle pratiche religiose, e le relative informazioni tecniche patrimonio esclusivo delle caste sacerdotali, che le custodivano e ne limitavano la diffusione, basando su di esse il proprio potere, religioso e politico.

Invece, sin dal suo nascere, il pensiero scientifico greco risultò svincolato da qualunque religiosità o dogma teologico e da qualunque aspirazione metafisica, verosimilmente perché una religiosità imperniata su divinità da operetta, impegnate soltanto a gozzovigliare e amoreggiare senza regole, non poteva dare risposte soddisfacenti ai grandi quesiti esistenziali e cosmologici. La filosofia naturale nacque e si sviluppò in piena libertà, senza restrizioni che non fossero imposte dalla ragione o dalla realtà del mondo con il quale voleva confrontarsi². Il desiderio di elaborare una spiegazione indipendente dalla mitologia le diede un'impronta cosmologico - naturalista e il suo campo di indagine e di riflessione fu il mondo intero, la Natura in generale, considerata una forza creativa (*φύσις*), un insieme di parti che interagiscono reciprocamente per generare diversità³. Il concetto di **sostanza materiale** divenne sia il fulcro di ogni speculazione che il punto di collegamento tra le metafisiche e le idee che ciascun filosofo aveva del mondo materiale⁴.

Lo stesso ordine con il quale avevano organizzato le strutture sociali delle loro comunità portò i Greci a dare coerenza alla descrizione della Natura⁵, individuando analogie e differenze qualitative tra gli oggetti materiali e i loro molteplici mutamenti, per poi unificare in classi quelli con caratteristiche comuni.

I tentativi di formulare una spiegazione razionale dell'origine del mondo furono improntati, sin dall'inizio, a un criterio di semplicità, di stampo, diremmo oggi, riduzionista: al di sotto della sua complessità e sorprendente diversità, la Natura nasconde un ordine, articolato in termini di semplici elementi e delle loro interazioni, e, nel migliore dei casi, una ragione unificante governa la straordinaria varietà e i cambiamenti infiniti degli elementi della Natura⁶. Spinti da questa esigenza di economia mentale, i filosofi

² P. Strathern, *Mendeleev's Dream*, Penguin, London (2000) 10

³ B. Bensaude-Vincent e I. Stengers, *A History of Chemistry*, Harvard University Press (1996) 12

⁴ G. Villani, *La chiave del mondo*, CUEN, Napoli (2001) 21

⁵ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 6

⁶ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 2

greci cercarono le *cause materiali*, per spiegare perché le cose sono come sono, sulla base di ciò di cui sono fatte⁷. Partendo da ciò che era più semplice, ovvio e a portata di mano, postularono che il Tutto fosse originato dall'Uno e che il mondo intero costituisse un'unità armoniosa⁸. Formularono, perciò, il concetto di *archè*, principio primo, unico e immutabile, che costituisce tutti gli oggetti materiali; le differenze che essi mostrano sono perciò *formali* piuttosto che *sostanziali*, perché l'archè assume, caso per caso, forme e aspetti differenti, giustificando in questo modo la complessità degli oggetti materiali⁹. Essendo semplicemente forme differenti di una stessa materia, ogni sostanza poteva trasformarsi in un'altra. Nonostante ciò, il tentativo di conciliare il bisogno concettuale di semplicità con l'evidenza della molteplicità di aspetto degli oggetti materiali e dei fenomeni naturali rimase a lungo un problema irrisolto.

Il problema di identificare i componenti ultimi della materia è stato affrontato seguendo due differenti approcci, non necessariamente contrastanti; uno, strutturale, che potremmo definire *fisico*, l'altro più tipicamente *chimico*. Il primo cercava di stabilire la natura e il comportamento dei costituenti microscopici della materia su base esclusivamente speculativa, mancando qualsiasi possibilità di verifica sperimentale, almeno fino all'inizio del XX secolo. Il secondo, che non poteva prescindere dall'osservazione sperimentale, era finalizzato a individuare quanti e quali fossero i componenti elementari della materia e come la loro presenza o assenza in un corpo materiale potesse determinarne le proprietà macroscopiche.

Essendo stati spesso mescolati e confusi, i due approcci hanno dato risultati contrastanti e non conciliabili, proprio per la diversa impostazione problematica: chi cercava di chiarire le proprietà delle particelle microscopiche, cercava anche di trarne conclusioni sulle origini delle proprietà macroscopiche, mentre chi cercava di giustificare le qualità esteriori dei corpi, pretendeva di arrivare a conclusioni anche sulle caratteristiche delle particelle. Così, fino alla fine del XVIII secolo, non si riuscì a chiarire la differenza tra i concetti di atomo e elemento.

Le filosofie greche che saranno qui discusse possono classificarsi in moniste o pluraliste, in funzione del numero di principi che pongono alla base della costituzione

⁷ C. Osborne, *Presocratic Philosophy, A very short introduction*, Oxford University Press, (2004) 133

⁸ P. Walden, *J. Chem. Educ.*, 21 (1952) 386-391

⁹ A. R. Hall e M. Boas Hall, *Storia della scienza*, Il Mulino, Bologna (1991) 19

della materia, o in continue o corpuscolari, a seconda che considerino la materia un tutto continuo o discreto.

Il principio unico

Talete di Mileto (640 - 546 a.C.) fu il primo filosofo che cercò di stabilire se gli oggetti materiali potessero essere considerati manifestazioni differenti di un'unica realtà, che identificò nell'acqua, *che è in tutte le cose e alla quale tutte ritornano*¹⁰, il principio che conferiva alla materia i differenti stati fisici, visto che può assumere forma solida, liquida o di vapore. Sebbene possa apparirci primitiva e fantasiosa, l'idea dell'acqua come componente di ogni cosa dava una risposta (in qualche modo verificabile con l'osservazione) al quesito sull'esistenza di una **unità** sottostante alle **diversità** della Natura, anche se Talete non riuscì a spiegare attraverso quali meccanismi questa sostanza primordiale generasse luogo la notevole diversità degli oggetti materiali¹¹.

L'ipotesi che esistesse un componente unico della materia e che quindi le differenze tra gli oggetti materiali fossero qualitative piuttosto che quantitative, parve plausibile ai suoi contemporanei, i quali, però, cercarono di sostituire l'acqua con qualcosa che non rimandasse a una sostanza così ben caratterizzata. **Anassimandro** (~611 - 545 a.C.) propose l'**apeiron** (senza confini), indefinito e infinito, dal quale tutte le cose si generano attraverso una dissociazione di opposti, la cui armoniosa interazione ristabilisce invece l'equilibrio del mondo. **Anassimene** (585 - 528 a.C.) propose l'aria che, attraverso i processi di condensazione e rarefazione, associati a una diminuzione o un aumento di temperatura, si trasforma rispettivamente in acqua, terra e pietra, o in fuoco¹².

Eraclito di Efeso (~544 - 483 a.C.) criticò queste concezioni perchè non concepiva che l'aria potesse trasformarsi in acqua o terra senza diventare qualcosa di diverso da sé; questo avrebbe significato che aria, acqua e terra non erano fatte della stessa cosa, a meno che non si ammettesse che il principio primo, costituente unico di tutte le cose, fosse immateriale. Propose perciò il **fuoco**, dal quale è nato tutto il resto, che trasforma le sostanze ed è l'essenza di tutte le cose. Tuttavia, poiché il fuoco non è una sostanza statica, ma qualcosa di sempre mutevole, Eraclito postulò una dinamica perpetua dell'essere, ponendo alla base di tutti i fenomeni uno stato continuo di flusso (*panta rei*).

¹⁰ P. Walden, *J. Chem. Educ.*, 21 (1952) 386-391

¹¹ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 4

¹² B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 16-17

Nel mondo si realizza una armonia di tensioni opposte che, in un alternarsi di generazioni e distruzione, spingono ogni cosa verso il suo contrario; perciò l'unità del mondo risulta dalla combinazione di contrari, per produrre un movimento che è armonia¹³.

A Talete e alla sua scuola si deve l'importante nozione dell'unità dell'universo e del principio che **tutto è uno**¹⁴. Sebbene ne fosse dibattuta l'esatta natura, si era però raggiunto un accordo generale sul fatto che, qualunque cosa fosse, la sostanza prima era presente, in varie proporzioni, in tutti gli oggetti. Questa concezione, chiamata **monismo**, ebbe ampia diffusione, sia per l'innegabile fascino delle argomentazioni, che sembravano trovare riscontro nei fenomeni osservabili, sia perché, dopo la conquista di Mileto da parte dei Persiani nel 494 a.C., i filosofi di quella scuola si trasferirono ad Atene, dove le loro idee trovarono terreno fertile per svilupparsi e diffondersi.

La visione monista del mondo avrebbe potuto continuare a lungo nella sua infruttuosa ricerca di una sostanza primaria, se non fosse comparso sulla scena **Parmenide** di Elea (~520 - ~440 a.C.), un metafisico, interessato, piuttosto che alle osservazioni e all'apparenza delle cose, al processo di astrazione, attraverso il quale arrivare alla verità ultima. Fu il primo a formulare il concetto di **essere**, la faccia nascosta della Natura, ciò che esiste al di là delle qualità osservabili, e può essere concepito solo dal puro intelletto¹⁵. Poiché la mente può concepire soltanto l'essere (e non il non essere) esso solo è reale, unico (e non l'unione di contrari, che non esistono), immobile, eterno, perfettamente omogeneo. Il mondo è visto come un continuo puro, solido, completamente pieno, che non può essere diviso, perché, altrimenti, l'uno diventerebbe due o più. Perciò, non può esserci moto, perché non c'è posto vuoto nel quale spostarsi, né trasformazione, o alcunché di transiente, perché la sparizione di qualcosa creerebbe un vuoto che distruggerebbe la continuità materiale della sostanza unica e omogenea, con il porsi in essere di qualcosa prima non c'era¹⁶. Di conseguenza, i cambiamenti osservabili evidenziano la contraddizione tra logica e sensi, e solo la conoscenza razionale è vera, perché libera dalle ingannevoli apparenze dei sensi, che non forniscono altro che l'illusione del cambiamento¹⁷.

¹³ B. Russell, *Storia della Filosofia Occidentale*, TEA (1991) 57-65

¹⁴ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 356, n 14

¹⁵ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 20

¹⁶ A. C. Crombie, *The History of Science from Augustine to Galileo*, Dover Publ. Inc., N. Y., (1995) 46n

¹⁷ M. Gorman, *J. Chem. Educ.*, 37 (1960) 100-104

Questo, non solo mise in crisi le concezioni moniste, ma, rifiutando i concetti di divisibilità e discontinuità della materia e del vuoto, fornì argomenti forti per rigettare i capisaldi delle teorie atomistiche. Piuttosto che l'impossibilità del cambiamento, che è un paradosso eccessivo, i filosofi successivi hanno accolto da Parmenide l'idea che la sostanza non possa essere distrutta, cioè che esista qualcosa che non muta nel corso delle trasformazioni. Il termine sostanza non compare nei filosofi suoi contemporanei, ma il concetto è già presente nella loro speculazione, come soggetto costante di predicati variabili. Come tale, diventò, e si mantenne per oltre 2000 anni, uno dei concetti fondamentali della filosofia, della psicologia, della fisica e della teologia¹⁸.

Gli elementi

Le obiezioni di Parmenide favorirono la nascita delle visioni pluraliste della composizione della materia e di un dibattito tra monismo e pluralismo, che ha animato le indagini sulla natura del mondo materiale, macroscopico e microscopico. Malgrado l'ammirazione per la logica penetrante di Parmenide, altri pensatori non rigettarono la percezione sensoriale, ma si resero conto delle difficoltà cui andava incontro la concezione monista quando affrontava i problemi del moto, delle trasformazioni e di tutto ciò che potesse implicare disomogeneità. Cambiò così la strategia di approccio al problema: **Anassagora** di Clazomene (500 - 427 a.C.) propose non solo che la materia fosse infinitamente divisibile (sia nello spazio che nel tempo), ma che la divisione generasse un sistema costituito da infinite specie elementari, *semi*, ciascuno dei quali manteneva le proprietà dell'intero (le parti erano simili al tutto), ed era ulteriormente divisibile all'infinito¹⁹. Ogni corpo risultava dal miscuglio di tutte le materie (*omeomerie*), come ossa, legno, ferro, eccetera, ma assumeva l'aspetto (e il nome) di quella predominante. Le trasformazioni erano spiegate dalle continue unioni e separazioni dei semi, causate dalle forze centrifuga e centripeta, che si originavano dal moto rotatorio dell'universo, e erano regolate dal *Nous*, un'intelligenza guida, responsabile del loro continuo fluire, aspetto essenziale della visione della Natura della scuola ionica. Anassagora considerava il *Nous* come una sostanza che entrava nella composizione degli oggetti materiali e ne provocava una rotazione, che gradualmente si estendeva a tutto il mondo, facendo sì che gli oggetti più leggeri si spostassero verso la periferia, i più pesanti al centro.

