ANTONIO DI MEO (*)

Cannizzaro e Mendeleev: scienza natura e teorie della materia nel XIX secolo (**)

1.

«La Natura, inerte agli occhi degli antichi, si è mostrata a noi piena di vita e di attività. La convinzione che il movimento pervada tutte le cose, cui si arrivò inizialmente riguardo all'universo delle stelle, è stata ora estesa al mondo invisibile degli atomi».[1]

Con questa contrapposizione fra una idea antica di natura inerte e una moderna di natura attiva, il chimico russo Dimitrij Ivanovic Mendeleev iniziava il 31 maggio 1889, alla Royal Institution di Londra, una conferenza sulla possibilità di applicare alla chimica la filosofia naturale newtoniana.

In realtà anche molte concezioni antiche della natura erano di tipo dinamico, così come lo erano molte moderne e anche contemporanee dello stesso Mendeleev. Ma egli teneva la sua conferenza in un ambiente ormai consapevole che il «movimento» di cui trattava era molto diverso da quello di cui si aveva nozione fino a qualche tempo prima. Ora il movimento era considerato una sorta di substrato attivo dei processi naturali, che si manifestava in molti modi diversi sotto le sembianze delle differenti forme di energia: luce, calore, elettricità, ecc. Tutti questi modi erano convertibili l'uno nell'altro in un circolo ininterrotto di trasformazioni senza inizio né fine. Per Mendeleev l'essenza dell'energia chimica era sconosciuta, e forse lo sarebbe rimasta per sempre. L'unica

(*) Fondazione Istituto Gramsci, Via Portuense 95c, 00153 Roma.

(**) Questo scritto è una rielaborazione di una relazione tenuta al seminario su «D.I. Mendeleev e S. Cannizzaro. Scienza, cultura e politica in Russia nella seconda metà dell'Ottocento», svoltosi a Roma il 7 aprile 1995, a cura dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL e della Fondazione Istituto Gramsci. In esso ho utilizzato parzialmente anche un capitolo di un mio lavoro più ampio sulla storia e sulla filosofia della chimica, in via di pubblicazione presso la casa editrice Einaudi di Torino: *Circulus aeterni motus. Tempo ciclico e tempo lineare nella filosofia chimica della natura.*

[1] D.I. MENDELEEV, *An attempt to apply to chemistry one of the principles of Newton's natural philosophy. A lecture delivered at the Royal Institution of Great Britain*, may 31, 1889, in *Principles of Chemistry*, London 1905 (III ed. inglese dalla VII ed. russa), p. 471.

cosa su cui si potevano fare affermazioni certe era l'esistenza di relazioni intime dell'energia chimica con le altre forme di energia presenti in natura. Era molto probabile, anzi, che in tutte le sostanze esistesse una «riserva» di energia chimica, a sua volta espressione di un movimento invisibile che spingeva le sostanze a combinarsi tra loro, proprio grazie al fatto che ogni tipo di movimento poteva trasformarsi in ogni altro, cioè che si conservava. La chimica di Mendeleev, infatti, si fondava su due principi universali: 1) il principio di conservazione della massa e degli elementi e della loro indistruttibilità (nella forma di atomi distinti) durante tutte le trasformazioni chimiche; 2) il principio di conservazione delle forze o dell'energia.

Il primo era stato enunciato da A.L. Lavoisier nel 1789 e rielaborato nella sua forma atomistica dopo le ricerche di J. Dalton; il secondo — detto anche primo principio della termodinamica — derivava dagli studi di fisica del calore di J.R. Mayer, J.P. Joule, R. Clausius, W. Thomson e H. Helmholtz. In esso aveva assunto un particolare rilievo il problema dell'equivalenza fra calore e lavoro e quello dell'equivalente meccanico della caloria, che avevano preso avvio dal famoso lavoro di Sadi Carnot del 1824, *Réflexions sur la puissance motrice du feu.*[2]

Ma l'idea che tutte le forze della natura fossero mutuamente convertibili era già molto diffusa agli inizi del secolo scorso, così come l'idea che esse potessero essere ricondotte a un unico principio d'azione, che si manifestava in maniera differenziata a seconda dei particolari contesti fenomenici. Questa concezione — già fortemente presente nella scienza romantica — era stata esposta nei suoi aspetti più generali ed espliciti dal fisico inglese W. Grove in un saggio del 1843 dal titolo *On the correlations of physical forces*, dove si sosteneva che l'affinità chimica era dovuta a semplici movimenti molecolari, cioè a movimenti esistenti fra le parti invisibili dei corpi.[3] A questo autore farà riferimento Mendeleev nella conferenza dalla quale abbiamo preso le mosse.

L'idea di una natura dinamica, attiva, quasi un organismo vivente, nella quale tutte le forme di energia erano reciprocamente convertibili, era stata sostenuta anche dal chimico italiano Stanislao Cannizzaro, ad esempio nella prelezione del 1856 su *La chimica e le scienze naturali*, nella quale egli sosteneva l'esistenza di una sorgente primitiva, un primo anello, della catena ininterrotta delle mutue trasformazioni energetiche e materiali della natura: oltre la gravità, l'«azione chimica»:

«Si può ben dire che l'elettricità, il calore, il muovimento altro non sono che varie forme nelle quali si mutano le forze chimiche; e non si tarderà a determinare in ciascuna azione chimica l'equivalente dinamico, che comprenderà in una sola espressione la somma

[2] Cfr. Th.S. Kuhn, *Energy conservation as an exemple of simultaneous discovery*, in M. Clagett (ed.), *Critical problems in the history of Science*, Madison 1959, pp. 321-356.

[3] Su W. Grove e l'affinità chimica cfr. M. Goupil, *Du flou au clair? Histoire de l'affinité chimique*, pp. 238-240.

totale degli effetti meccanici, calorifici, elettrici o chimici che possono ottenersene. Per potere dunque svelare i veri rapporti che esistono tra i fenomeni calorifici, luminosi, elettrici, magnetici e meccanici, conoscere le condizioni nelle quali gli uni si mutano negli altri, ed elevarsi ad una teoria, che abbracci la spiegazione di tutti, sia che si propaghino dentro i corpi, sia che si irradino a distanza senza intermedio di materia pesante, è d'uopo studiare tutte queste manifestazione dinamiche nella loro comune sorgente delle trasformazioni della materia; è d'uopo dallo studio completo dei fatti chimici elevarsi alla conoscenza di quelle forze inerenti alle ultime molecole dei corpi, che sono cagione delle loro metamorfosi, e sorgente delle loro varie manifestazioni dinamiche».[4]

Anche per Cannizzaro, come affermerà esplicitamente nel suo «Discorso Faraday» del 1872 *Sui limiti e sulla forma dell'insegnamento teorico della chimica*, le incessanti metamorfosi alle quali erano soggetti i corpi materiali, ivi comprese quelle delle varie forme di energia che in esse si manifestavano, avvenivano all'interno dei due vincoli generali rappresentati dai due principi di conservazione della massa e dell'energia sopra citati:

«Come nello studio de' cangiamenti di composizione ponderale, noi siamo stati guidati dal principio o dalla legge della conservazione della massa della materia, così, nello studio de' fenomeni dinamici connessi coll'azione chimica, noi incominciamo a lasciarci guidare e ci lascieriemo guidare sempre più dal principio o dalla legge della conservazione dell'energia, ossia del lavoro. Questi due studj si completeranno l'un l'altro e si schiariranno reciprocamente».[5]

E il chimico italiano arriverà anche ad ipotizzare una futura unificazione degli aspetti materiali ed energetici dei fenomeni chimici, in un'unica teoria che avrebbe attinto concettualmente a quella unità della realtà della quale i due aspetti sopracitati erano una manifestazione disgiunta ma provvisoria, rifiutando così sia ogni esasperazione del dualismo materia-energia, che ogni sua risoluzione unilaterale:

«A lato di ciascuna equazione ponderale si porrà un'altra equazione termica ossia dinamica, e queste due equazioni diverranno forse come le due facce di una stessa realtà. Questi due studi paralleli convergeranno così verso un'unica teoria che probabilmente riunirà in un solo concetto l'una e l'altra classe di fenomeni».[6]

Del resto anche A.M. Butlerov, uno dei fondatori della teoria chimica della struttura, col quale Mendeleev aveva a lungo collaborato, aveva sostenuto, in una memoria del 1864 *Sulle differenti spiegazioni di alcuni casi di isomeria*, che

[4] S. Cannizzaro, *La chimica e le scienze naturali. Prelezione al corso di chimica generale*, in *Liguria medica*, 1856, pp. 51-76; ora in *Lettere a Stanislao Cannizzaro. Scritti e carteggi 1857-1862*, a cura di L. Paoloni, *Quaderni n. 2*, Seminario di Storia della scienza, Università di Palermo 1992, p. 289.