¹⁸ G. Villani, *La chiave del mondo*, CUEN, Napoli (2001) 26

¹⁹ A. C. Crombie, *The History of Science from Augustine to Galileo*, Dover Publ. Inc., N. Y., (1995) 47n

L'idea che le parti, per quanto infinitesime, debbano essere identiche al tutto nega la possibilità che le sostanze possano trasformarsi, ed è in netto contrasto con la moderna visione della struttura della materia, che, piuttosto, può essere collegata alla filosofia di **Empedocle** di Agrigento (~492 - ~435 a.C.), che unificò le teorie pluraliste perché, per mantenere l'immutabilità dell'Essere postulata da Parmenide, era necessario rinunciare alla sua unità, sia qualitativa che quantitativa²⁰. Introdusse nella scienza greca la concezione corpuscolare, secondo la quale i corpi macroscopici sono tutti aggregati di particelle elementari, ciascuna delle quali è eterna, immutabile e senza movimenti o parti al suo interno, ed è separata dalle altre da pori (e non dal vuoto). Ogni corpo materiale può essere diviso meccanicamente molte volte, fino a quando non si separano le particelle appartenenti a quattro diverse sostanze primordiali, o radici (*rizhomata*), acqua, aria, terra e fuoco, che Platone chiamerà elementi (*stocheia*): isolati gli *stocheia*, ogni ulteriore frammentazione sarà impossibile.

Per ovviare al fatto che, dalla combinazione di appena quattro elementi non si può riprodurre l'infinita varietà dei corpi naturali, Empedocle stabilì un principio che avrebbe avuto un'influenza duratura²¹: ciascun oggetto materiale contiene tutti e quattro gli elementi, e si differenzia dagli altri per il particolare rapporto nel quale sono combina. Per Empedocle, tutti i rapporti di combinazione sono possibili e ciascuna possibilità genera un oggetto diverso. La molteplicità delle sostanze primordiali reintrodusse nel pensiero greco la possibilità, non solo del movimento, ma anche delle trasformazioni, spiegando tutti i fenomeni, fisici, naturali e biologici come una serie di aggregazioni e disgregazioni delle particelle, determinate e governate da altri due tipi di *materia*, **amore** (*Philia*) che fa combinare gli elementi e **discordia** (*Neikos*) che tende a separarli. L'amore agisce in modo casuale, mentre la discordia tende a separare le specie diverse, per ordinarle poi in quattro gruppi di particelle dello stesso tipo. Solo l'equilibrio tra di loro può generare un cosmo ordinato, ma è un equilibrio instabile, per cui il mondo è in continuo cambiamento: l'amore è leggermente più forte, ma la discordia è necessaria perché vi sia mutamento e movimento²². Questo fu il primo tentativo di spiegare combinazioni e trasformazioni in termini di un numero definito di agenti esterni e anticipò il

²⁰ G. Villani, *La chiave del mondo*, CUEN, Napoli (2001) 27-28

²¹ M. Gorman, *J. Chem. Educ.*, 37 (1960) 100-104

²² A. R. Hall e M. Boas Hall, *Storia della scienza*, Il Mulino, Bologna (1991) 23

concetto ottocentesco di affinità, anche se Empedocle attribuiva ad amore e odio la stessa consistenza materiale degli elementi.

Sebbene il suo concetto di *elemento* sia più vicino a quello di stato di aggregazione che di individuo chimico, esso costituisce quanto di più simile alle moderne concezioni sia stato prodotto dalla filosofia greca. Variamente rielaborata, la teoria dei quattro elementi dominò il pensiero chimico greco, arabo ed europeo, fino al 1700, sebbene mostrasse, nella sua totalità, alcuni punti deboli: per esempio, non spiegava perché quattro e non più elementi, e come, avendo essi una natura definita, e mantenendosi inalterati nel corso delle separazioni, potessero produrre qualcosa di diverso²³. D'altro canto, va notato come Empedocle, e più tardi Leucippo e Democrito, abbiano cercato di individuare le cause delle trasformazioni degli oggetti materiali, formulando un'ipotesi sulla composizione della materia che fosse, non solo razionale, ma anche in sintonia con l'osservazione dei fenomeni naturali.

Anche le culture orientali svilupparono concezioni pluraliste della Natura: i Cinesi individuarono cinque elementi (legno, metallo, acqua, terra e fuoco), gli Indiani nove, cinque materiali (acqua, terra, fuoco, aria, etere) e quattro immateriali (tempo, spazio, anima, senso), costituiti da atomi indivisibili e diversi per ciascuna sostanza, dal cui raggruppamento si originavano i vari composti.

L'atomismo

Il dibattito secolare intorno all'unicità o alla molteplicità dei componenti della materia, aveva consentito ai filosofi greci di raggiungere un'elevata maturità intellettuale, ma, per progredire, occorreva un nuovo salto concettuale che fondesse i due approcci. Verso la fine del VI secolo, indipendentemente da monismo e pluralismo, **Pitagora** di Samo (~570 - ~496 a.C.) sviluppò una filosofia che solo successivamente entrò in relazione con le due precedenti visioni della composizione della materia²⁴: il principio di tutte le cose, l'*archè*, andava cercato nei numeri interi, intesi come punti geometrici, raffigurabili spazialmente, unità di esistenza aventi consistenza fisica, le cui combinazioni, secondo precise figure geometriche, determinavano le caratteristiche dei corpi materiali²⁵. Con Pitagora, nacquero le dimostrazioni e i ragionamenti deduttivi della ma-

²³ M. Gorman, *J. Chem. Educ.*, 37 (1960) 100-104

²⁴ G. Villani, *La chiave del mondo*, CUEN, Napoli (2001) 29

²⁵ A. C. Crombie, *The History of Science from Augustine to Galileo*, Dover Publ. Inc., N. Y., (1995) 47n

tematica, che in lui era strettamente connessa al misticismo. Separò il numero dalla cosa numerata, la figura geometrica dalla cosa figurata, elevando numeri e figure alla dignità di enti astratti, oggetti puramente intellettuali, considerati in se stessi, nei loro possibili rapporti²⁶. La realtà è il risultato del modo in cui i numeri si strutturano tra di loro: l'uno è il punto, il due la linea, il tre la superficie, il quattro il solido, e le leggi che regolano la composizione dei numeri sono le stesse che governano la formazione degli oggetti reali²⁷.

Ma la questione filosofica riguardante la composizione della materia raggiunse in Grecia l'apice del suo sviluppo con la formulazione della prima teoria corpuscolare coerente da parte di due filosofi, **Leucippo**, il maestro, e **Democrito** di Abdera (460 - 370 a.C.), l'allievo, nel tentativo di mediare tra la dottrina monista di Parmenide e quella pluralista di Empedocle. Essa derivava dai pitagorici la convinzione che la mutevolezza del mondo fisico potesse esprimersi in termini matematici, dagli eleatici i concetti di *essere* e *non essere*, identificati con il pieno e con il vuoto, del quale fu dimostrata l'esistenza²⁸. Sebbene poco enfatizzata, in Leucippo e Democrito sopravvive la nozione di elemento: essi ne postulano due, i corpuscoli ed il vuoto (corrispondenti all'essere e al non essere), inseparabili e pienamente integrati l'uno con l'altro²⁹. L'essere, che per Parmenide era pieno, indivisibile, inalterabile, senza qualità rivelabili con i sensi, non generato e incorruttibile, per gli atomisti consisteva anche di una pluralità di enti, fatti della stessa sostanza, ma diversi tra loro per forma e grandezza, e, in contrasto con gli eleatici, in uno stato di movimento perenne, che poteva essere concepito solo accettando la realtà del vuoto, il non essere³⁰.

L'originalità della filosofia di Leucippo-Democrito si basava su due assunti fondamentali: il primo era l'accettazione dell'esistenza dello spazio, che contiene in sé sia gli oggetti stazionari che quelli in movimento, e perciò può essere sia pieno che completamente vuoto. Il secondo fu l'aver stabilito che la frantumazione degli oggetti macroscopici deve avere un limite che si raggiunge quando si separano i componenti ultimi della materia, particelle estremamente piccole, solide, compatte, non ulteriormente divisibili, e perciò chiamate *atomi* (indivisibili). E' verosimile che Leucippo si sia ispirato

²⁶ G. Villani, *La chiave del mondo*, CUEN, Napoli (2001) 29

²⁷ M. Ciardi, *Breve Storia delle Teorie della Materia*, Le Bussole, Carocci, Roma (2003) 15

²⁸ F. Abbri, *L'atomo fino al XVIII secolo*, in *Molecole*, Tessere, CUEN, Napoli (2001) 43

²⁹ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 32

³⁰ L'atomo e l'antichità, <http://www.quipo.it/atomi/numero2/modelli/index.htm>

alla concezione, elaborata da **Zenone** di Elea, del mondo materiale come insieme continuo di punti indivisibili, infiniti e non separabili³¹.

In accordo con la concezione di Parmenide, gli atomi erano f non creati, eterni e immutabili, atti di un'unica sostanza, e ciascuno di essi costituiva un continuo omogeneo (cioè privo di spazi vuoti, e, quindi moti all'interno); essi, tuttavia, erano in numero infinito e avevano infinite forme e dimensioni, per cui era garantita la pluralità degli enti³². Così, a livello qualitativo, era mantenuta l'unicità dell'essere, cui si era dovuto rinunciare a livello quantitativo, e fu rivalutato il concetto di infinito, che i Greci avevano sempre considerato sinonimo di incompiutezza, imperfezione e mancanza di forma³³.

Gli atomi si differenziavano l'uno dall'altro per tre caratteristiche geometriche, **forma** (alcuni erano lisci e sferici, altri aguzzi e scabrosi, altri ricurvi o uncinati), **contatto** (l'ordine in cui erano disposti), e **direzione** (la posizione in cui si trovavano), cui si devono aggiungere dimensione e peso, anche se quest'ultimo era assente nella formulazione originale di Leucippo, e non si sa se sia stato introdotto da Democrito o, più tardi, da Epicuro. In una sorta di anticipazione della moderna **teoria cinetica**, erano dotati di un moto vorticoso, intrinseco e continuo, regolato da una precisa legge naturale, e non dal caso, come fu a lungo e ingiustamente rimproverato agli atomisti³⁴. A causa di questo moto continuo, gli atomi potevano urtarsi casualmente, rimbalzando e separandosi inalterati nella direzione imposta loro dal fato, ma, se avevano forma, dimensione, direzione e contatto congruenti, potevano rimanere **allacciati**, dando luogo ad aggregati sempre più grandi, fino a costituire gli svariati corpi macroscopici, percepibili dai nostri sensi. L'effetto degli urti era soltanto quello di favorire l'unione degli atomi in aggregati sempre più grandi o di decomporre gli aggregati in parti sempre più piccole. Quanto più le forme degli atomi si adattavano l'una all'altra, tanto più l'aggregato risultante era duro e resistente agli urti con altri atomi, che tendevano a disgregarlo.

Per Democrito le trasformazioni chimiche erano assolutamente reali e non inganni dei sensi, e consistevano nella separazione meccanica degli atomi e nella loro successiva riunione in uno schema differente³⁵, senza che in questo processo essi subissero alterazioni, opponendo, al concetto qualitativo di generazione, una concezione combina-

³¹ M. Ciardi, *Breve Storia delle Teorie della Materia*, Le Bussole, Carocci, Roma (2003) 17

³² M. Gorman, *J. Chem. Educ.*, 37 (1960) 100-104

³³ L'atomo e l'antichità, <http://www.quipo.it/atosi/numero2/modelli/index.htm>

³⁴ B. Russell, *Storia della Filosofia Occidentale*, TEA (1991) 84

³⁵ F. Abbri, *L'atomo fino al XVIII secolo*, in *Molecole*, Tessere, CUEN, Napoli (2001) 43

toria³⁶. Inoltre, essendo composte da miscugli di atomi, le sostanze reali possono trasformarsi l'una nell'altra, semplicemente variando i rapporti dei loro componenti. Il postulato che, a seguito del processo di aggregazione, gli atomi inalterabili non perdono la loro identità è estremamente importante dal punto di vista chimico, ma rende inconcepibili le molecole, come oggi noi le intendiamo, perchè nega che, nel corso di una reazione, possa formarsi una nuova entità, quale che sia. Questa concezione, che non spiega come l'aggregazione degli atomi possa produrre composti con proprietà diverse da quelle dei loro costituenti³⁷, fu criticata da Aristotele, e rigettata da Galeno.

Come tutte le teorie corpuscolari, l'ipotesi atomica dovette affrontare il nodo della natura dei corpuscoli e delle loro relazioni con i differenti aspetti dei corpi macroscopici. Democrito sosteneva che alcune qualità convenzionali o **secondarie**, come calore, gusto, colore, non corrispondono a niente di reale, perchè non sono in realtà nell'oggetto, ma sono dovute ai nostri organi di senso: invece, qualità come peso, densità e durezza, poi chiamate vere o **primarie**, esistono realmente nell'oggetto³⁸ e dipendono non da quali atomi lo costituiscono, ma dalla maniera nella quale sono disposti. Trasferendo la sede delle diverse qualità sensoriali dai componenti elementari alla loro disposizione, ci si affranca dalla necessità di stabilire una relazione tra le proprietà degli oggetti macroscopici e quelle delle particelle elementari, che non dovevano più essere infinitamente differenziate, per spiegare i differenti aspetti della Natura.

L'atomo, dunque, nacque sul terreno specifico della speculazione filosofica, in particolare in relazione al rapporto tra razionale e sensibile: l'idea che esista una sorta di continuità tra la tradizione atomistica greca e quella moderna può essere giustificata dal mantenersi di alcuni concetti, ma non deve nascondere quali variazioni abbiano subito questi concetti, al variare dei contesti filosofico scientifici, nei diversi periodi storici³⁹.

Il rifiuto dell'atomismo

Nonostante Democrito godesse di grande reputazione intellettuale, la sua ipotesi sulla composizione della materia non fu accettata da tutti, soprattutto perchè un movimento degli atomi che non perseguisse finalità superiori la rendeva intrinsecamente laica. Infatti, mentre gli atomisti studiarono i fenomeni naturali in chiave **meccanicisti-**

³⁶ B. Bensaude-Vincent e I. Stengers, *A History of Chemistry*, Harvard University Press (1996) 12

³⁷ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 33

³⁸ B. Russell, *Storia della Filosofia Occidentale*, TEA (1991) 89

³⁹ F. Abbri, *L'atomo fino al XVIII secolo*, in *Molecole*, Tessere, CUEN, Napoli (2001) 42

ca, cercando di stabilire quali precedenti circostanze li avessero causato, i loro contemporanei preferirono usare una chiave di lettura *teleologica*, che stabilisse per quale scopo ciascun fatto fosse avvenuto, e così spinsero la Scienza in un vicolo cieco⁴⁰.

Le filosofie post-democritee diedero enfasi all'uomo, inteso come unità morale, logica, culturale e politica, piuttosto che alla Natura, mostrando scetticismo nei confronti di molti concetti tradizionali, compresa la validità della percezione sensoriale⁴¹. Piuttosto che di acquisire nuove conoscenze, i *sofisti* si preoccuparono dei meccanismi attraverso i quali si realizza la conoscenza. Il rifiuto del materialismo degli atomisti toccò il suo apice con l'enfasi etica di **Socrate** (470-399 a.C.), che respinse il metodo induttivo - sperimentale come strumento per giungere alla verità, convinto che la costituzione essenziale della Natura potesse essere compresa solo per deduzione, attraverso la riflessione intellettuale.

Platone (428 - 348 a.C.)

Discepolo di Socrate, formulò una teoria originale sulla struttura interna della materia, fondendo le dottrine di Eraclito, Parmenide, Empedocle e, soprattutto l'idea *pitagorica* che i numeri avessero una consistenza materiale, e costituissero i principi fisici delle cose, con alcuni concetti generali, che formavano la base della sua filosofia naturale. Mentre Democrito era arrivato al concetto di atomo applicando la matematica (e il concetto di divisibilità) alla Natura, Platone era interessato ad applicare la matematica a se stessa⁴². Animato da una visione idealista, non era contrario a una spiegazione fisica del mondo, purché si rimuovesse ogni traccia di ateismo, subordinando le leggi naturali all'autorità degli dei: la materia è eterna e Dio non crea il mondo, ma lo plasma da questo sistema primordiale preesistente.

Credeva che ogni cosa potesse essere compresa con uno sforzo puramente intellettuale e, come tale, la teoria dei quattro elementi di Empedocle, che egli riporta nel *Ti-meo*, offriva un quadro chiaro e logico. Ognuno dei quattro elementi partecipa pienamente alla composizione del mondo, anche se Platone assegna un ruolo speciale a fuoco e terra, che Dio ha utilizzato per formare l'Universo; all'inizio, gli elementi possedeva-

⁴⁰ B. Russell, *Storia della Filosofia Occidentale*, TEA (1991) 84

⁴¹ M. Gorman, *J. Chem. Educ.*, 37 (1960) 100-104

⁴² P. Strathern, *Mendeleev's Dream*, Penguin, London (2000) 24

no tracce della loro essenza, ma erano in uno stato di completo disordine, dal quale Dio li trasse, dando loro una distinta configurazione, per mezzo delle idee e dei numeri⁴³.

I quattro elementi, ciascuno dei quali è formalmente rappresentato da un numero, stanno tra di loro in proporzione continua, cioè il fuoco sta all'aria, come l'aria sta all'acqua e l'acqua sta alla terra; essi non sono sostanze, ma, piuttosto, modi di essere della sostanza⁴⁴. Nel suo sistematico processo di geometrizzazione del mondo, Platone attribuì una struttura corpuscolare alla materia e racchiuse l'essenza delle particelle elementari entro le loro superfici, che così diventarono il loro attributo primario. Riprendendo un'idea del pitagorico **Filolao di Taranto**, attribuì le differenze tra gli elementi al loro aspetto esteriore, piuttosto che a proprietà intrinseche, come il peso. Le particelle non erano altro che superfici, che racchiudevano volumi, ma non è ben chiaro se questi volumi contenessero il vuoto (del quale non ammetteva l'esistenza) o qualche forma di materia primordiale. Le caratteristiche specifiche di ciascun elemento dipendevano dalle forme ideali delle loro rispettive particelle, corrispondenti a quattro dei cinque poliedri regolari: gli atomi di fuoco sono tetraedri dai vertici acuminati, grazie ai quali possono penetrare gli oggetti, quelli di acqua hanno la forma di un icosaedro (il più simile a una sfera), che ne spiega la fluidità, quelli di aria sono ottaedrici e quelli di terra cubici; il quinto poliedro, il dodecaedro, servì a Dio per completare il disegno dell'Universo.

Le forme possibili delle particelle erano soggette alla rigida restrizione che le loro superfici esterne fossero costituite da due mattoni fondamentali, un triangolo rettangolo isoscele (α), ottenuto dimezzando un quadrato, e un triangolo rettangolo scaleno (β), ottenuto dimezzando un triangolo equilatero, così che l'ipotenusa fosse il doppio del lato più piccolo. Con due triangoli di tipo β , si ottiene un triangolo equilatero, che può costituire la faccia di un tetraedro, di un ottaedro o un icosaedro, mentre con due triangoli di tipo α si può costruire un quadrato, che costituisce la faccia di un cubo. Essendo formate tutte da triangoli isosceli, le particelle di terra sono completamente diverse da quella degli altri elementi; queste ultime, invece, essendo formate da triangoli scaleni, possono facilmente convertirsi le une nelle altre, pur mantenendo salva l'unicità degli elementi di base, laddove la teoria di Empedocle proibiva la trasmutazione delle radici⁴⁵. Così, le particelle elementari perdono l'immutabilità e l'indistruttibilità degli

⁴³ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 51

⁴⁴ B. Russell, *Storia della Filosofia Occidentale*, TEA (1991) 156-7

⁴⁵ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 359 n 7

atomi di Democrito, e, nelle opportune condizioni, i materiali possono essere cambiati gli uni negli altri. Infine, poiché il numero dei triangoli possibili poteva essere espanso all'infinito, variandone le dimensioni, non la forma, si poteva giustificare la moltitudine dei corpi materiali.

Platone cercò di conciliare le visioni moniste con quelle pluraliste seguendo un doppio approccio: uno atomistico, ponendo l'unità della materia, i poliedri (mattoni intercambiabili per costruire gli oggetti materiali) a un livello più elementare delle quattro radici, uno meccanicistico, cercando di collegare il mondo delle idee con quello sensibile, attraverso la matematizzazione della Natura⁴⁶. Fino a lui, gli sforzi dei filosofi greci si erano concentrati sul tentativo di formulare e rifinire una teoria che garantisse la persistenza dell'identità dei principi primi attraverso i vari cambiamenti. Con l'evolvere delle dottrine filosofiche, questa identità, che costituiva l'essere o la *sostanza* degli oggetti materiali, fu convertita da qualcosa di materiale in un'essenza intangibile. Per Platone, questa essenza era l'idea universale o *forma*, che egli sosteneva esistesse in un luogo differente dagli oggetti fisici e costituisse l'obiettivo delle loro aspirazioni, il termine ideale da cui erano attratti. Il cambiamento, o *divenire*, era un processo attraverso il quale si producevano nello spazio e nel tempo copie sensibili di queste forme eterne⁴⁷, e la causa dei fenomeni non va cercata in un processo meccanico che spinge gli oggetti materiali, ma in uno scopo finale che li attrae a sé.

Aristotele (384 - 323 a.C.)

Allievo di Platone, rigettò decisamente questa separazione tra mondo reale e mondo ideale; invece, la sua concezione della Natura poggiava su un legame indissolubile tra materia (*hyle*) e forma (*eidos*), che costituiscono i due principi dell'essere, non possono esistere indipendentemente l'uno dall'altro, così che ogni oggetto è il prodotto della loro combinazione. Con il termine forma, Aristotele indica le specifiche proprietà che definiscono un oggetto o essere, e ne fanno ciò che esso è⁴⁸. Per lui, non esiste il vuoto, che interromperebbe la continuità della materia, costituita da una sostanza unica, *prote hyle*, nella quale sono già impresse le forme caratteristiche dei diversi corpi materiali, e divisibile all'infinito.

⁴⁶ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 55

⁴⁷ A. C. Crombie, *The History of Science from Augustine to Galileo*, Dover Publ. Inc., N. Y., (1995) 48n

⁴⁸ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 55

A differenza degli atomisti, ritiene che noi percepiamo il mondo esattamente come esso è, attraverso le qualità, che sono proprietà intrinseche dei diversi corpi: un oggetto rosso è rosso, un cibo dolce è dolce. Le qualità hanno dunque un ruolo primario, non solo nella nostra percezione del mondo, ma anche nella attualizzazione delle forme, a partire dalla potenzialità della materia⁴⁹. I principi ultimi non sono le quattro sostanze primordiali di Empedocle o Platone, ma quattro **qualità primordiali**, cui possono ridursi tutte le altre qualità osservabili. Esse sono divise in due coppie di opposti, caldo opposto a freddo (qualità attive) e secco opposto a umido (qualità passive), e agiscono sulla materia primordiale, due alla volta, mai insieme quelle opposte, per formare da essa i quattro elementi, secondo le seguenti combinazioni: il fuoco è secco e caldo, l'aria calda e umida, l'acqua fredda e umida, la terra fredda e secca. Le qualità consentono di riconoscere gli elementi: riconosciamo l'acqua perché è umida.

Per Aristotele, gli elementi non rappresentano sostanze specifiche, ma le più ampie caratteristiche di certi **tipi** di composti più generali: sia l'acqua di fiume che il piombo fuso sono manifestazioni dell'elemento acqua, che rappresenta ciò che scorre⁵⁰. Ogni oggetto materiale è una combinazione di qualità e del substrato al quale esse sono applicate, e la sua identità risulta dalla particolare combinazione di materia e forma che l'ha generato. Le sostanze reali possono essere differenziate in base alle loro proprietà osservabili (o secondarie), come colore, viscosità, durezza, densità, a loro volta determinate da quali elementi e in che proporzione entrano nella loro composizione. Mentre gli elementi di Empedocle erano immutabili, per Aristotele, consistendo soltanto di materia prima, ogni elemento può trasformarsi in un altro, semplicemente cambiando una delle due qualità nel suo contrario⁵¹.

Di conseguenza, le trasformazioni possono essere spiegate come sostituzione di una qualità con un'altra⁵² o come una variazione nei loro rapporti: per esempio, l'acqua, fredda e umida, si può trasformare in aria, calda e umida, semplicemente sostituendo il freddo con il caldo, cioè scaldandola, e questo mette in relazione gli elementi anche con i passaggi di stato. Accanto a queste, esiste, però, una vasta maggioranza di trasformazioni (reazioni chimiche), nelle quali cambia la composizione dei corpi macroscopici; pur coinvolgendo separazioni e ricombinazioni di elementi, esse non possono essere ri-

⁴⁹ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 62

⁵⁰ P. Ball, *The Ingredients*, Oxford University Press, Oxford, (2002) 15

⁵¹ A. C. Crombie, *The History of Science from Augustine to Galileo*, Dover Publ. Inc., N. Y., (1995) 141

⁵² P. Ball, *The Ingredients*, Oxford University Press, Oxford, (2002) 9

dotte alla semplice permutazione di quattro componenti. Distingue, perciò, tra *synthesis*, semplice miscela meccanica di corpi diversi (come semi di grano e orzo), nella quale non si origina nessuna nuova forma sostanziale perchè ciascun componente mantiene la propria identità, e *mixis*, composizione omogenea di corpi solidi per formare un corpo nuovo (composto chimico). In questo caso, le qualità simili dei reattivi si combinano tra di loro (caldo con caldo, ecc.), quelle opposte si annullano: se si raggiunge un opportuno bilanciamento tra le qualità opposte, si ottiene una nuova combinazione di qualità ed elementi (*mixtio*), somma di quelli delle sostanze di partenza.