[5] S. Cannizzaro, *Sui limiti e sulla forma dell'insegnamento teorico della chimica* in *Gazzetta chimica italiana*, vol. 2, fascicolo VI, 1872, pp. 305-333. Ora in A. Di Meo, *Storia della chimica in Italia*, Theoria, Roma 1989, p. 279.

[6] *Ivi*, pp. 279-280.

«l'effettivo legame tra il chimismo, il calore, la luce e altre manifestazioni dell'attività della materia è evidente: che la luce sia movimento è una ipotesi ... giunta pressoché allo stadio di verità incontrovertibile; che il calore sia movimento, è una idea che si presenta come qualcosa di più di una semplice probabilità fin dal momento in cui è sorta la teoria meccanica del calore; a me pare che oggi si possa dire, con un buon grado di probabilità, *che non si sbaglia chi chiama movimento tutti i fenomeni del chimismo*. Se un giorno si riuscirà a mettere in chiaro la relazione causale tra tutte le specie di questo movimento, anche i fenomeni del chimismo potranno avere una trattazione rigorosa sulla base di una teoria meccanica ... che potrà avere una propria collocazione precisa nella scienza, *come parte ben definita di un tutto armonioso*. Si tratterà, presumibilmente, di una teoria che, nella stessa misura di altre parti di questo edificio e delle teorie concernenti altri tipi di movimento, sarà soggetta ad una analisi matematica».[7]

In effetti Mendeleev condividerà queste posizioni più generali: egli sosterrà, infatti, che ogni molecola era costituita da atomi in movimento o che possedevano essi stessi una «riserva di movimento», ovvero l'analogo di ciò che — in contrapposizione all'«energia libera» — Helmholtz aveva definito «energia legata». Era quest'ultima forma di energia, infatti, che poteva essere messa in gioco nelle reazioni chimiche, che erano quindi determinate dai continui spostamenti di atomi dotati di un movimento che si conservava. Mendeleev considerava il mondo naturale, e le trasformazioni chimiche che in esso avvenivano, in uno stato di equilibrio dinamico, analogo a quello esistente nel Sistema solare o nei sistemi stellari. Un equilibrio di questo tipo vigeva anche nel micromondo degli atomi, anch'essi disposti in un «ordine armonioso» (ma non equiparabile alla quiete) che, seppure ancora solo in linea di principio, poteva essere espresso per mezzo di relazioni matematiche.[8] Una chimica «teorica» o «fisica» poteva quindi essere concepita soltanto come una sorta di «meccanica chimica», in cui potevano essere incluse le recenti scoperte dell'energetica. Ma l'analogia fra il mondo degli atomi e quello meccanico del Sistema solare non era riconducibile a una identità, poiché i due sistemi erano diversamente stabili per sostituzione dei propri componenti.[9]

[7] A.M. Butlerov, *Socinenija (Opere)*, volume II, Moskva 1953, p. 45. Cit. da S. Tagliagambe nella *Introduzione* a D.I. Mendeleev, *Sullo spiritismo*, Torino 1992, p. XXV (i corsivi sono miei).

[8] D.I. Mendeleev, *Die periodische Gesetzmassigkeit der Chemischen Elemente*, in *Annalen der Chemie und Pharmacie. Supplement band 8,* 1871, pp. 133-229. Trad. it. *La legge della periodicità degli elementi chimici*, in D.I. Mendeleev, *Il sistema periodico degli elementi*, a cura di S. Tagliagambe, Roma, Teknos, 1994, pp. 31 sgg.

[9] «Mi è capitato di sentire più di una volta paragonare un elemento monoatomico al Sole, e gli elementi legati ad esso ai pianeti. Ma questa analogia è vanificata dal fatto che il sistema rimane stabile in caso di sostituzione di un pianeta con un altro, la cui massa sia superiore a quella del Sole» (*ivi*, trad. it., p. 86).

2. Una delle prove più evidenti dell'armonia e della universale analogia della natura era costituita dalla «legge della periodicità degli elementi», scoperta dallo stesso Mendeleev ed esposta in maniera preliminare e tentativa, soprattutto nei suoi aspetti fattuali, nella memoria sulla *Correlazione delle proprietà con i pesi atomici degli elementi* del 1869[10] e nei successivi *Osnovy himii* (*Principi di chimica*) sempre del 1869. Nella memoria, dopo aver passato in rassegna alcuni incerti e parziali tentativi di classificazione degli elementi, il chimico russo affermava di aver trovato il principio unificatore che poteva consentire in maniera certa l'ordinamento delle sostanze elementari allora conosciute: il peso atomico. Questo, infatti, era l'unica proprietà degli elementi che non era soggetta a nessuna variazione attraverso tutte le trasformazioni chimiche e fisiche che gli stessi elementi potevano subire. Una volta stabilito quale dovesse essere l'invariante sul quale fondare la classificazione degli elementi, Mendeleev giungeva poi alla fondamentale scoperta che non solo la grandezza del peso atomico definiva le proprietà dei differenti elementi, ma anche che «gli elementi, disposti secondo la grandezza dei loro pesi atomici mostrano chiaramente proprietà *periodiche*».[11]

Questa scoperta trovò la sua più esplicita formulazione e definizione come una vera e propria legge di natura nel 1871 in una memoria su *La legge della periodicità degli elementi chimici*,[12] in cui si affermava che le proprietà dei differenti atomi degli elementi chimici dipendevano in maniera periodica dal loro peso atomico, e che questa mutua dipendenza consentiva di ordinare tutti gli elementi chimici in maniera sistematica:

«Se si vuole arrivare al risultato di collegare tra loro le proprietà degli elementi, di sottoporle a uno studio rigoroso, che possa condurre a conclusioni pratiche e rendere possibile la previsione in campo chimico, è necessario prendere in esame sia le proprietà generali appartenenti al gruppo di elementi al quale si riferisce quello preso in considerazione, sia le caratteristiche individuali di quest'ultimo. Successivamente, sulla base del tipo di collegamento e di generalizzazione che ne risulta, si deve pervenire a delineare una proprietà che sia passibile di una misurazione precisa. Una simile proprietà non da oggi, ma già da molto tempo, è stata individuata nel peso atomico degli elementi ... Il raffronto degli elementi sulla base del loro peso atomico può inoltre trasferire i dati chimici relativi ad essi sul terreno delle conoscenze meccaniche, e per questo mi sembra la cosa più naturale e proficua cercare la dipendenza delle altre proprietà degli elementi dal loro peso atomico. La ricerca di questa dipendenza costituisce, a mio giudizio, il più

[10] D.I. Mendeleev, *Correlazione delle proprietà con il peso atomico degli elementi*, in *Zurnal Russkogo himiceskogo obscsestva* (*Rivista della società chimica russa*), vol 1, fasc. 2 e 3, 1869, pp. 60-77); *Ueber die Beziehungen der Eigenschaften zu der Atomgewichten der Elemente*, in *Zeitschrift fur Chemie*, volume XII, 1869, pp. 405 sgg. Trad. it. in D.I. Mendeleev, *Il sistema ecc.*, cit., pp. 7-26.

[11] *Ivi*, trad. it., p. 23.