Per molti secoli, il punto cruciale nella disputa tra atomisti ed aristotelici rimase la questione dell'esistenza *reale* o soltanto *potenziale* dei costituenti in un composto: partendo dall'assioma dell'immutabilità degli atomi, gli atomisti ritenevano che i composti si formassero dalla loro semplice giustapposizione, senza che si creasse qualcosa di completamente nuovo. Invece, nel *De Generatione et Corruptione*, Aristotele sostiene che i componenti di una *mixis*, agendo l'uno sull'altro, perdono completamente la propria forma sostanziale, cessano di esistere come entità distinte, subendo una unificazione (*henosis*), per produrre uno stato di assoluta omogeneità; si ottiene un prodotto *omeomero*, identico in tutte le sue parti, così che neanche il mitico Linceo, dalla vista acutissima, potrebbe notare disomogeneità tra le particelle costituenti⁵³. I componenti rimangono, però, potenzialmente rigenerabili⁵⁴, in quanto la loro *dynamis* si mantiene nel composto, in modo che le sue proprietà riflettano quelle degli elementi costituenti⁵⁵.

La questione rimase a lungo irrisolta e, ancora alla fine del XIX secolo, per molti antiatomisti costituiva il tallone d'Achille della teoria atomica. Infatti, mentre è relativamente facile decomporre la materia in atomi, è sicuramente molto più difficile, eseguire l'operazione inversa⁵⁶. La concezione aristotelica delle trasformazioni della materia fornì un supporto teorico alla trasmutazione, che andava eseguita privando i metalli di qualche attributo, o anche di tutti gli attributi, fino a ridurli a materia prima, e poi dando loro gli attributi dell'oro⁵⁷. Tutto ciò implica la negazione di qualsiasi composizione definita delle sostanze e quindi della possibilità che esse reagiscano secondo un qualunque rapporto.

⁵³ W. R. Newman, *Atomos and Alchemy*, The University of Chicago Press (2006) 28-30

⁵⁴ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 63

⁵⁵ B. Bensaude-Vincent e I. Stengers, *A History of Chemistry*, Harvard University Press (1996) 29

⁵⁶ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 64

⁵⁷ A. C. Crombie, *The History of Science from Augustine to Galileo*, Dover Publ. Inc., N. Y., (1995) 142

Aristotele ebbe con le concezioni particellari rapporti, in qualche modo, contraddittori: certamente, rigettò l'ipotesi atomica, che riteneva filosoficamente inaccettabile, perché i suoi presupposti meccanicistici mal si conciliavano con la propria visione teleologica, tesa a individuare le *finalità* alle quali tendono tutti i corpi naturali. In secondo luogo, Aristotele credeva nella continuità, mentre gli atomi che si muovono nel vuoto introducono discontinuità fisiche: nel vuoto non c'era alcun luogo naturale, e poiché gli oggetti tendono spontaneamente verso il proprio luogo naturale, non poteva esserci movimento⁵⁸.

Alcune critiche, che, nel quarto capitolo del primo libro della Fisica, muove ad Anassagora circa la divisibilità della materia all'infinito, hanno portato qualcuno a credere che Aristotele abbia sviluppato una propria teoria corpuscolare, che comunque fu ampliata molto più tardi dai suoi commentatori, soprattutto Alberto Magno e Tommaso d'Aquino: un corpo naturale non può essere diviso all'infinito, altrimenti sarebbe convertito in qualcos'altro. Le più piccole parti di materia che si ottengono, i *minima naturalia*, sono eguali ai corpi macroscopici da cui provengono e differiscono dagli atomi di Democrito perché non sono né immutabili, né indivisibili⁵⁹. I limiti posti alla divisibilità della materia erano pratici, tesi a garantire che si conservassero le qualità dei corpi materiali: oltre questi limiti, la materia cessava semplicemente di essere ciò che era. Per questo, la concezione di Aristotele può essere definita *pseudo atomismo qualitativo*, in opposizione all'atomismo quantitativo di Democrito⁶⁰. Sebbene non avesse una rilevanza apprezzabile nel suo sistema filosofico, questa visione della materia fu accolta dalla schiera dei suoi commentatori più tardi e gradualmente elaborata nella teoria medievale dei minima, che rappresentò una sorta di teoria corpuscolare⁶¹. Infine, nel trattato *Meteteorologica*, Aristotele espose una teoria conflittuale della materia, che ebbe molto successo tra Ellenisti e Arabi: rifacendosi all'esperienza comune che il riscaldamento trasforma le sostanze in nuovi materiali, giunse, per induzione logica, alla conclusione che il calore del sole genera sulla terra due *esalazioni*, una secca, calda e fumosa, l'altra umida e fredda, che agiscono nelle viscere della terra: la prima forma i minerali, come

⁵⁸ G. Villani, *La chiave del mondo*, CUEN, Napoli (2001) 42

⁵⁹ T. H. Levere, *Transforming Matter*, The John Hopkins University Press, Baltimore (2001) 15

⁶⁰ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 67

⁶¹ D. R. Oldroyd, *J. Chem. Educ.*, 50 (1973) 450-4

ocra, zolfo, orpimento, la seconda i metalli⁶². Avendo molte caratteristiche comuni, i metalli differivano non per *tipi* ma soltanto per *gradi di maturazione*.

Aristotele sviluppò una visione della Natura che tendeva a rivalutare il ruolo dei sensi nel processo della conoscenza: partendo dall'attenta osservazione dei fenomeni naturali, applicava la logica induttiva, sicuramente più adatta alla loro comprensione, e questo probabilmente, unito alla sua istintiva tendenza a ridurre le questioni cosmiche in termini maneggiabili⁶³, contribuì a far accettare le sue idee nei secoli successivi. Ma molto più determinante, in questo senso, fu l'aspetto teologico della sua filosofia naturale: concepiva un universo ordinato, logico, ma anche teso al conseguimento di una finalità, secondo un piano divino. La forma e la composizione degli oggetti avevano uno scopo ben preciso e tutti gli oggetti, non solo vivevano e crescevano sulla terra e dentro di essa, ma avevano un'anima. Poiché era in armonia con il pensiero ebraico e, più tardi, con quelli cristiano e islamico, nei secoli successivi, le religioni monoteiste supportarono questo approccio, accrescendo l'autorità di Aristotele, e includendone il pensiero nella cultura e nel linguaggio medioevale.

Epicuro

Alla fine del IV secolo a.C., sia per l'impulso di Aristotele che per le mutate condizioni sociali, il pensiero si rivolse, dall'idealismo platonico, a quella concretezza tipica dell'indagine scientifica, in cerca di risultati alla portata dell'uomo comune, fornendogli, al tempo stesso, un codice di moralità personale e individuale⁶⁴. Tali esigenze furono soddisfatte da Epicuro, che combinò l'atomismo con il moralismo etico - religioso, rovesciò lo scetticismo dei sofisti, ripristinando la validità dei sensi, ed elevò la Natura sopra la ragione. Poiché riteneva che la teoria atomica potesse portare a una conoscenza approfondita della Natura, la rielaborò, per adattarla ai requisiti della sua filosofia morale. Attribuì agli atomi una qualità che Democrito non aveva considerato, il peso, che ne causava la continua caduta verso il basso, in senso assoluto, a velocità costante, in direzioni parallele. La legge naturale, che imponeva agli atomi di muoversi lungo una traiettoria verticale, non era assoluta, ma, occasionalmente, poteva essere elusa, grazie a una sorta di libero arbitrio di cui godevano gli atomi, che consentiva loro di

⁶² D. R. Oldroyd, *J. Chem. Educ.*, 50 (1973) 450-4

⁶³ P. Ball, *The Ingredients*, Oxford University Press, Oxford, (2002) 19

⁶⁴ M. Gorman, *J. Chem. Educ.*, 37 (1960) 100-104

effettuare improvvise deviazioni (*clinamen*) che li portavano a collidere e, quindi, a formare aggregati più grossi⁶⁵.

I più accesi oppositori dell'atomismo epicureo furono gli Stoici, che postularono un Universo duale, costituito da due principi materiali, dotati di esistenza indipendente, e indistruttibili: la *materia*, passiva, priva di qualità e continua, e il *pneuma*, attivo, che rappresentava il soffio vitale, l'anima del mondo. Il principio attivo permeava quello passivo, non come una miscela meccanica, e neppure formando una nuova sostanza, ma nel senso letterale di penetrazione assoluta, nel corso della quale la materia primordiale poteva assumere una delle quattro qualità primarie, trasformandosi in uno dei quattro elementi, che perciò consistono della materia primordiale più una delle qualità⁶⁶. Mentre, per Aristotele, la materia prima non era una sostanza in senso stretto, ma un astratto principio metafisico che solo con la mente poteva essere distinto dalla forma, gli Stoici, con la loro concretezza, le ridiedero il carattere sostanziale che le avevano attribuito i filosofi presocratici, e consideravano le stesse qualità come cose materiali, che potevano essere aggiunte alla materia primitiva, o eliminate dalle sostanze già formate⁶⁷.

L'aspetto morale dell'epicureismo ebbe ampia diffusione, anche in epoca cristiana, perché esprimeva un senso comune che attraeva l'uomo medio; invece, anche a causa di queste critiche, l'atomismo rimase sempre sullo sfondo, accettato solo da pochi intellettuali. Tra questi, il poeta latino **Tito Lucrezio Caro** (~99 - ~55 a.C.), che lo descrisse, con eloquenza poetica entusiasta, rappresentando gli atomi come attori sul palcoscenico del vuoto infinito, nel poema *De rerum natura*, che costituì la principale fonte di informazioni sulle teorie atomiche greche, favorendone la diffusione nel mondo latino e poi in Europa, in età rinascimentale. Nonostante il successo iniziale, la filosofia epicurea dovette soccombere sotto i colpi di platonici, aristotelici, stoici, cristiani ed ebrei che ne contestavano la dottrina materialista e antiteologica; nel V secolo d.C., esso era ridotto a un cumulo di macerie, al fondo del quale giaceva la teoria atomica, che l'autorevolissimo **Galeno** (130 - 210 d.C.) aveva espulso dalla medicina, perché riteneva inadeguata la sua spiegazione meccanicistica di una macchina meravigliosa come il corpo umano⁶⁸.

⁶⁵ B. Russell, *Storia della Filosofia Occidentale*, TEA (1991) 250

⁶⁶ G. Villani, *La chiave del mondo*, CUEN, Napoli (2001) 43

⁶⁷ G. Villani, *La chiave del mondo*, CUEN, Napoli (2001) 84

⁶⁸ M. Gorman, *J. Chem. Educ.*, 37 (1960) 100-104

Gli alchimisti

Al contrario, le teorie aristoteliche sulla composizione della materia furono accettate per circa duemila anni, ispirando e incoraggiando la pratica alchemica, pur subendo modificazioni sempre più sostanziali, per accordarsi meglio con i risultati sperimentali. In particolare, gli alchimisti alessandrini ripresero ed elaborarono le ipotesi sulla formazione dei metalli che si originano dalla corruzione e morte di altri metalli, e, come le piante, ma più lentamente, crescono nel sottosuolo. Sebbene diversificate nelle procedure e nei riti magici di contorno, le tecniche per preparare l'oro erano caratterizzate da un nucleo centrale comune: il metallo vile doveva essere sottoposto a energico riscaldamento, per ucciderlo, cioè privarlo delle qualità e ridurlo a materia prima. Poi, si aggiungeva al residuo un seme, il quale, per riscaldamento continuo, era incoraggiato a crescere, alimentandosi nella materia prima, fino a giungere, a piena maturazione, alla perfezione dell'oro, in una sorta di resurrezione⁶⁹.

Proprio perché, rispetto ai filosofi greci, avevano una maggiore familiarità con la materia e le sue trasformazioni e migliori conoscenze delle proprietà delle sostanze, gli alchimisti accentuarono la materialità dei principi aristotelici, associando forme impure, accessibili ai sensi, alle **essenze filosofiche** o **spiriti**: l'esalazione calda, secca, fumosa fu identificata con un **principio combustibile**, corrispondente allo zolfo, quella fredda e umida a un **principio condensabile**, corrispondente al mercurio. Mentre però le esalazioni di Aristotele agivano sui quattro elementi per formare minerali e metalli, per gli alchimisti era il loro differente contenuto in zolfo e mercurio a differenziare i metalli l'uno dall'altro. Essi erano stati scelti come principi per le loro caratteristiche chimiche: la natura liquida del mercurio, considerato il metallo per eccellenza, faceva pensare che nella sua composizione entrasse solo una quantità minima di terra, mentre lo zolfo, oltre a essere giallo come l'oro, possedeva la proprietà di bruciare. L'ipotesi che i metalli fossero composti da zolfo era inoltre giustificata dal fatto che molti di essi sono ottenuti arroventando all'aria i loro solfuri naturali; nel corso di questo processo, si sprigiona un odore identico a quello dello zolfo bruciato (si libera SO₂ gassosa). Alla fine del periodo alessandrino, con il crescere della componente mistica, lo zolfo fu identificato con l'anima ed il mercurio con l'intelligenza del metallo.