[12] D.I. Mendeleev, *La legge della periodicità*, cit. pp. 7 sgg. Cfr. D.N. Trifonov, *La dottrina della periodicità*, in J.I. Solov'ev, *L'evoluzione del pensiero chimico dal '600 ai giorni nostri*, Milano 1976, pp. 264 sgg.

importante dei compiti della chimica del futuro ... I rapporti, che verranno esposti in seguito e che risultano applicabili a tutti gli elementi, tra le proprietà e i pesi atomici vengono da me raccolti e definiti sotto l'etichetta di *legge della periodicità*, in quanto questa dipendenza assume la forma di una funzione periodica ... [questa legge] può essere formulata nel modo seguente: le *proprietà degli elementi*, e in conseguenza anche le proprietà dei corpi da essi formati, *si trovano in dipendenza periodica del loro peso atomico*».[13]

Per Mendeleev il fatto che gli atomi obbedissero a una legge di tale generalità costituiva una conferma ulteriore della universale armonia della Natura, già rivelata per i corpi celesti da Newton e confermata poi dai due principi di conservazione sopra enunciati. Questa legge, inoltre, rivelava l'esistenza immanente di un ordine sottostante a un mondo di oggetti, come quello degli elementi, che apparentemente ne era privo; che poteva apparire come un insieme casuale, accidentale, di enti naturali senza alcuna interna relazione sistematica. Fino a quel momento la scoperta degli elementi non era stata il risultato di una necessità immanente alla struttura relazionale della materia, quanto una serie casuale, seppure rilevante, di eventi teorici e sperimentali senza nessun legame organico. Ora, al contrario, la legge periodica rendeva possibile concepire gli elementi in maniera diversa. La dipendenza delle loro proprietà dai pesi dei loro atomi e il periodico ripresentarsi di queste proprietà consentiva — per la prima volta — di *prevedere* la scoperta di elementi necessari alla completezza del sistema, ognuno dei quali era dotato di un certo numero di proprietà ben definite. Nel 1879, dopo la scoperta del gallio, dello scandio e del germanio, cioè dei tre elementi mancanti dalla tavola e dei quali il chimico russo aveva previsto l'esistenza, egli scriveva a G.A. Quesneville che

«è ora evidente che la legge periodica porta a conseguenze che i precedenti sistemi non avrebbero osato prevedere. Prima si aveva solo uno schema, un aggruppamento sottoposto a determinati fatti, mentre la legge periodica subordina a se stessa i fatti, e tende ad approfondire il principio filosofico che governa la natura misteriosa degli elementi».[14]

Il tema dell'«armonia» e dell'«ordine» delle parti insensibili microscipiche e sensibili macroscopiche della Natura; l'idea che questa fosse un «tutto» organico e sistematico e soprattutto dinamico, nel quale l'uomo doveva trovare una sua collocazione come parte di una realtà più grande e generale, molto ricorrenti negli scritti scientifici del chimico russo, avevano un radicamento molto forte nella sua psicologia e nel suo sentimento estetico. Una interessante testimonianza di ciò la si può ricavare da un suo articolo scritto nel novembre 1880 e pubblicato dal giornale *Golos*, dedicato alle impressioni suscitate in lui dal quadro del pittore Kuindzi, «Notte sul Dniepr», nel quale egli tenta una correlazione fra scienza e arte:

[13] D.I. Mendeleev, *La legge della periodicità*, cit., pp. 31, 33, 37.

[14] La citazione si trova in D.N. Trifonov, *La dottrina della periodicità*, cit., p. 271.

«Sia dunque consentito anche a uno scienziato, come me, di comunicare le emozioni e i pensieri che mi sono stati ispirati da questo quadro. Li esporrò in modo frammentario, ma essi si sono presentati alla mia mente in modo *armonioso* e *ordinato*, rispondendo a una domanda che mi ponevo già da tempo, quella relativa all'influenza del paesaggio sullo spettatore ... La natura ha cessato di essere una schiava, una cornice, per diventare una compagna, di pari livello e dignità dell'uomo, come la moglie per il marito. Ciò che prima appariva morto e privo di sensi è risuscitato agli occhi degli uomini. Ovunque si è rintracciato il *movimento*, in ogni dove si è trovata una *riserva di energia*, dappertutto si è cominciato a vedere una ragione naturale, di livello superiore, accompagnata da *semplicità* e *armonia* o *bellezza* nel vero senso della parola ... La vecchia fede nella ragione umana assoluta è ancora forte, anche se si indebolisce progressivamente, non è ancora maturata del tutto la nuova, orientata invece verso il *tutto*, di cui l'uomo costituisce una parte che rientra nell'ambito di leggi più generali: per questo alcuni ritengono che ciò che svanisce non viene affatto rimpiazzato, ma la forza della scienza della natura e del paesaggio sta sempre più convincendo della potenza di ciò che nasce».[15]

Benché si definisse un convinto newtoniano quando sosteneva l'esigenza di una meccanica chimica analoga a quella dei corpi terrestri e celesti, tuttavia a Mendeleev non sfuggiva la novità del suo sistema rispetto a quello della meccanica classica. In entrambi era evidente una dipendenza di tipo funzionale rispetto alla massa dei corpi coinvolti (celesti, terrestri o microscopici). Ma il suo sistema rivelava una proprietà inedita della massa: cioè che il suo incremento generava una ricorrenza periodica, ciclica, nelle proprietà degli atomi coinvolti. Non solo: il suo sistema di classificazione metteva in rilievo come la spiegazione dello stesso concetto di «massa» dovesse essere trovata nel mondo degli atomi, poiché la massa di ogni corpo poteva essere considerata la combinazione o l'aggregazione delle masse degli atomi chimici, cioè degli «individui chimici» elementari. Mendeleev, infatti, rispristinerà uno dei significati del termine greco «atomos», cioè quello di «individuo», ovvero un ente definito da precise e circoscritte proprietà distintive rispetto ad altri enti analoghi o differenti.[16] Il sistema periodico, infatti, contrariamente a quello meccanico, era in grado di raggruppare, in virtù di una legge, enti materiali in cui era molto stretto il rapporto fra la massa e le loro proprietà singolari. Anzi si trattava della prima teoria scientifica che poneva in una relazione diretta *massa* e *qualità*. Il sistema periodico era per Mendeleev irriducibilmente e qualitativamente «pluralistico». Esso, però, non era opera del caso. Per Mendeleev, il caso in natura non esisteva:

«Così mi sono messo a riunire ... gli elementi analoghi e i pesi atomici vicini, la qual cosa mi condusse rapidamente alla conclusione che le proprietà degli elementi sono in rapporto periodico con il loro peso atomico. Incerto su molte cose che non erano ben

[15] Cit. nella *Introduzione* di S. Tagliagambe, cit., pp. XXXIX, XL, XLI. I corsivi sono miei [n.d.a.].

[16] D.I. MENDELEEV, *The periodical law of the chemical elements*, in *Journal of the Chemical Society*, vol. IV, 1889, pp. 636-689. Trad. it. *La legge periodica degli elementi chimici*, in D.I. MENDELEEV, *Il sistema periodico degli elementi*, cit., p. 107.

chiare, tuttavia non ho dubitato un solo istante della portata generale della mia conclusione, poiché è impossibile ammettere che si trattasse di un caso».[17]

Nella «Faraday Lecture» su *The periodic law of the chemical elements*, tenuta a Londra sempre nel 1889, riferendosi alla celebre affermazione di Kant secondo cui dovevano essere oggetto di ammirazione il cielo stellato sopra di noi e la legge morale dentro di noi, Mendeleev affermava che

«quando rivolgiamo i nostri pensieri alla natura degli elementi e alla legge periodica, dobbiamo aggiungere un terzo soggetto, cioè "la natura degli individui elementari che scopriamo ovunque intorno a noi". Senza di essi lo stesso cielo stellato sarebbe inconcepibile; e negli atomi vediamo, simultaneamente, le loro peculiarità individuali; la loro molteplicità infinita, e la *sottomissione della loro apparente libertà all'armonia generale della Natura*».[18]

Ancora una volta era l'idea dell'esistenza di una struttura armonica della natura — che sottostava al suo apparire molteplice — a guidare la mente del ricercatore. Tale idea era il presupposto per ogni possibile conoscenza scientifica del mondo e, quindi, per l'organizzazione e la generalizzazione dei dati scientifici in vere e proprie leggi.

Le ricerche sugli equilibri delle reazioni chimiche che nel 1867 erano sfociate nella «legge di azione di massa» di C.M. Guldberg e P. Waage, confermavano Mendeleev nella idea di una natura in perpetuo equilibrio dinamico, in cui avvenivano incessanti trasformazioni reciproche di materia e di energia, all'interno dei vincoli inviolabili rappresentati dai due principi generali di conservazione già ricordati. Ponendosi il problema capitale della filosofia chimica della natura, Mendeleev così si esprimeva nei suoi *Principi di chimica*:

«Avendo accettato la validità della legge di cui sopra, sorge involontariamente la seguente questione: se vi sia un limite alle varie trasformazioni chimiche, o se esse siano in numero illimitato — cioè se sia possibile da una data sostanza ottenere una quantità equivalente di tutte le altre sostanze. In altre parole, esiste una trasformazione *perpetua* e *infinita* di un tipo di materia in tutti gli altri tipi, o il *ciclo* di queste trasformazioni è limitato?».[19]

Anche il carattere periodico del ripresentarsi delle proprietà degli elementi in funzione del peso atomico, poteva essere interpretato come una tendenza della natura a ripetersi, a riprodurre fenomeni analoghi, così come si ripeteva la successione dei giorni e degli anni che scandivano il trascorrere del tempo del movimento ciclico degli astri. Ma in ciò che cambiava qualcosa si manteneva e in ciò che si manteneva qualcosa cambiava. Per Mendeleev, infatti, lo scopo

[17] Cit. in O. Pissarjevski, *Dimitri Ivanovitch Mendeleev*, Moscou 1955, p. 80.