⁶⁹ T. H. Levere, *Transforming Matter*, The John Hopkins University Press, Baltimore (2001) 8

Gli Arabi

Quando, nel 481, l'imperatore Zenone chiuse la scuola di Edessa, tenuta dai monaci nestoriani, i più colti di essi si trasferirono in Persia, dove continuarono il loro lavoro, subendo l'influsso del pensiero e della religione persiana, e poi trasmettendo agli Arabi il pensiero filosofico dei Greci; gli Arabi accettarono le teorie di Aristotele, non ultime quelle naturalistiche, più vicine ai loro interessi, di carattere prevalentemente empirico. Ritenevano che tutti i materiali avessero *nature* (calore, freddo e secchezza) e che compito dell'alchimista fosse isolare le nature pure, determinare in quale rapporto erano presenti nelle sostanze, e ricombinarle nel rapporto corretto, per ottenere il prodotto voluto. Sotto l'influsso degli sciamani cinesi, diedero enfasi al concetto di *medicina*, o elisir, che doveva aiutare a realizzare la corretta proporzione dei principi. All'elisir, che gli Europei avrebbero chiamato *pietra filosofale*, attribuivano tali proprietà, che presto si convinsero che potesse curare le malattie e, infine, vincere la morte.

Jabir ibn Hayyan, noto con il nome latino di **Geber** (~760 - ~815), oltre che numerosi elementi magici, introdusse alcune importanti modifiche nelle concezioni di Aristotele, basandosi sulla sua esperienza di alchimista: i) ogni sostanza contiene tutte le qualità, anche quelle opposte, che non si annullano, ma coesistono, come i principi cinesi yin e yang; ii) le qualità non sono astratte e filosofiche, ma reali e possono essere separate. Per esempio, nella distillazione distruttiva delle sostanze naturali, catrame e pece si separano una in forma impura, che può essere purificata, ripetendo il processo di distillazione per un numero di volte generalmente corrispondente ad un numero magico.

Accettò la teoria delle due *esalazioni*, nella versione rielaborata dagli alchimisti alessandrini, ma considerando mercurio e zolfo, piuttosto che le sostanze reali, i **principi** che conferivano liquidità e combustibilità ai corpi nei quali erano presenti. Inoltre, la prevalenza del mercurio in un metallo lo rende più nobile, resistente, lucente e malleabile, quella dello zolfo meno pregiato e facilmente alterabile. Se mercurio e zolfo sono perfettamente puri e si combinano nel più perfetto equilibrio naturale, si ha la perfetta combinazione che genera l'oro; altrimenti, gli errori di combinazione che hanno portato alla formazione dei metalli vili, possono essere eliminati con l'opportuno trattamento.

Abu Ali ibn Sina, **Avicenna** (908 - 1037), diede un contributo più originale di Geber: in netto contrasto con quanto affermato da Aristotele, riteneva che le forme sostanziali degli elementi si mantenessero dopo la formazione dei composti, anche se le

loro qualità subivano una *remissio*, un indebolimento, interagendo tra di loro per preparare la strada alla ricezione della forma sostanziale del misto⁷⁰. Malgrado la larga diffusione e l'influenza delle sue opere, questa idea non ebbe grande seguito. **Averroè** (1128 - 1196) riprese il concetto aristotelico di *minima naturalia*, mattoni costituenti, qualitativamente e quantitativamente specifici di ogni sostanza, indispensabili perchè le sostanze esercitassero la loro azione specifica⁷¹.

E' verosimile che gli Arabi abbiano appreso da Siriani ed Egiziani anche le filosofie atomistiche greche, per poi trasmetterle agli Europei; la loro concezione degli atomi era, però, molto diversa, se non altro, perchè aveva una forte connotazione religiosa e tendeva a dimostrare l'onnipotenza e l'assoluta libertà di Dio e il suo controllo continuo sugli eventi⁷². Gli atomisti arabi accettavano il vuoto e consideravano discontinuo anche il tempo, composto da istanti separati. La materia è costituita da particelle minuscole, indivisibili, adimensionali, che acquistano dimensione e forma sola unendosi tra di loro. All'interno di ciascun atomo risiedono gli *accidenti*, di ispirazione aristotelica, che rappresentano le qualità sensoriali, non solo delle sostanze inanimate, come colore, sapore, ecc., ma anche dei corpi animati, come vita, morte, intelligenza, ecc.. Tutti gli oggetti sono fatti degli stessi atomi, e si distinguono tra di loro per gli accidenti. Istante dopo istante, Dio può confermare, cambiare o annullare l'accidente inerente a ciascuno degli infiniti atomi esistenti nel mondo: nel primo caso, la sostanza mantiene la propria natura e la propria identità, nel secondo la cambia, nel terzo scompare⁷³.

L'atomismo medioevale

Vaghi accenni, spesso critici, che ne fanno diversi autori cristiani come Lattanzio e Agostino, testimoniano come il concetto di atomo, pur subendo una profonda recessione, fosse ancora presente nella cultura dell'Europa medievale⁷⁴. Gli autori che, in questo periodo, si interessavano all'atomismo possono essere divisi in tre categorie: i cronicisti, i simpatizzanti e i sostenitori. I primi, tra i quali vanno ricordati il vescovo Isidoro da Siviglia (~560 - 636), il venerabile Beda (672 - 735) e, dopo alcuni secoli, Vincent de Beauvais (1190 - 1264), erano essenzialmente degli storici che, nel racco-

⁷⁰ W. R. Newman, *Atomos and Alchemy*, The University of Chicago Press (2006) 95

⁷¹ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 113

⁷² G. Villani, *La chiave del mondo*, CUEN, Napoli (2001) 89

⁷³ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 109

⁷⁴ M. Gorman, *J. Chem. Educ.*, 37 (1960) 100-104

gliere le conoscenze scientifiche e filosofiche dell'umanità, non mancavano di includere commentari sulla teoria atomica. Tra i simpatizzanti, vanno ricordati Adelardo di Barth (m ~1150) e Thierry di Chartres (m ~1155), che però sostenevano la teoria dei quattro elementi, mentre, tra quelli che ridiedero vitalità alla teoria atomica, vanno citati William di Conches (1080 - 1154) e il francescano Guglielmo di Ockham (1300 - 1350). Il coraggioso atteggiamento di questi difensori dell'atomismo assicurò la continuità dei concetti, in tempi nei quali la capacità di pensare in maniera indipendente non era guardata con simpatia. Tuttavia, a differenza degli Arabi, essi non seppero arricchire la teoria con innovazioni personali⁷⁵.

Ad ogni modo, i filosofi rimasero molto più affascinati dal razionalismo aristotelico, specie dopo che **Tommaso d'Aquino** (1225 - 1274), partendo dalla considerazione che fede e ragione non dovrebbero contraddirsi l'un l'altra, aiutò la Chiesa a superare la sua iniziale ostilità nei confronti del filosofo greco. Tommaso rielaborò le teorie aristoteliche, introducendo il concetto di *hylomorfismo*, l'interazione di forma e materia. La *forma sostanziale* agiva sulla materia prima, per produrre i diversi oggetti materiali. Questo processo avveniva in una ben definita serie di passaggi: innanzi tutto, l'azione reciproca tra le quattro qualità primarie degli elementi produceva una singola *qualitas media*, che manteneva qualcosa dei reattivi; questa, a sua volta, forniva la disposizione necessaria per l'induzione della nuova forma sostanziale, *forma mixti*. Di conseguenza, i quattro elementi precedenti erano distrutti, la generazione dell'uno implicando la corruzione dell'altro. Tommaso non ammetteva forme intermedie tra la materia prima e le forme sostanziali del misto, in netto contrasto con le teorie alchemiche tradizionali, che concepivano zolfo e mercurio come componenti immediati dei metalli⁷⁶.

Questo diede adito a un ampio dibattito sulla composizione dei corpi naturali e sulle modalità delle loro trasformazioni, al centro del quale i concetti di principio e sostanza composta costituirono il soggetto favorito della sperimentazione concettuale, nella quale si analizzavano le relazioni tra forma e materia. La questione si arricchì di contenuti teologici con la disputa intorno al dogma cattolico della *transustanziazione*, che, partendo dalle proprietà sensibili (colore, sapore, odore) e dalle proprietà fisiche e chimiche del pane e del vino, arrivava a postulare un cambiamento radicale nella loro sostanza, durante la Consacrazione. La teoria dell'*hylomorfismo* sembrava costituire uno

⁷⁵ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 97, 100

⁷⁶ W. R. Newman, *Atomos and Alchemy*, The University of Chicago Press (2006) 37-8

schema concettuale all'interno del quale azzardare un'accettabile spiegazione fisica del miracolo eucaristico: in esso la sostanza del pane e quella del vino scompaiono interamente, per essere sostituite da quelle del corpo e del sangue di Cristo, mentre gli accidenti (apparenza) del pane e del vino continuano ad esistere e a dare ai nostri sensi l'impressione di avere ancora a che fare con il pane e con il vino, sebbene essi non siano più tali. C'è un disaccoppiamento, quasi unico in natura, di un intero che normalmente non è dissociabile, l'apparenza e la persistenza di accidenti senza cause. Mentre questo disaccoppiamento è perfettamente concepibile nella Fisica di Aristotele, anche se solo in presenza di un miracolo, esso è assolutamente inammissibile nella teoria atomica, che nega ogni esistenza reale, indipendente dalle qualità sensoriali⁷⁷. Enunciato nel **IV Concilio Lateranense** (1215) e ribadito dal **Concilio di Trento** (1545 - 1563), il dogma ostacolò, in qualche modo, la diffusione nei paesi cattolici delle filosofie corpuscolari, che, assumendo che i cambiamenti delle qualità primarie implicassero anche quelli nelle qualità secondarie, rendevano insensato il concetto di passaggio dalla potenzialità alla realtà, centrale nella scienza aristotelica⁷⁸.

Più aderente alla tradizione alchemica, fu la concezione della materia esposta nel *Summa Perfectionis Magisterii*, di un autore europeo di fine duecento, che si firmava Geber, e che recentemente è stato identificato come **Paolo di Taranto**⁷⁹. Geber vede i quattro elementi di Aristotele come minuti corpuscoli (minima) ipotetici che non hanno alcun ruolo esplicativo se non quello di fornire una sorta di substrato; questi si uniscono in una *fortissima compositio*, per dar luogo a corpuscoli complessi più grossi di zolfo e mercurio, che possono essere separati dai metalli per mezzo dell'analisi chimica. In accordo con il principio scolastico che *le cose nei quali i composti possono essere risolte sono quelle dalle quali sono costituiti*, questi aggregati di corpuscoli si uniscono per dare le parti minime degli stessi metalli. Proprio in questo stava la base sperimentale della teoria corpuscolare di Geber: per sublimazione, il mercurio condensa sotto forma di minutissime goccioline, lo zolfo di polvere finemente suddivisa. Inoltre, la loro resistenza alla forza analitica del fuoco dimostrava la fortissima composizione nella quale le loro particelle elementari sono aggregate.

⁷⁷ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 94-95

⁷⁸ B. Bensaude-Vincent e I. Stengers, *A History of Chemistry*, Harvard University Press (1996) 29-30

⁷⁹ W. R. Newman, *Atomos and Alchemy*, The University of Chicago Press (2006) 26, n 6

La principale differenza tra il concetto geberiano e quello aristotelico di *mixis* è che la sua omogeneità non implica più che tutte le sue particelle siano identiche, ma che le particelle identiche di metallo siano, a loro volta, composte da principi fatti di corpuscoli più piccoli, uniti in una fortissima composizione. Per questo zolfo e mercurio possono essere separati dalle varie sostanze, specie i metalli vili, per mezzo delle semplici operazioni della chimica analitica, come il riscaldamento o l'esposizione alla fiamma, ma non possono essi stessi essere decomposti. Il fatto che, dopo aver calcinato i metalli, sciolta la loro calce in acido, portata a secco la soluzione, il residuo possa essere ridotto al metallo di partenza, è per Geber la prova evidente che essi, nel processo di calcinazione, non sono stati ridotti ai quattro elementi, perché il loro processo di combinazione non avrebbe dovuto necessariamente riformare lo stesso metallo⁸⁰.