[18] D.I. Mendeleev, *The periodic law of the chemical elements*, Faraday Lecture, 1889, in *Principles of Chemistry*, cit., p. 496. Trad. it. *La legge periodica degli elementi*, in D.I. Mendeleev, *Il sistema periodico degli elementi*, cit., pp. 110-111.

[19] D.I. Mendeleev, *Principles of chemistry*, cit., p. 14. I corsivi sono miei.

generale della indagine chimica era fondamentalmente quello di scoprire «*cosa* rimane invariato nella evoluzione chimica e *come* avvengono i cambiamenti nelle combinazioni di ciò che non varia».[20] Come abbiamo visto, questa convinzione più generale nasceva dal problema sul quale inizialmente aveva lavorato Mendeleev, cioè trovare un *invariante* elementare sul quale fondare solidamente una classificazione degli elementi nella forma di un insieme di serie naturali permanenti. Infatti, nella memoria del 1869, a proposito del peso atomico, Mendeleev si chiedeva esplicitamente se «in presenza di ogni variazione nelle proprietà dei corpi semplici, nel loro stato libero, non vi debba pur essere un *qualcosa* che rimane costante. Quando l'elemento in questione entra a far parte di un composto deve appunto essere questo *qualcosa* di materiale a concorrere a determinare le caratteristiche dei composti che lo comprendono».[21]

Questo invariante era il «peso atomico» dei differenti elementi così come Cannizzaro li aveva ricavati nelle sue ricerche storico-critiche sulla teoria atomico-molecolare del suo tempo.

3. Nel brano citato sopra, nel quale Mendeleev aggiungeva ai kantiani cielo stellato e legge morale il sistema periodico degli elementi come la terza delle meraviglie della natura, vi era un importante riferimento — carico di implicazioni, come vedremo — al fatto che lo stesso cielo stellato non poteva essere concepito scientificamente senza l'ausilio della chimica. In effetti, a partire dalla seconda metà del secolo scorso gli studi di spettroscopia, oltre a far scoprire nuovi elementi terrestri fino ad allora ignoti (cesio, rubidio, tallio, indio), avevano dimostrato che anche il Sole e le stelle erano composti di elementi già noti o di altri fino ad allora sconosciuti. Queste ricerche avevano avuto un notevole sviluppo grazie soprattutto ai lavori di R.W. Bunsen e G.R. Kirchhoff compiuti a Heidelberg. Qui essi avevano messo a punto uno strumento necessario a tale scopo, lo spettroscopio (a Heidelberg, proprio nel laboratorio di Bunsen e Kirchhoff, aveva soggiornato dal 1859 al 1861 lo stesso Mendeleev).[22] La spettroscopia consentiva un notevole allargamento del campo di indagine della chimica poiché permetteva di compiere l'analisi spettrale anche della luce solare e stellare. Nel 1869 P. Jansen a Parigi e J.N. Lockyer a Londra, effettuando l'analisi spettrale della cromosfera solare, scoprirono un nuovo elemento, l'elio, che

[20] D.I. MENDELEEV, *An attempt ecc.*, cit., p. 473.

[21] D.I. MENDELEEV, *Correlazione delle proprietà con il peso atomico degli elementi*, cit., p. 14.

[22] Sulla analitica chimica e sulle origini e sviluppi della spettroscopia cfr. F. SZABADVARY, *History of analytical chemistry*, Oxford 1966; M.A. SUTTON, *Spectroscopy and the chemists: a neglected opportunity?*, in *Ambix*, volume 23, 1976, pp. 16 sgg.; F.A.J.L. JAMES, *The establishment of spectro-chemical analysis as a pratical method of qualitative analysis. 1854-1861*, in *Ambix*, volume 30, 1983, pp. 30 sgg.

poi fu trovato anche in alcuni minerali terrestri o sotto forma di gas. Successivamente, grazie alle ricerche di J. Fraunhofer, E. Frankland e W. Ramsay, la spettroscopia stellare compì notevoli progressi che portarono all'importante conclusione dell'unità chimica dell'Universo, ovvero della validità universale della chimica terrestre. Come affermerà l'astronomo W. Huggins nel 1864, in una memoria scritta insieme al chimico W.A. Miller:

«Un importante oggetto di questa indagine spettroscopica della luce delle stelle e di altri corpi celesti, era quello di scoprire se gli stessi elementi chimici che compongono la nostra Terra sono presenti in tutto l'Universo: a questo è stata data, in maniera del tutto soddisfacente, una risposta affermativa; è stato mostrato come una chimica comune esista in tutto l'Universo».[23]

Solo ora, quindi, era possibile concepire una chimica veramente universale scientificamente fondata, ed eventualmente, una cosmologia a fondamento chimico. Lo stesso Huggins credeva di aver scoperto un nuovo elemento, il «nebulio», a causa di una linea verde di origine sconosciuta da lui osservata nella nebulosa di Orione. Inoltre questi studi rendevano possibile una classificazione delle stelle secondo tipologie caratterizzate dalla particolare rilevazione degli spettri degli elementi in esse presenti. Nel 1867 il gesuita A. Secchi, che operava nell'Osservatorio del Collegio romano, classificò le stelle in quattro tipi distinti: 1) le *stelle bianche*, come Sirio e Vega, con predominanza delle linee spettrali dell'idrogeno; 2) le *stelle gialle*, simili a Arcturus o Capella, con uno spettro simile a quello solare; 3) le *stelle rosso-arancione*, come Betelgeuse e Antares con una serie di linee scure e luminose; 4) infine le *stelle debolmente rosse*. Successivamente E.C. Pickering suddivise i tipi di Secchi secondo una serie alfabetica da A a D per il tipo 1; da E a L per il tipo 2; M per il tipo 3 e N per il 4. A questi aggiungeva le stelle O, P, Q, con linee spettrali luminose non osservate in nessuno dei quattro tipi precedenti.

Ma lo sviluppo della spettroscopia poneva problemi anche per le ipotesi sulla struttura della materia. Bunsen e Kirchhoff, infatti, ritenevano che lo spettro di ogni elemento fosse unico, indivisibile e costante in tutte le diverse condizioni sperimentali.

Questa idea discendeva dalla teoria atomica allora corrente per la quale, come sappiamo, a ogni elemento corrispondeva una sola specie atomica; cioè ogni elemento era caratterizzato da atomi indivisibili e indistruttibili — almeno con le forze allora a disposizione — e ognuno dotato di uno determinato peso atomico. Nel 1865 J. Plucker e J.H. Hittorf, studiando gli spettri ottici dei gas, non solo scoprirono tre tipi di radiazioni — raggi X, raggi catodici e raggi ano-

23 W. Huggins, W.A. Miller, *On the spectra of some of the fixed stars, and supplement by Huggins, On the spectra of some of the nebulae*, in *Philosophical Transactions*, 1864, n. 154, pp. 413-435, 437-444. Cit. in S.F. Mason, *Chemical Evolution*, Oxford 1991, p. 10.

dici — che stavano ad indicare come fosse possibile concepire la struttura della materia in maniera più complessa di quanto allora si ritenesse; essi trovarono anche che alcune sostanze elementari fornivano differenti tipi di spettri a seconda della temperatura alla quale veniva fatta l'analisi spettroscopica (per esempio gli spettri ottenuti con la fiamma erano diversi da quelli ottenuti per mezzo di una scintilla). Ciò sembrava mettere in crisi l'idea originaria che a ogni specie atomica dovesse corrispondere un solo spettro. Molti chimici spiegarono tale apparente anomalia sostenendo che le diverse serie di linee spettrali erano dovute ai moti vibrazionali degli atomi alle differenti temperature alle quali venivano portati, collegando così, in modo diretto, la variazione di energia termica con la variazione di un qualche tipo di movimento degli atomi nelle molecole o delle molecole stesse (fra questi Mendeleev e Cannizzaro, come vedremo).

L'astronomo inglese Lockyer, invece, spiegò l'anomalia in un altro modo. Nel 1873 inviò una memoria alla Royal Society nella quale sosteneva che i fenomeni della molteplicità degli spettri, ovvero la molteplicità delle linee per lo spettro di un unico elemento, rivelavano l'esistenza di componenti ancora più elementari dei corpi considerati fino ad allora semplici. Questi componenti si rendevano visibili attraverso la spettroscopia solo alle alte temperature, come quella delle stelle. Studiando gli spettri stellari, solari e terrestri, Lockyer era infatti arrivato alla conclusione che più una stella era calda più il suo spettro era semplice e che gli elementi metallici apparivano nella composizione della cromosfera stellare secondo un ordine di peso atomico crescente. Si poteva quindi affermare che vi era una correlazione fra la temperatura delle stelle e la presenza in esse di determinate sostanze. Nelle stelle molto brillanti si trovavano grandi quantità di idrogeno e tracce di magnesio; nelle stelle più fredde, come il Sole, l'idrogeno, il magnesio, il sodio, il calcio, il ferro, e così via, ma non i metalloidi; nelle stelle ancora più fredde nelle quali erano presenti già tutti i metalli, le cui linee spettrali non erano più visibili, si ottenevano invece gli spettri dei metalloidi e dei composti. Da questi dati Lockyer giunse ad una serie di conclusioni rilevanti. La prima consisteva nell'ipotizzare che esistesse una relazione inversa fra il tempo di raffreddamento delle stelle e la presenza in esse dell'idrogeno, cioè che più una stella era vecchia (cioè più era fredda) più l'idrogeno libero diminuiva fino quasi a scomparire. La stessa relazione poteva essere estesa ai pianeti, come la Terra. La seconda conclusione consisteva nel ritenere verosimile che, negli strati in continuo rivolgimento del Sole e delle stelle, fossero all'opera «vari gradi di "dissociazione celeste"» che impediva che si riunissero quegli stessi atomi che, alla temperatura della Terra e a tutte le temperature artificiali ottenute fino ad allora, davano luogo ai metalli, ai metalloidi, e ai composti.[24] Infine, la terza e più generale conclusione di grande portata scientifica e

[24] J.N. Lockyer, in *Philosophical Transactions*, volume CIXIV, parte II, 1873, p. 491. Dello stesso autore cfr. le memorie *Discussion of the Working Hypothesis that the socalled Ele-*

filosofica, e cioè che nella natura inorganica esisteva un *principio di evoluzione* degli elementi a partire da una «materia prima» alla quale tutti potevano essere ricondotti in certe condizioni, quali, per esempio, le altissime temperature delle stelle o quelle raggiunte nella scarica elettrica durante l'analisi spettroscopica realizzata con un arco voltaico. Gli elementi noti fino ad allora erano stati rivelati per mezzo dei limitati metodi analitici a disposizione, soprattutto col calore o mediante l'elettrolisi; utilizzando cioè forme di energia relativamente blande. In presenza di energie elevatissime avvenivano fenomeni di dissociazione ancora più radicali e profondi, in grado di suddividere ulteriormente gli atomi delle sostanze semplici che, non solo non erano indivisibili e indistruttibili, ma si erano formati attraverso un percorso evolutivo a partire da un componente primordiale identico per tutti. Tale percorso era direttamente proporzionale al grado di raffreddamento della materia. Via via che la materia si raffreddava si realizzava un aumento della complessità delle sue «forme» chimiche, mentre, al contrario, l'aumento di temperatura, fino al raggiungimento di quella delle stelle, comportava una diminuzione di questa stessa complessità. In un saggio del 1887, *The Chemistry of the Sun*, Lockyer affermava che

«se lo spettro più basso rappresenta quello di un corpo complesso come il ferro, o un sale di calcio, gli spettri più alti rappresenteranno quelli dovuti a raggruppamenti più fini indotti da temperature più alte. Così si passa continuamente, come nel Sole e nelle stelle, dalla complessità alla semplicità, se si comincia dalle temperature più basse, e dalla semplicità alla complessità, se si comincia dalle temperature più alte».[25]

Se la semplicità delle sostanze dipendeva dalla capacità risolutiva dei mezzi impiegati, gli atomi non erano *assolutamente* indivisibili, ma lo erano solo in relazione a determinate condizioni sperimentali o naturali. Posizione che in linea di principio era condivisa dalla gran parte dei chimici dell'epoca.

Cannizzaro, che ebbe un ruolo decisivo nella formulazione «classica» della teoria atomico-molecolare, sosteneva, per esempio, una concezione ontologicamente «debole» della struttura atomica della materia. Anche per Cannizzaro, infatti, l'atomo era la più piccola parte indivisibile della materia, ma solo relativamente alle forze chimiche utilizzate, cioè solo all'interno di determinate condizioni sperimentali. Nella *Lezione sulla teoria atomica* del 1858, a proposito del fatto che mezza molecola di idrogeno era la quantità minima di questo elemento che si ritrovava in tutti i composti idrogenati, egli affermava:

«Diamo a questa minima quantità il nome di atomo; per ciò diciamo essere la molecola dell'idrogeno composta di due atomi. Nel dir ciò noi non asseveriamo che ciascun di questi atomi non contenga parti distinte, ma non vogliamo altro esprimere che il

ments are Compound Bodies, e *The Supposed Compound Nature of the Elements*, entrambe in *Chemical News*, 1879, volume 39, pp. 1-7 e 11-16; vol. 40, p. 101. Su Lockyer cfr. A.J. MEADOWS, *Science and Controversy: a Biography of Sir Norman Lockyer*, London 1972.

[25] J.N. LOCKYER, *The Chemistry of the Sun*, London 1887, p. 262.

seguente fatto: ciascuno di questi atomi non si subdivide mai in quella sfera di azioni chimiche che siamo giunti a produrre; potrebbe darsi che, estendendo i nostri mezzi analitici, giungeremo a scoprire una ulteriore divisione della mezza molecola di idrogeno».[26]

Posizione ribadita nel più celebre *Sunto di un corso di filosofia chimica*, sempre del 1858, dove sosteneva che sia la «mezza molecola» (atomo) di idrogeno, che l'intera «molecola» (atomo) di mercurio erano

«indivisibili almeno *nella sfera delle azioni chimiche attualmente note*. Tu [S. De Luca] ti accorgi bene che con quest'ultima espressione io scanso la questione: se si possa giungere a dividere ulteriormente questa quantità».[27]

In entrambi questi importanti testi, fondativi della teoria atomica e molecolare ottocentesca, Cannizzaro aveva enunciato — sulla base di un complesso ragionamento sullo stato della chimica e della fisica del suo tempo — una vera e propria «legge degli atomi» nella quale si affermava che

«le varie quantità dello stesso elemento, contenute nelle molecole sia del corpo libero, sia dei suoi composti, son tutte multiple intere di una medesima quantità, la quale perciò entrando sempre intera è l'atomo di quell'elemento».[28]

Il carattere ontologicamente «debole» della concezione cannizzariana si articola in due ulteriori momenti teorici molto importanti, a mio avviso non considerati appieno dai suoi interpreti, compreso Mendeleev, ed entrambi fondati sul carattere relazionale dei concetti di «atomo» e di «molecola».

Il primo riguardava il carattere *relativo* del «concetto» di atomo e di molecola — e della loro caratterizzazione quantitativa nel senso del «peso atomico» e del «peso molecolare» — *versus* l'idea della necessità di una determinazione del loro peso *assoluto*, ovvero di ipotesi sulla loro *reale natura e struttura*. Su questo Cannizzaro sarà assai chiaro e determinato nel rivendicare all'atomo e al peso atomico, alla molecola e al peso molecolare, una caratteristica relativa non solo, come abbiamo appena visto, alle forze chimiche e fisiche in gioco, ma anche ad un peso atomico e molecolare presi come unità di riferimento (quelli dell'idrogeno) ai quali riferire tutti gli altri: in questo senso l'atomo veniva identificato col suo peso atomico, e la molecola con il suo peso molecolare, e la

[26] S. Cannizzaro, *Lezione sulla teoria atomica*, in *Liguria Medica*, nn. 5-6, 1858. Anche in S. Cannizzaro, *Scritti intorno alla teoria molecolare ed atomica*, Palermo 1896, p. 59; e ora in A. Di Meo, *Storia della chimica in Italia*, Roma 1989, p. 226.