Malgrado la predominanza quasi assoluta dell'aristotelismo in campo filosofico, le teorie corpuscolari non erano del tutto scomparse, anche perché sembravano più adatte a spiegare le evidenze sperimentali accumulate dagli alchimisti. La differenza cruciale tra corpuscolarismo e atomismo sta nel fatto che, mentre gli atomi, per definizione, sono indivisibili, e la maniera nella quale sono disposti determina le proprietà sensoriali dei corpi macroscopici, i corpuscoli sono, in principio, divisibili e hanno le stesse proprietà dell'oggetto materiale. Furono riprese le teorie sull'esistenza reale dei minimi, il limite ultimo della divisione dei corpi macroscopici, oltre il quale la sostanza perde la propria identità. Per Aristotele e i suoi commentatori greci, la divisione era solo ideale e i minimi non esistevano realmente; Averroè diede loro consistenza reale, ritenendoli il risultato di una divisione fisica, e in questa forma la teoria passò agli Scolastici. Ad Averroè è attribuita l'idea che, per creare una nuova sostanza, è necessario che i reattivi si scompongano nei loro minimi, che questi siano separati e poi ricomposti, agendo gli uni sugli altri. A differenza degli atomi democritei, durante una reazione, le interazioni tra minima differenti portavano a una loro alterazione interna, che produceva la *qualitas media*, che li predisponeva a ricevere la *forma mixti*⁸¹. La dottrina dei minimi non risolveva il problema, insito nella nozione aristotelica delle forme sostanziali, perché era sempre difficile visualizzare esattamente cosa succedeva quando due differenti minimi reagivano tra di loro: in un senso, le loro forme originali erano perdute, in un altro, erano mantenute. Non deve sorprendere, allora, che durante il XVI e XVII secolo la teoria

⁸⁰ W. R. Newman, *Atomos and Alchemy*, The University of Chicago Press (2006) 31-33, 98

⁸¹ G. Villani, *La chiave del mondo*, CUEN, Napoli (2001) 87-88

sia stata, in qualche modo, soppiantata da una primitiva forma di atomismo⁸², riportata all'attenzione degli intellettuali rinascimentali dal ritrovamento, da parte di Poggio Bracciolini (1417), del manoscritto del *De rerum natura*, che portò alla ribalta la concezione atomistica e il problema della composizione della materia.

I tempi erano maturi perché le speculazioni dei filosofi e quelle dei chimici sperimentali si differenziassero: mentre i primi si interrogavano soprattutto sulla natura e le proprietà delle particelle elementari, i secondi davano più enfasi ai costituenti delle sostanze che adoperavano. Per costoro, le trasformazioni chimiche andavano pensate in termini di separazioni e ricombinazioni di particelle, invariabili e incorruttibili, che esistevano come tali prima di combinarsi, e rimanevano invariate nei misti. La reazione chimica non era più un passaggio dall'*essere in potenza* all'*essere in atto*, come ritenevano gli aristotelici, né un processo di maturazione, per mezzo del calore o di solventi, come ritenevano gli alchimisti alessandrini e arabi, perché gli elementi costituenti entravano a far parte **realmente** della composizione del prodotto.

Il Rinascimento

Paracelso (~1493 - 1541) introdusse, anche in Medicina e Chimica, un nuovo modo di interpretare i fenomeni naturali, basato sugli esperimenti e le pratiche di laboratorio: propose di unificare la teoria dei quattro elementi con quella del principio attivo (mercurio) e passivo (zolfo), cui aggiunse il principio mediatore (sale) in modo da costituire i *tria prima* (di possibile ispirazione trinitaria). Questi principi non rappresentavano sostanze concretamente individuabili, ma soltanto matrici, o *archetipi*, di natura spirituale, nascosti nei corpi naturali, cui conferivano caratteristiche e qualità. Pur ritenendo che i tre principi si conservassero immutati nei composti chimici, poiché una semplice giustapposizione dei componenti non poteva spiegare le differenti caratteristiche individuali di ogni nuova sostanza, avanzò l'ipotesi che, accanto ai tria prima, fosse presente una forma più spirituale, l'*archeus*, principio direttivo e organizzatore che trasformava in unità tutto ciò che altrimenti sarebbe rimasto un semplice aggregato⁸³.

Con la Riforma luterana e la messa in discussione, oltre che dei dogmi di fede, della guida religiosa, politica e culturale della Chiesa Cattolica, anche Aristotele cominciò a subire i primi seri attacchi, e furono rivalutate le concezioni corpuscolari, che di-

⁸² D. R. Oldroyd, *J. Chem. Educ.*, 50 (1973) 450-4

⁸³ G. Villani, *La chiave del mondo*, CUEN, Napoli (2001) 97

vennero il punto di riferimento per tutti quei filosofi cui la visione aristotelica, imperante nelle scuole, non sembrava conciliabile con i fatti sperimentali. Tra gli altri, **Giordano Bruno** (1548 - 1600) riteneva che tutti i corpi naturali fossero costituiti da *monadi*, invariabili e impenetrabili, che possono aggregarsi o disgregarsi, perché separati da un *vacuum* o *etere*, invariabile e indistruttibile, che rappresenta lo spirito del mondo che penetra ogni cosa. Le monadi avevano un'anima e ciascuna di esse emanava da Dio e come Dio era infinita. Le loro aggregazioni non avvenivano in maniera disordinata, ma secondo una volontà organizzatrice che le faceva evolvere verso strutture sempre più complesse e perfette⁸⁴.

Il seicento

All'inizio del '600, l'atomistica non aveva ancora una connotazione scientifica, ma si manteneva nel campo dell'astrazione filosofica, mantenendo viva l'attenzione verso il problema della discontinuità della materia, dimostrando, nello stesso tempo, che la sola speculazione logica non poteva dare un supporto teorico ai fenomeni.

Dal punto di vista sperimentale, mentre secoli di fallimenti avevano aumentato lo scetticismo nei confronti della possibilità della trasmutazione, chimici del calibro di **Angelo Sala** (1576 - 1637) e **Daniel Sennert** (1572 - 1637) dimostravano, non solo che si potevano produrre in laboratorio gli stessi minerali che si trovano in Natura, ma anche che le sostanze che sembrano scomparire nel corso delle reazioni, in realtà non sono né trasmutate né distrutte in maniera definitiva, ma possono, con le opportune procedure chimiche, essere recuperate nello stato di partenza. Piuttosto che in termini di principi o elementi, questi fatti sperimentali erano spiegati come scomposizione e ricomposizione di particelle, in aggregati di ordine crescente. Queste osservazioni permisero di definire in maniera oggettiva, e per la prima volta operativa, i *corpi puri*, come quelli che, per il fatto di poter essere recuperati dopo essere stati disgregati, dimostrano di avere un'identità che si mantiene inalterata durante le trasformazioni cui prendono parte ed è indipendente dalle sostanze da cui sono estratti.

Probabilmente influenzato dagli esperimenti di Sala, il medico francese **Sebastien Basso** affermò che ciascuna sostanza è costituita da piccole particelle caratteristiche, che possono unirsi in aggregati di ordine crescente, secondari, terziari e quaternari:

⁸⁴ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 133

ciascuna particella è composta da parti differenti, che le conferiscono una natura specifica e diversa da quella delle particelle di altro tipo. Paragonava gli atomi alle lettere dell'alfabeto o ai mattoni che costituiscono un edificio, distinguendo in questo modo tra le proprietà del misto (il significato del testo o lo stile dell'edificio) e quelle dei suoi componenti. I due esempi rappresentavano due concezioni diametralmente opposte, tra le quali i chimici avrebbero oscillato a lungo: le lettere dell'alfabeto sono diverse l'una dall'altra, i mattoni sono tutti eguali, anche se con essi si possono costruire edifici notevolmente diversi. Nel primo caso, gli atomi hanno qualità, nel secondo no e sono costituiti da una materia primordiale uniforme⁸⁵.

Il sacerdote e filosofo naturale **Pierre Gassendi** (1592 - 1655), amico di Galilei e Keplero, riuscì a conciliare l'insegnamento della Chiesa con le teorie corpuscolari, liberando il dibattito sulla teoria atomica dalle preoccupazioni di natura teologica e metafisica che l'avevano sempre accompagnato. Ne risultò un sistema atomico teologicamente soddisfacente che spianò la strada al suo uso da parte di scienziati dalle forti inclinazioni religiose, come Boyle e Newton⁸⁶. Nel *Syntagma philosophiae Epicurei* (1649), dimostrò come non fosse più possibile negare l'esistenza del vuoto e rigettò l'ateismo insito nella teoria di Epicuro, sacrificandone qualche caposaldo: gli atomi non sono eterni, ma sono stati creati in principio da Dio, che ne regola i movimenti (non si muovono *a se ipsis*, ma *Dei gratia*) e può deciderne la distruzione; non sono punti materiali, ma corpuscoli reali, per quanto estremamente piccoli, e la loro forma spiega le differenze osservabili; ci sono atomi associati specificatamente a certe qualità sensoriali, per esempio atomi luminosi, sonori, caldi e freddi, in pratica i veri principi sui quali è costruito il mondo. Un aspetto particolarmente interessante della sua filosofia è la possibilità che gli atomi si uniscano per formare aggregati, chiamati *moleculae*, differenti l'uno dall'altro, che costituiscono i semi dei differenti oggetti, ciascuno dei quali è intessuto in modo da non poter essere costituito da alcun altro seme. Considerata la confusione totale che regnò fino a metà ottocento tra i concetti di atomo e molecola, la sua ipotesi di associazione intermedia di atomi costituì un'importante pietra miliare intellettuale⁸⁷. Il suo lavoro fornì un supporto filosofico alla nascente scienza chimica, così che

⁸⁵ B. Bensaude-Vincent e I. Stengers, *A History of Chemistry*, Harvard University Press (1996) 31-33

⁸⁶ M. Gorman, *J. Chem. Educ.*, 37 (1960) 100-104

⁸⁷ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 120

la concezione corpuscolare, anche se non necessariamente atomica, era, alla fine del seicento, universalmente accettata da filosofi, medici, naturalisti.

Mentre il problema fisico della costituzione della materia sembrava trovare una risoluzione sempre più vicina alla sperimentazione scientifica, nella rinascita e nel miglioramento delle concezioni particellari, il problema chimico della definizione e del significato di principio rimase irrisolto, anche se attorno ad esso si sviluppò un ampio dibattito, centrato, sostanzialmente, su due questioni: i) se i principi si differenziassero su basi quantitative o qualitative; ii) se l'analisi chimica fosse in grado di isolare i principi puri. I principi erano intesi in almeno tre modi differenti: o come causa, identificabile nella materia e nella forma aristoteliche, o come costituenti della materia, semplici, al limite indivisibili, ma non isolabili, o infine come costituenti concreti della materia, ottenibili allo stato puro, attraverso l'analisi dei composti. I principi non isolabili appartenevano a due categorie distinte: gli atomi di Democrito o Epicuro (principi fisici), qualitativamente omogenei, che differivano solo per gli aspetti quantitativi, e quelli differenziati qualitativamente come gli elementi di Aristotele, o i tria prima di Paracelso. I principi isolabili chimicamente, non erano considerati principi ultimi perché si originavano dalla combinazione di quelli fisici e perciò chiamati *principi secondari* o *chimici*.

D'altro canto, il grande sviluppo della Meccanica, grazie ai contributi di Galilei, Cartesio, Pascal, Huygens e Newton, favorì il tentativo di assoggettare alle sue leggi tutti i fenomeni naturali, in particolare, di spiegare anche le reazioni chimiche come effetto del movimento delle particelle che, mutandone la posizione reciproca, variava la natura dei composti. Se questa spiegazione fosse risultata convincente, la Chimica sarebbe stata assoggettata alle leggi della meccanica, realizzando quella spiegazione unitaria dei fenomeni naturali cercata da almeno due millenni. Utilizzando la definizione democritea di atomo, i meccanicistici spiegavano in maniera soddisfacente proprietà come stabilità chimica e volatilità o fenomeni come dissoluzione e evaporazione, ma non quelle più specificatamente chimiche come la reattività delle singole sostanze.

Il filosofo francese René Descartes, noto come **Cartesio** (1596 - 1650), elaborò una concezione meccanicistica del mondo, basata su una materia unica, che aveva soltanto due attributi, l'estensione (e una forma) e il movimento. Questi erano i pilastri su cui poggiava l'intera architettura dell'universo, e ai cui effetti combinati potevano essere ricondotti tutti i fenomeni fisici. Tutte le altre qualità sensoriali, comprese quelle pri-

marie di Aristotele, non possono essere considerate principi, perché non rappresentano le proprietà intrinseche delle cose, ma dipendono dalla natura degli oggetti e dalla percezione che noi ne abbiamo. Poiché materia e spazio non possono esistere separatamente, va rigettata l'idea del vuoto e, di conseguenza, pure gli atomi, anche perché, nella sua onnipotenza, Dio può ulteriormente suddividere qualsiasi particella, per quanto piccola possa essere.