[27] S. Cannizzaro, *Sunto di un corso di filosofia chimica fatto nella Reale Università di Genova*, in *Nuovo Cimento*, volume VII, maggio 1858. Ora anche in S. Cannizzaro, *La teoria atomica e molecolare*, a cura di A. Di Meo, Roma, Teknos, 1994, p. 19 (dal quale trarremo le successive citazioni). Il corsivo è dell'autore. Su quest'opera cfr. A. Di Meo, *Atomi e molecole fra storia, didattica e teoria*, in *Ivi*, pp. VII-XLII; L. Cerruti, *Il luogo del Sunto*, in S. Cannizzaro, *Sunto di un corso di filosofia chimica*, cit., Palermo 1991.

[28] S. Cannizzaro, *Lezione sulla teoria atomica*, cit., p. 230. La stessa legge è stata enunciata ancora nel *Sunto* (in S. Cannizzaro, *La teoria atomica e molecolare*, cit., pp. 9-10).

materia in generale, come vedremo meglio in seguito, con la ponderabilità. L'idea di un peso assoluto dell'atomo (e della molecola) per il chimico italiano era inutile e fuorviante per lo stabilimento di una teoria atomica e molecolare ben fondata, e dalla quale era bene che i chimici si liberassero il più presto possibile. Ciò che contava, per Cannizzaro, erano piuttosto i *rapporti* fra i vari pesi in gioco nelle trasformazioni chimiche:

«Noi non possiamo conoscere i pesi delle molecole comparati ai pesi a noi noti, ma possiamo conoscere i loro pesi relativi. Così possiamo dire che la molecola del bromo pesa 80 volte quella dell'idrogeno. Nell'indicare i pesi relativi delle molecole bisogna scegliere una unità alla quale riferirli. Che cosa vi ha di più semplice che di prendere per unità il peso di quella molecola che è minore, cioè il peso della molecola di idrogeno? Ma siccome vogliamo anche conoscere i pesi relativi degli atomi dei corpi semplici e compararli coi pesi delle loro molecole e di quelle dei loro composti, così conviene scegliere una unità comune pei pesi sì degli atomi che delle molecole. Avendo scoperto che la mezza molecola di idrogeno è l'atomo di questo corpo e che esso è il meno pesante tra gli atomi di tutti gli altri, perciò prenderemo il peso di questa mezza molecola per unità, a cui riferire i pesi, sì degli atomi dei corpi semplici come delle molecole di loro, e dei loro composti».[29]

Così nella *Lezione sulla teoria atomica*. Nel *Sunto* dimostrerà che anche utilizzando un supposto peso atomico reale dell'atomo di idrogeno i pesi atomici reali, ma sempre relativi, degli altri elementi rimanevano invariati. Una volta scelta l'unità di riferimento diventava inessenziale arrivare a livelli di realtà, come quella microscopica degli eventuali atomi «reali», irraggiungibile con i mezzi sperimentali noti:

«Tutti i numeri contenuti nel quadro precedente sono comparabili tra di loro, essendo riferiti alla medesima unità. È per piantare ciò bene in mente ai miei allievi, ricorro ad un artificio semplicissimo, cioè dico loro: supponete che si dimostrasse che la mezza molecola dell'idrogeno pesasse un milionesimo di milligrammo, allora tutti i numeri del quadro precedente divengono numeri concreti, esprimendo in milionesimi di milligrammi i pesi concreti delle molecole e dei loro componenti; lo stesso seguirebbe se l'unità comune avesse un altro valore concreto, e così li conduco a farsi un concetto ben chiaro della comparabilità di questi numeri, qualunque sia il valore concreto dell'unità comune. Una volta che questo artificio ha servito al suo scopo, mi affretto a distruggerlo esponendo come non si può in realtà conoscere il valore concreto di questa unità ... Fo presso a poco come gli ingegneri, i quali distruggono le armature in legno che hanno servito a costruire i ponti appena essi possono reggersi da loro stessi».[30]

Nel «Discorso Faraday» del 1872, dopo aver ripreso l'esempio appena citato, di nuovo presentato come artificio puramente didattico, Cannizzaro concludeva enfaticamente che in questo modo, nei confronti dei suoi allievi, egli giungeva «a far emancipare questi spiriti dal valore concreto dell'unità e farli

[29] S. Cannizzaro, *Lezione sulla teoria atomica*, cit., p. 227.
[30] S. Cannizzaro, *Sunto ecc.*, cit., p. 9.

contentare della contemplazione de' rapporti ed impiegare con confidenza i numeri che li esprimono».[31]

Il secondo momento riguarda il fatto che la definizione di «atomo» era un *derivato* rispetto a quello di «molecola», ovvero questi due concetti si implicavano a vicenda. Oggi siamo abituati a pensare che *prima* viene l'atomo con le sue proprietà distintive e *poi* la molecola che comprende parte o tutte le proprietà degli atomi componenti. Non era così per Cannizzaro, per il quale il punto di partenza, è la realtà delle molecole semplici o composte dei corpi e *poi, di conseguenza*, la realtà degli atomi, definiti, come abbiamo ripetutamente visto, come la più piccola quantità di un elemento che partecipava alla composizione delle molecole dei diversi corpi semplici o composti, ma entrambi complessi. Tutti i suoi lavori sulla teoria atomica e molecolare stanno a dimostrare chiaramente tale posizione, compresa, soprattutto, la sua «legge degli atomi». Del resto, ancora più esplicitamente, egli lo affermerà nel *Discorso di apertura della Classe III del I Congresso della Società Ialiana per il Progresso delle Scienze* del 1875, sul quale ritornerò successivamente. In esso Cannizzaro affermava più volte che «gli atomi così dimostrati non sono che una legge della composizione delle molecole, e non potrà mai farsi dei primi un concetto indipendente da quello delle seconde».[32] A queste due posizioni Cannizzaro rimarrà sempre fedele.

4. Ma se è vero che il chimico italiano riuscì nel 1858 ad eludere (provvisoriamente) la questione della ulteriore divisibilità degli atomi, tuttavia essa rimase presente in tutto il dibattito ottocentesco sull'atomismo. Il *Sunto*, peraltro, ebbe una decisiva influenza sulle ricerche di Mendeleev sulla legge della periodicità, dopo che il chimico russo ne prese conoscenza al Congresso internazionale di chimica convocato a Karlsruhe nel 1860, e al quale aveva partecipato lo stesso Cannizzaro.[33] Nella seconda «Faraday Lecture» del 1889, Mendeleev, renderà un appassionato omaggio a Cannizzaro e al ruolo da lui svolto per lo sviluppo della teoria atomico-molecolare a Karlsruhe, e questo dopo ben 29 anni dall'evento! Tanto esso era stato decisivo per gli sviluppi successivi delle ricerche del chimico russo!:

«Tornando all'epoca che finiva negli anni Sessanta è opportuno indicare tre serie di dati senza la cui conoscenza non sarebbe stato possibile scoprire la legge periodica, e che resero la sua apparizione naturale e comprensibile. In primo luogo, fu a quell'epoca che divenne definitivamente noto il valore numerico dei pesi atomici. Dieci anni prima una tale conoscenza non esisteva affatto, come può essere arguito dal fatto che, nel 1860, chimici delle varie parti del mondo si diedero convegno a Karlsruhe per poter giungere a un qual-

[31] S. CANNIZZARO, *Sui limiti ecc.*, cit., p. 267.

[32] S. CANNIZZARO, *Discorso di apertura della Classe III del I Congresso della SIPS*, in *Gazzetta Chimica Italiana*, vol. V, 1875, pp. 354 sgg. Anche in *Scritti ecc.*, p. 351.