Dopo aver stabilito che lo spazio è completamente pieno, sorprendentemente Cartesio formulò una teoria corpuscolare della materia, composta da piccole parti, in teoria divisibili all'infinito, ma in realtà di dimensioni finite, le cui sole caratteristiche importanti sono forma, posizione e movimento. Sebbene, inizialmente, le parti più piccole fossero tutte eguali, il movimento aveva l'effetto di costituire particelle di varie forme e dimensioni, che si differenziavano, a seconda che appartenessero ad aria, fuoco, acqua o terra⁸⁸. Il fuoco, *primo elemento*, è costituito da particelle minutissime, prive di dimensioni e forma determinata, talmente piccole e veloci che non esistono corpi in grado di trattenerle. Esse riempiono gli interstizi tra le particelle di aria, *secondo elemento*, che hanno dimensioni e forme determinate, si muovono più lentamente, e occupano gli interstizi tra le particelle di terra, *terzo elemento*, che si muovono ancora più lentamente. Le particelle di fuoco, aria e terra interagiscono meccanicamente tra di loro, formando i corpi misti. Come si vede, questa concezione ha una connotazione fisica, orientata cioè a spiegare la costituzione della materia e le sue proprietà fisiche; in essa sono inclusi gli atomi, anche se non in senso democriteo, e la possibilità che esistano principi propri della Chimica, che consentano una spiegazione autonoma dei fenomeni chimici, senza dovere necessariamente ridurre le qualità secondarie o sensibili ai principi primi della Fisica. In conclusione, quando nel 1660 fu fondata la Royal Society, il meccanicismo, di un tipo o dell'altro, costituiva la nuova ortodossia, e sia gli atomi che i corpuscoli erano ormai perfettamente integrati nelle differenti teorie della materia⁸⁹.

A metà del XVII secolo, **Robert Boyle** (1627 - 1691) cercò di rifondare la Chimica, utilizzando un approccio prevalentemente sperimentale, essendo la semplice speculazione filosofica, ormai inadeguata a spiegare i fenomeni chimici; fu il primo a progettare esperimenti sistematici destinati a dimostrare o confutare una teoria, sulla base di una disamina critica dei risultati. La sua opera più famosa, frutto di un decennio di inda-

⁸⁸ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 159

⁸⁹ T. H. Levere, *Transforming Matter*, The John Hopkins University Press, Baltimore, (2001) 16

gini sperimentali, è *The skeptical chymist* (1661), scritta per dimostrare che la filosofia chimica e quella corpuscolare di stampo meccanicistico possono integrarsi a vicenda. Il chimico scettico non è chi crede che nulla possa essere dimostrato, ma chi, attraverso la messa in discussione delle verità accettate, cerca di accrescere le conoscenze ed acquisire una consapevolezza sempre più certa dei fenomeni naturali.

Esamina criticamente, su base sia razionale che sperimentale, le teorie chimiche degli aristotelici e dei seguaci di Paracelso, dimostrandone l'inconsistenza, perché non si è mai riusciti ad isolare i principi primi per mezzo di reazioni chimiche. Il fuoco, per esempio, ritenuto non solo un elemento, ma anche lo strumento per scomporre le sostanze nei loro elementi costituenti, è per Boyle, come già per Galilei, un fluido di atomi che si muovono a elevata velocità, in grado di esercitare un'azione così energica da produrre artefatti e non i principi elementari. Infatti, l'analisi col fuoco fornisce risposte diverse per differenti sostanze, e per la stessa sostanza in differenti condizioni. Da questo punto di vista, è preferibile l'analisi per via umida che, consistendo in un attacco acido o alcalino, esercita un'azione più blanda, senza alterare la natura dei costituenti. Anche in questo caso, però, si separano numerosi e differenziati componenti, spesso essi stessi sostanze composte, solo di rado riconducibili agli elementi classici, di derivazione aristotelica o paracelsiana.

Diede così una definizione operativa di elementi, come *quei corpi primitivi, semplici o perfettamente omogenei, che, non essendo costituiti da nessun altro, sono l'ingrediente di cui sono fatti i corpi chiamati misti, e nei quali questi possono, alla fine, essere decomposti*. Eppure, malgrado la sua vasta esperienza di sperimentatore, non seppe, o non volle, confrontare con questa definizione nessuna delle differenti sostanze, che pure aveva manipolato. Nella sua filosofia meccanicistico - corpuscolare, di chiaro stampo cartesiano, le particelle fondamentali sono state create da Dio, a partire dalla materia prima. Esse presentano una moltitudine di forme diverse, si muovono nel vuoto (uno spazio completamente privo di materia), ma non si trovano come tali in Natura: infatti, si uniscono tra di loro per formare aggregati stabili, **misti o concrezioni primarie**, ognuno dotato delle qualità primarie di forma, dimensioni e movimento. Questi sono particelle degli elementi chimici e dei corpi semplici, i mattoni dell'Universo: sebbene, in principio, divisibili, non lo sono con le normali reazioni chimiche, che non sono altro che associazioni di concrezioni primarie, per produrre i corpi composti.

Le qualità sensibili (secondarie), come colore o sapore, non dipendono dalla presenza di un elemento comune a molte sostanze diverse, ma è il risultato di una struttura comune a tutte, che dipende dalla forma e dalle dimensioni dei misti primari. Tutte le sostanze manipolate dai chimici sono composte da atomi più semplici e le loro differenti proprietà nascono dalle quattro proprietà dei corpuscoli: consistenza, tessitura, forma e moto. Mentre la dolcezza dello zucchero dipende dalla rotondità delle sue particelle, e il sapore pungente e la corrosività degli acidi dalla loro forma acuta, la tessitura rappresenta il modo in cui i misti sono intrecciati nei corpi che vengono a contatto con i nostri sensi⁹⁰. A differenza degli atomisti classici, Boyle rifiutò il concetto di moto disordinato e scontri casuali, ritenendo che esso fosse governato da Dio, in accordo con Gassendi, dal quale aveva recepito la teoria atomica⁹¹.

L'opera di Boyle non ebbe immediata diffusione tra i contemporanei: il concetto dei misti primari non fu accettato perché non era utile, non potendosi isolare sperimentalmente queste particelle, né determinarne forma e dimensioni. I chimici, dal seicento fino a Lavoisier, non accettarono la sua definizione, piuttosto vaga, di elemento, ma quella analitico - sperimentale formulata dal farmacista parigino **Nicolas Lémery** (1645 - 1715); nel *Cours de chymie* (1675): *l'elemento chimico è il termine ultimo della divisione e della separazione delle sostanze con i metodi chimici*. In questo modo, il principio della Chimica aveva uno *status* provvisorio perché, con l'affinarsi delle capacità analitiche, ciò che prima era considerato un elemento, avrebbe potuto poi rivelarsi un composto divisibile in corpi più semplici, che lo avrebbero sostituito come principi ultimi. Scopo della Chimica era individuare questi principi: l'esperimento non costituiva più una semplice osservazione dei fenomeni, ma era la base della costruzione dei fondamenti della scienza.

Il flogisto

Nel XVIII secolo, la speculazione sulla composizione della materia continuò a svilupparsi lungo le due direzioni già discusse, cercando o di definire sempre meglio i *principi* costituenti, per giustificare il comportamento chimico delle sostanze o delucidare la struttura microscopica dei corpi, senza però riuscire a collegarla efficacemente con il loro chimismo. Dal punto di vista della ricerca dei principi, la *teoria flogistica*

⁹⁰ T. H. Levere, *Transforming Matter*, The John Hopkins University Press, Baltimore, (2001) 25-26

⁹¹ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 141

rappresentò il primo tentativo di elaborare una spiegazione unitaria dei fenomeni chimici, al di là della loro apparente diversità: la calcinazione, sia dei metalli che degli alcali deboli, la respirazione, la fermentazione, le reazioni acido - base, gli scambi di calore e le variazioni di colore nel corso delle reazioni. Probabilmente ispirandosi alla concezione cinese, allora molto conosciuta anche in occidente, **Johan Joachim Becher** (1635 - 1682) propose che la materia fosse costituita da cinque elementi, non isolabili allo stato puro: l'aria, l'acqua e tre tipi di terra, corrispondenti alle tre diverse risposte alla combustione dei corpi naturali, che possono o bruciare, o distillare, o rimanere come residuo. La *terra pinguis* o *solforosa*, leggera e infiammabile, è il **principio della combustibilità**, la *terra fluida* o *mercuriale*, che conferisce ai metalli malleabilità e lucentezza, il **principio della volatilità**, la *terra vitrescibile* o *vetrosa*, che corrisponde al residuo fisso, il **principio della stabilità**, componente principale dei minerali.

Enunciata nell'*Actorum laboratorii chimici monacensis seu physicae subterraneae* (1667), la teoria non aggiungeva nessuna novità di rilievo al panorama delle teorie della materia, e sarebbe probabilmente rimasta sconosciuta se un allievo di Becher, **Georg Ernst Stahl** (1660 - 1734), non l'avesse fatta ripubblicare a Lipsia sotto il titolo di *Physica subterranea*, cui aggiunse lo *Specimen beccherianum*. Stahl riteneva che stabilire se la materia avesse struttura corpuscolare o continua non era essenziale allo sviluppo delle conoscenze sulle proprietà dei corpi macroscopici, perché i loro costituenti ultimi, anche se materiali, erano così inaccessibili da non poterne spiegare razionalmente la varietà e le proprietà. Non potendo isolare questi principi fisici, Stahl indirizzò la propria attenzione verso quelli chimici e classi di fenomeni che potessero essere studiati unendo proficuamente l'analisi sperimentale e quella teorica⁹².

Rielaborò la teoria di Becher, nel tentativo di spiegare alcuni fenomeni naturali, primo fra tutti quello della combustione, considerata, sin dall'inizio dell'alchimia, un processo di decomposizione dei corpi nei loro elementi costituenti, eventualmente con perdita di qualche componente volatile. Stahl identificò questo componente nel principio della combustibilità, la *terra pinguis* di Becher, che chiamò *flogisto*, dal greco $\phi\lambda\omicron\xi$ = fiamma. Il flogisto era una sostanza reale, materia e principio del fuoco, che veniva trasferita, di volta in volta, da un corpo a un altro; tuttavia, essendo un principio elementare, non poteva essere isolato, ma soltanto rivelato dagli effetti che produceva.

⁹² M. Ciardi, *Breve storia delle teorie della materia*, Le bussole, Carocci (2003) pagg 38-41

Secondo Stahl, tutte le sostanze combustibili sono caratterizzate da un elevato contenuto in flogisto, che trasferiscono all'aria durante il processo di combustione. Per esempio, i metalli sono costituiti da un componente comune a tutti (il flogisto) e da una materia terrosa, che varia a seconda del metallo: in questa semplice definizione, formulata per dare conto dei fatti sperimentali, si realizza la sintesi tra l'unità concettuale (un unico componente caratterizzante, comune a un'intera classe di sostanze) e le diversità osservabili (una calce diversa caratterizza ciascun metallo). Quando sono riscaldati, i metalli si decompongono nei loro costituenti elementari: il flogisto, che si disperde nell'aria, e la calce, che rimane nel recipiente. La calce non è altro che metallo privato di flogisto e può **ridursi** nuovamente a metallo, se le viene restituito il flogisto: per far questo, occorre riscaldarla in presenza di un corpo che ne sia ricco (carbone o grassi). I processi di calcinazione e di formazione dei metalli sono visti, dunque, come un trasferimento di flogisto in direzioni opposte, a seguito del quale i corpi semplicemente si scompongono o ricompongono, senza che vari la loro sostanza. Anche la formazione della ruggine o altri ossidi è un lento processo di perdita di flogisto da parte dei metalli, con la differenza che il processo di combustione, nel quale il trasferimento di flogisto dal combustibile all'aria è molto rapido, è accompagnato dal manifestarsi delle fiamme.

Il calibro e l'ingegnosità degli argomenti elaborati a supporto della teoria del flogisto indicano il livello di sofisticazione cui era giunta la Chimica, ormai una scienza pienamente costituita, con tutte le sue scoperte e le teorie aperte a un dibattito razionale. Stranamente, a questo punto non era importante chi avesse ragione e chi torto, ma era il dibattito stesso che allargava la comprensione della chimica⁹³. Sebbene, prima che finisse il secolo, Lavoisier avrebbe dimostrato che il presupposto di partenza, l'esistenza del flogisto, era falso, la teoria ebbe tuttavia il merito di costituire il primo tentativo di unificare tutti i fenomeni chimici conosciuti in unico vasto sistema, coordinando e mostrando le somiglianze fondamentali tra fenomeni chimici e fisiologici apparentemente diversi. Per la prima volta si cercava di spiegare tutte le reazioni chimiche con il trasferimento di una semplice sostanza elementare da un reagente ad un altro. In una pagina molto celebre della prefazione alla seconda edizione della *Critica della Ragion Pura* (1787), Kant ricorda che una gran luce illuminò i naturalisti, non solo grazie a Galilei e Torricelli, ma anche quando *Stahl trasformò dei metalli in calce, e questa di nuovo in metal-*

⁹³ P. Strathern, *Mendeleev's Dream*, Penguin, London (2000) 202-212

li, con l'aggiunta o la sottrazione di qualcosa⁹⁴. Grazie alla sua semplicità, la teoria fu accettata dai chimici progressisti in tutta Europa, anche se il flogisto non era mai stato isolato, né la sua presenza rivelata, anche fuggacemente, in qualche esperimento; semplicemente, spiegava troppe cose per essere abbandonata.

Perciò, regnò incontrastata fino all'avvento di Lavoisier, che si scagliò contro il suo punto debole, il non riuscire a spiegare in maniera convincente perché, per esempio, la calcinazione dei metalli, portasse regolarmente ad un loro aumento in peso, non conciliabile con una perdita del flogisto. Inizialmente, si cercò di non dare importanza alla cosa perché, fino alla metà del settecento, le determinazioni quantitative non erano considerate un fenomeno centrale della Chimica, nella scia della tradizione alchemica, considerava le reazioni come variazioni dell'aspetto esterno della sostanze (colore, consistenza e, più recentemente, stato fisico), piuttosto che di parametri quantitativi, come volume o massa. Inoltre, nella filosofia naturale settecentesca, i *perche?* erano più frequenti dei *come?* e si preferiva chiarire le cause dei fenomeni, piuttosto che le loro modalità di svolgimento. Perciò, si ricercavano principi generali che, con la loro sola presenza, giustificassero il comportamento delle sostanze, trascurando ogni tentativo di individuare la composizione chimica. Si è a lungo dibattuto se la teoria del flogisto abbia favorito o rallentato lo sviluppo della Chimica; è certo che essa stimolò lo studio dei gas e fornì, in definitiva, uno schema unificante, che contribuì ad indirizzare la sperimentazione verso il conseguimento di importanti risultati.

Isaac Newton (1642 - 1727)

Contemporaneamente, nuovi contributi alle teorie corpuscolari vennero da Newton che, negli ultimi anni della sua attività scientifica, praticò anche la Chimica. Attratto dalle sue molte possibilità, in gran parte ancora inesplorate, cercò in essa la chiave per individuare quei principi dei quali Dio si serve per agire di continuo sulla Natura, e che causano sia le attrazioni tra i corpi macroscopici, che le reazioni chimiche. Studiò attentamente la letteratura alchemica, soprattutto le opere di Boyle, cui lo legavano profonda amicizia, comuni interessi scientifici e una visione religiosa dell'universo, nel quale entrambi riconoscevano la mano di un Creatore.

⁹⁴ F. Abbri, *Le terre, l'acqua, le arie*, Il Mulino, Bologna (1984) 26-31

Mise a punto una teoria estremamente elaborata sulla struttura della materia, basata sull'ipotesi che tutti i corpi macroscopici fossero formati da particelle primordiali chiamate *minima*, molto somiglianti agli atomi di Democrito ed Epicuro, separate da pori assolutamente vuoti. I minima erano invisibili, immutabili, solidi, rigidi, duri, impenetrabili, mobili, molto probabilmente creati in principio da Dio, e differivano l'uno dall'altro solo per forma e dimensioni, alle quali Newton aggiunse una proprietà immanente, l'*inerzia*, cioè la capacità di persistere nello stato di quiete o di moto⁹⁵. I corpuscoli potevano aderire tra di loro per formare particelle più grosse (aggregati del primo ordine), che, a loro volta, potevano formare particelle di ordine sempre crescente, fino a quelli dell'ultimo ordine, i comuni corpi visibili. In questo processo di aggregazione, le particelle si disponevano secondo una configurazione e un ordine prestabilito, generando la varietà delle sostanze naturali.

Mentre i suoi predecessori, Boyle incluso, avevano dato enfasi alla forma delle particelle, tenute insieme da ganci, scabrosità delle superfici o movimenti coordinati, Newton formulò una teoria dinamica: le particelle sono tenute insieme da forze attrattive di tipo particolare, probabilmente generate da forze elettriche che si estendono a distanze così piccole da sfuggire all'osservazione e non richiedere lo strofinio per manifestarsi. Le forze attrattive in assoluto più intense tengono insieme le particelle degli aggregati del primo ordine, e diventano via via più deboli, man mano che cresce l'ordine dell'aggregato. I corpuscoli si mantengono inalterati nel corso delle reazioni chimiche perché le forze che le governano causano le unioni e le separazioni degli aggregati dei diversi ordini, ma non sono in grado di decomporre quelli del primo ordine. La differenza tra qualità interne della materia e qualità esterne era dunque dovuta alle differenze tra minima e aggregati primari⁹⁶.

Per esempio, nella formazione di ossido di mercurio, la struttura delle particelle di più piccola composizione, che determina le proprietà caratteristiche del mercurio, rimane inalterata, e il mercurio può essere recuperato come tale. Invece, la trasmutazione è, in linea di principio, realizzabile, ma non con i comuni mezzi chimici, perché richiede una variazione nell'arrangiamento interno dei minima negli aggregati primari; è necessario l'intervento di uno speciale (e vago) agente naturale, uno spirito vivente vegetati-

⁹⁵ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 137

⁹⁶ T. H. Levere, *Transforming Matter*, The John Hopkins University Press, Baltimore, (2001) 12

vo, portatore alchemico dell'attività divina nel mondo⁹⁷, che Newton credette di aver individuato negli acidi, e nell'aqua regia in particolare (*De Natura Acidorum*, 1692). Non essendo, però riusciti i suoi numerosi tentativi, si convinse che gli acidi, sebbene sciogliono i corpi invadendo le particelle di più grossa composizione e separandole in quelle costituenti, non possono vincere le forze attrattive tra le particelle di prima composizione.

Dando enfasi alle reazioni chimiche, Newton ripristinava la dignità della sperimentazione, delle pratiche e dei metodi della chimica, esclusi, invece, dalle concezioni meccanicistiche. Nel terzo libro della *Optiks* (1704), nella Query 31, ammetteva che le forze chimiche non hanno intensità uniforme come quella di gravità, ma questa diversità non può essere dedotta per via teorica, ma soltanto valutata sperimentalmente. Non considerava la gravità come una proprietà immanente, ma come l'effetto di forze estrinseche, soprannaturali, transmateriali, delle quali non capiva la natura, e per le quali non riusciva ad avanzare un'ipotesi: *hypothesis non fingo*⁹⁸. Tuttavia, ritenne che esistesse una forza repulsiva tra le particelle più piccole, in grado di spiegare fenomeni ottici e chimico - fisici: per esempio, la prodigiosa espansione delle particelle dei corpi volatili testimonia l'esistenza di una forza di repulsione che comincia ad agire quando cessano le forze di attrazione. Il tentativo di estendere l'azione della forza di gravità ai moti più segreti delle particelle più piccole, spiegando la reattività chimica, in termini di forze di attrazione e repulsione tra le particelle, si scontrò con il fatto che le forze coinvolte nelle reazioni chimiche rimanevano non quantificate, per l'impossibilità di osservare il moto delle particelle microscopiche. Ciononostante, questa ipotesi stimolò le indagini sulla **reattività**, che rivestirono un ruolo fondamentale nella Chimica del XVIII secolo.

Dopo Newton

La teoria della materia di Newton fu divulgata presso i chimici da **Hermann Boerhaave**, nel primo volume dei suoi *Elementa chemiae* (1732); sebbene non tutti l'accettassero *in toto*, il suo prestigio era tale che tutti concordavano con l'ipotesi che i corpi fossero, in ultima analisi, composti di minute particelle, e la sua visione di particelle e forze (o potenze) ad esse associate rimase a fondamento del pensiero scientifi-

⁹⁷ G. D. Goehring, *J. Chem. Educ.*, 53 (1976) 423-5

⁹⁸ B. Pullman, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press (1988) 138

co⁹⁹. Boerhaave credeva che le potenze non fossero inerenti o essenziali alla materia, perché essa era bruta e inerte: le particelle erano come piccole palle da biliardo che non avrebbero potuto incontrarsi senza l'intervento di forze immateriali, della quali una era la gravitazione e l'altra l'affinità chimica.

Il matematico **Leonard Euler** (1707 - 1783), nel corso di un discorso sulla struttura della materia, pronunciato davanti all'Accademia delle Scienze di Pietroburgo (1732), cercò di unificare la teoria atomica con quella degli elementi chimici. Rinunciando al concetto filosofico di elemento come corpo non divisibile in assoluto, scelse quello operativo di particella che non può essere divisa in particelle più piccole con reazioni chimiche. Propose di caratterizzare ciascun elemento assegnandogli particelle indivisibili aventi proprietà simili e capaci di esercitare identica azione. La logica conseguenza di questa definizione è che esistono, non tre o quattro elementi, ma tanti quanti sono i tipi differenti di atomi esistenti in natura: questo numero non è ovviamente illimitato, ma può essere stabilito solo per via sperimentale. Egli quindi suggeriva ai chimici una strategia di ricerca: decomporre i corpi fino a ridurli ai loro principi e considerare elementi quelli da cui non è possibile estrarre qualcosa di diverso.

Questa concezione ebbe grande influenza su **Mikhail Vasilevich Lomonosov** (1711 - 1765) che intuì la differenza tra la meccanica dei macrocorpi e quella dei microcorpi: quest'ultima è alla base dei fenomeni termici, elettrici, luminosi e capillari, a loro volta, collegati a quelli chimici. Nell'*Elementi di Chimica matematica*, definì i corpuscoli primari, o elementi, come quella parte di un corpo che non è formata da particelle minori, o da corpi diversi da lui. I corpuscoli secondari risultano dalla combinazione di quelli primari: sono omogenei, se sono formati dallo stesso numero degli stessi elementi combinati in un unico modo, eterogenei, se formati da elementi differenti, combinati in numero diverso o in modo diverso. Un principio è un corpo formato da corpuscoli eguali, un corpo misto è costituito da due o più principi differenti. Lo studio della dipendenza delle proprietà delle sostanze dalla loro composizione può essere risolto soltanto dopo che sarà stato stabilito il numero degli elementi chimici e chiarita la loro natura.

Nel 1758, il gesuita dalmata **Ruggero Giuseppe Boscovich** (1711 - 1787) pubblicò la *Teoria della Filosofia Naturale*, che ebbe accoglienza favorevole, specie in Inghilterra, fino alla fine del XIX secolo: questa teoria della materia fu discussa a lungo

⁹⁹ M. Boas Hall, Chem. in Brit., (1966) 341-5

nel capitolo *Atomi*, nel supplemento alla terza edizione dell'*Encyclopedia Britannica*. Nel tentativo di conciliare la visione newtoniana della materia, fatta di atomi e vuoto, con quella di Leibniz che concepiva piuttosto un continuo, Boscovich avanzò l'ipotesi che gli elementi primi fossero omogenei, indivisibili e impenetrabili, dispersi nel vuoto, che non potessero venire a contatto tra di loro, molto simili a punti geometrici privi di estensione, semplici centri di attrazione o repulsione. La materia risulta perciò impenetrabile perché due corpi non possono occupare lo stesso spazio nello stesso momento. Ma l'aspetto più interessante della teoria sta nel fatto che le forze reciproche che si esercitano tra questi punti possono essere repulsive o attrattive, a seconda della distanza che li separa. A distanze molto piccole si esercita una forza repulsiva che tende a crescere all'infinito quanto più le particelle si avvicinano, giustificando così l'impenetrabilità della materia. A distanze maggiori, verosimilmente oltre il millesimo di centimetro, si esercita una forza attrattiva, la forza di gravità, che diminuisce come l'inverso del quadrato della distanza. A distanze intermedie, essa è alternativamente attrattiva o repulsiva. Naturalmente, nel XVIII secolo, non se ne poteva determinare né il valore, né a quali distanze risultasse nulla (né attrattiva, né repulsiva): a questi punti limite, corrispondeva una stabilità, o equilibrio, tra attrazione e repulsione. Quando coincidevano i punti limite di un certo numero di atomi puntiformi, essi potevano combinarsi per dare una configurazione stabile, corrispondente a una particella del primo ordine; le particelle del primo ordine potevano combinarsi per dare particelle del secondo ordine, e così via.

In conclusione, nel passaggio dal XVIII al XIX secolo, la filosofia atomico - corpuscolare godeva di grande notorietà e consenso. Ma perché diventasse teoria scientifica, erano necessarie le conferme sperimentali e, in particolare, chiarire alcune questioni di fondamentale importanza, definendo la specificità degli elementi chimici e la loro non convertibilità, stabilendo un collegamento tra i dati ricavati dall'analisi quantitativa e l'ipotesi atomica, la teoria degli elementi chimici e delle loro combinazioni, e, infine, determinando il peso degli atomi e la relazione tra il peso degli atomi dei differenti elementi. Chiariti questi punti, la strada sarà spianata ed in pochi anni la teoria sarà formulata in maniera chiara e posta su salde basi.