[33] D.I. MENDELEEV, *La legge periodica degli elementi chimici*, cit., p. 491.

che accordo, se non sulle concezioni relative agli atomi, almeno sulla loro rappresentazione definita. Molti dei presenti probabilmente ricordano quanto vane furono le speranze di giungere a un'intesa, e quanto terreno fu guadagnato a quel congresso dai seguaci della teoria unitaria così brillantemente rappresentata da Cannizzaro. Ricordo con chiarezza l'impressione prodotta dai suoi discorsi, che non ammettevano alcun compromesso, e sembravano appellarsi alla verità stessa, sulla base delle concezioni di Avogadro, Gerhardt e Regnault, che a quel tempo erano lungi dall'essere generalmente riconosciute. E sebbene non si potesse arrivare ad alcuna intesa, tuttavia lo scopo della riunione fu raggiunto, poiché le idee di Cannizzaro risultarono, dopo alcuni anni, le sole in grado di superare il vaglio critico, rappresentando un atomo come "la più piccola parte di un elemento che entra in una molecola di un suo composto". Soltanto tali pesi atomici reali — non quelli convenzionali — potevano costituire una base idonea per la generalizzazione».[34]

Ma mentre nelle memorie del 1869 e del 1871 Mendeleev accettava quest'ultimo aspetto «relativo» della definizione cannizzariana di atomo; in questa «Faraday Lecture» del 1889, come vedremo, sotto l'incalzare delle nuove ipotesi degli spettroscopisti inglesi, tenderà a radicalizzare le sue posizioni sulla indivisibilità degli atomi. Del resto, la cautela ontologica di Cannizzaro fece sì che un chimico come J. Lothar Meyer, anch'egli presente al Congresso di Karlsruhe, e anch'egli positivamente impressionato dalle teorie proposte dal chimico italiano, traesse da queste conseguenze molto diverse rispetto a Mendeleev.[35] Tuttavia esisteva un punto non secondario di contatto fra le concezioni di Mendeleev e quelle di Cannizzaro, cioè nell'enfasi posta da entrambi sulla rilevanza dei pesi atomici nella determinazione delle proprietà delle sostanze chimiche. Per entrambi, come abbiamo visto, ogni atomo era caratterizzato da uno specifico peso, cioè dalla loro massa. La massa era l'aspetto determinante e fondativo di tutte le proprietà e combinazioni chimiche delle sostanze elementari; combinazioni che avvenivano mediante rapporti ponderali semplici. Ancora nel «Discorso Faraday» del 1872, quasi contemporaneamente alle prime ricerche di Lockyer, il chimico italiano insisteva sul carattere aritmetico e ponderale delle proprietà degli atomi e delle molecole; sulla non rilevanza delle loro caratteristiche geometrico-spaziali, ovvero sul fatto che i concetti di atomo e di molecola (come riunione o giustapposizione di atomi) «sono spogliati d'ogni immagine di forma, di grandezza, di distanza, di continuità o discontinuità. La sola proprietà che sia intimamente legata a questo concetto è la ponderabilità, cioè la massa, la definizione stessa della materia».[36] Questa posizione era inserita all'interno di una critica alle teorie del legame chimico; ovvero al fatto che i legami chimici si costituissero distintamente fra atomi diversi, a seconda della valenza, e in

[34] *Ivi*, pp. 103-104.

[35] L. Meyer, *Die Natur der Chemischen Elemente als Funktion Iher Atomgewichte*, in *Annalen der Chemie und Pharmacie*, Supplement b., 1870, volume 7, pp. 354-364.

[36] S. Cannizzaro, *Sui limiti e sulla forma dello insegnamento teorico della chimica. Discorso Faraday letto alla Società chimica di Londra il 30 maggio 1872*, in *Gazzetta Chimica Italiana*, volume II, 1872. Ora in A. Di Meo, *Storia della chimica in Italia*, cit., pp. 272-273.

maniera spazialmente differenziata. Probabilmente Cannizzaro era a conoscenza del fatto che lo stesso Mendeleev, un anno prima, proprio nella grande memoria del 1871 sulla legge della periodicità, aveva fortemente criticato le teorie del legame, ribadendo la sua idea «newtoniana» del mondo microscopico degli atomi come sistema dinamico di piccoli corpi indivisibili dotati di masse diverse, fra i quali agivano in maniera differenziata le forze chimiche delle affinità:

«È necessario supporre che gli atomi nella particella si trovino in un qualche equilibrio dinamico e agiscano l'uno sull'altro. L'intero sistema è legato da forze, appartenenti alle diverse parti, e non è lecito pensare che due parti qualunque dell'insieme si trovino in dipendenza da una terza e non influiscano l'una sull'altra, tanto più se tutto ciò che sappiamo su queste sue parti ci orienta verso il riconoscimento di una loro chiara e costante interazione "chimica"».[37]

Anche Cannizzaro riteneva che la dinamica molecolare e atomica fosse analoga a quella celeste. Anch'egli aveva come modello di riferimento quella meccanica classica che a partire dall'opera di Galilei era arrivata al grande modello del «sistema del mondo» di Newton:

«Avendo noi acquistati i mezzi non di vedere ma di dedurre dai fenomeni sensibili ciò che siegue nelle molecole, possiamo ora fare e stiamo facendo per esse un lavoro press'a poco equivalente a quello fatto pei pianeti da Ticone Brahe e da Keplero. Verrà poi l'opera dei Newton, quando i risultati sperimentali saranno meglio aggregati in leggi, ed i matematici avranno adattato al bisogno lo strumento del calcolo».[38]

Ma fedele al suo credo di una marcia lenta e progressiva della scienza, di un suo farsi incessante e soprattutto socialmente allargato, cooperativo e collettivo, egli aggiungeva:

«Ma senza aspirare al dono della profezia, sin d'ora può prevedersi che non sarà l'opera di un solo Newton che fonderà la meccanica atomica; cioè la luce non si farà tutta ad una volta, ma verrà poco a poco».[39]

Ma anche Cannizzaro, seppur in maniera parzialmente diversa da Mendeleev, era consapevole che la «meccanica chimica» era diversa per molti aspetti da quella newtoniana, poiché implicava molti più oggetti e cause, era cioè molto più «complessa» e richiedeva un ulteriore sviluppo delle matematiche, come già aveva affermato nella prelezione del 1856:

«La vera teoria atomica, cioè la completa teoria delle azioni molecolari, è la più sublime meta alla quale aspira la filosofia naturale. E noi ne siamo ancora lontanissimi. Le vie da giungervi son lunghe e difficili ... Per giungere alla teoria della gravitazione universale, bisognò all'intelligenza umana fare un lungo cammino. Ma quanto sono più complessi i fenomeni molecolari, quanti maggiori gli elementi che devono entrare nel loro

[37] D.I. Mendeleev, *La legge della periodicità*, cit., p. 85.
[38] S. Cannizzaro, *Discorso d'apertura ecc.*, cit., p. 354.
[39] *Ibidem.*

calcolo! Decifrare l'influenza relativa di tutte le cause, che intervengono alla loro produzione, partendo dai risultati complessi, trovare le leggi semplici di azione di ciascuna è tal problema, che al suo paragone quello della meccanica celeste è un giuoco da fanciulli. E se per risolvere questo bisognò accumulare e comparare tante osservazioni, e lentamente percorrere tutti gli stadii di una teoria fisica, quanto saranno maggiori i fatti che bisogna raccogliere, quanto maggiore l'accorgimento nel compararli ed ordinarli, quanto più lungo il cammino da percorrere per giungere alla vera teoria atomica. Non ostante questa è la meta, a cui oggi mira la filosofia naturale».[40]

Queste posizioni stanno a confermare, i rimandi profondi, fra le teorie e le convinzioni più generali dei due chimici, italiano e russo, ma esse, come vedremo, per quest'ultimo soprattutto rappresenteranno anche un limite.

5. Sempre in ambiente inglese una concezione della materia molto simile a quella di Lockyer fu elaborata da William Crookes. Nel 1879, a partire dalle sue ricerche sugli spettri dei gas a basse pressioni e sottoposti a scariche elettriche di tipo oscillatorio e ad alto voltaggio, Crookes arrivò a sostenere che il plasma generato dai gas rarefatti così trattati costituiva un «quarto stato della materia» analogo alla materia stellare. Stato nel quale gli atomi apparivano dissociati sottoforma di un plasma di «materia prima» analoga alla ipotesi del «protilo» che W. Prout aveva sostenuto nel 1815 e che era tornata in auge grazie alle ricerche di Lockyer.

Crookes espose a più riprese (1886, 1887) le sue idee sulla costituzione degli elementi, sostenendo che questi ultimi erano il risultato di un'evoluzione della materia inorganica simile a quella darwiniana del vivente. Secondo Crookes nella materia inerte era presente una sorta di «darwinismo inorganico»[41] che procedeva secondo un andamento crescente in complessità e diversificazione, in maniera direttamente proporzionale al peso atomico. Tale evoluzione era generata da due forze: una variabile in maniera monotona, il *tempo di raffreddamento della materia*, e l'altra, l'elettricità, variabile in maniera oscillante. Egli suppose anche che l'oscillazione della forza elettrica principale che generava tale evoluzione avesse una ampiezza corrispondente a un periodo della tavola di Mendeleev. Attraverso oscillazioni sussidiarie la forza chimica era poi in grado di separare gli elementi in elettropositivi ed elettronegativi. Crookes illustrò la sua teoria nel 1888 alla Chemical Society di Londra, mediante un modello a doppia elica, (detto «spirale lemniscata») con l'idrogeno alla sommità e l'uranio al fondo, che stavano a rappresentare l'inizio e la fine della scala evolutiva degli elementi, ovvero l'incremento del

40 S. Cannizzaro, *La chimica e le scienze naturali*, cit., p. 290.

41 W. Crookes, *On the report and origin of so-called elements*, in *Reports of the British Association for the Advancement of Science*, London 1886, pp. 558 sgg; *Genesis of the elements*, Discourse at The Royal Institution, London 1887. Ristampato in W.L. Bragg e G. Porter, eds., *The Royal Institution Library of Sciences: Physical Sciences*, Elsevier, volume 3, 1970, pp. 403 sgg.

peso atomico e il decremento della temperatura del plasma. Lo schema di Crookes forniva una rappresentazione dei rapporti fra gli elementi di tipo geometrico e continuo, ed era alternativa a quella discontinua e aritmetica di Mendeleev. Secondo Crookes, infatti, la formazione dei diversi elementi a partire dal protilo originario, poteva essere realizzata attraverso una successione continua di pesi atomici differenti. Quelli compresi nella tavola di Mendeleev erano solo alcuni della serie continua degli elementi; cioè erano quelli trovati per via sperimentale. Nulla impediva di ritenere che altri ne potessero esistere, poiché il protilo originario conteneva in potenza tutti i possibili pesi atomici.

Mentre per Mendeleev, dunque, il peso atomico era una caratteristica individuale e irriducibile di ogni elemento, una misura delle loro specifiche proprietà e causa di queste; per Crookes, al contrario, esso rappresentava solo una misura delle condizioni di raffreddamento che avevano prevalso al momento della nascita dell'elemento stesso. Rifiutando inoltre l'ipotesi della «morte termica dell'Universo» scaturita dalla estrapolazione cosmologica secondo principio della termodinamica fatta nel 1865 da R. Clausius, Crookes riteneva che l'Universo si trovasse in uno stato di creazione continua: il calore radiante che si dipartiva dalle sostanze ponderabili elementari poste al centro dell'Universo scorreva verso la sua periferia, dove veniva trasformato nel protilo che dava origine a tutti i corpi semplici ricavati analiticamente.

È impossibile esporre e discutere dettagliatamente tutte le teorie sulla struttura atomica elaborate alla fine del secolo scorso e il contesto scientifico più generale delle ricerche di Crookes e di Lockyer. Voglio solo sottolineare la persistenza forte di una corrente di pensiero che ripristinava una particolare idea evolutiva di tipo chimico della natura, a partire da una «materia prima» più elementare degli elementi chimici noti. Idea più volte ricorrente nella storia plurisecolare della chimica, ma sempre minoritaria e tendenzialmente rimossa dai chimici dopo l'affermazione della teoria atomica contemporanea.

Riferendosi esplicitamente a questa corrente di pensiero, l'italiano Giacomo Ciamician nel 1905 scriveva, a proposito degli studi di Lockyer (e di alcuni errati esperimenti di trasmutazione della materia fatti da altri chimici dell'epoca), che

«un'uguale incertezza è inclusa nella seconda parte della legge [della conservazione della massa], per cui gli attuali elementi chimici rappresentano l'ultima espressione qualitativa della materia; anche questa è una affermazione fondata soltanto sopra un grandissimo numero di prove. Ma tutte le prove, tutti i lunghi tentativi infruttuosi proseguiti per dei secoli con indicibile ostinazione, non hanno eliminato dalla scienza il concetto di materia unica. Tentativi alchimistici puerili di trasformare un elemento nell'altro, fanno ogni tanto capolino nella storia anco dei nostri giorni e supposizioni e congetture che nel Sole o in altri corpi celesti si riscontrino indizi di una ulteriore scissione degli attuali corpi semplici sono state più volte avanzate. Quasi ogni nuova scoperta, ogni nuovo fatto di grande portata fa risorgere la vecchia questione; e, come l'ipotesi di Prout sui pesi atomici multipli apparenti dell'idrogeno, così l'analisi spettrale, il sistema mendeleeffiano ed ora la nuova teoria degli elettroni e le proprietà dei suaccennati corpi radiottivi, hanno alimentato ed alimentano il vecchio concetto, l'idea fissa dei chimici di tutti i tempi, che una materia

unica, primordiale, esista od abbia esistito alla quale tutte le altre devono la loro origine. Quale sarà la soluzione che il nuovo secolo darà all'antico problema? A nessuno è lecito azzardare la risposta».[42]

Ciamician inseriva il sistema di classificazione degli elementi di Mendeleev fra le novità che potevano riportare in auge l'antica idea di una materia unica e primordiale. Questo inserimento era ingiustificato, come stiamo vedendo. Tuttavia la ricorrente periodicità delle proprietà degli elementi; il fatto che proprio l'idrogeno (il «protilo» di Prout ...) fosse collocato all'inizio della tavola, potevano far ritenere — anche contro le idee dello stesso Mendeleev — che la tavola periodica fosse qualcosa di allusivo a una materia che, a partire da un principio unico e per successive aggiunte di «mattoni» analoghi al principio di partenza, dava luogo a tutte le distinte sostanze semplici conosciute. Cioè nella materia inorganica poteva avvenire qualcosa di analogo alle serie omologhe di alcuni composti organici (ipotesi questa decisamente rifiutata da Mendeleev sin dal 1871).

Ma le ipotesi evolutive di Lockyer non rimarranno solo nell'ambito della storia e della struttura degli elementi chimici. Egli, infatti, coerentemente con le sue concezioni più generali sulla natura, non solo collegava la storia evolutiva degli elementi alla storia evolutiva delle stelle, ma estendeva il suo principio fondamentale a tutto l'Universo. Il principio evolutivo veniva trasformato in un *nuovo punto di vista* a partire dal quale era possibile costruire una nuova immagine della realtà naturale, sia di quella inorganica che di quella organica (con questo termine Lockyer comprendeva anche il vivente). E non ci si limitava solo alla natura poiché l'idea di una evoluzione per complessità e diversificazione crescenti, a partire da più antiche forme elementari, era presente anche nelle glottogonie, cioè nelle teorie sulle origini del linguaggio.[43] Considerato da un punto di vista evolutivo il mondo materiale — le stelle, la Terra, gli elementi ed i composti chimici, gli organismi viventi — era attraversato da processi incessanti ancora una volta implicanti dei cambiamenti di *forme*. Essi si svolgevano in maniera differenziata secondo una direzione globalmente lineare, che procedeva dal semplice al complesso. Nel caso del vivente ciò avveniva a partire da «tipi» più antichi o da «germi primordiali» dai quali, per successive differenziazioni e ramificazioni, si erano generati tutti gli organismi più complessi attualmente esistenti. L'evoluzione del vivente era darwinianamente selettiva; ma essa non era totale poiché anche nel presente rimanevano tracce delle forme più antiche. Per Lockyer, infatti, gli studi sui fossili presenti nei diversi strati corrispondenti alle differenti ere geologiche, dimostravano sia l'apparire differenziato di nuovi generi e specie, sia la scomparsa di alcuni di essi, sia infine la permanenza di altri. La linea evolutiva era tuttavia ascendente, continua. Essa procedeva nel

42 G. Ciamician, *I problemi chimici del nuovo secolo*, Bologna 1905, pp. 2-3.
43 J.N. Lockyer, *The chemistry of the Sun*, cit., p. 266.

senso dell'accrescimento della complessità e della differenziazione. Ma a ogni livello di realtà, e in ogni processo evolutivo, valeva la stessa generale «legge di ricapitolazione» dell'ontogenesi rispetto alla filogenesi. Questa legge era stata enunciata da Ernest Haeckel a proposito dello sviluppo e della differenziazione embriologici, e affermava che la «storia» dell'individuo dalle prime fasi della vita fino alla nascita era una ricapitolazione abbreviata, della intera storia della sua specie sulla Terra.[44]

Così come esistevano tipi originari della evoluzione del vivente, analogamente esistevano tipi originari degli elementi chimici. Questi ultimi dunque erano il risultato di una «evoluzione cosmica»[45] continua, accompagnata da notevoli cambiamenti di temperatura, dipendeva cioè in maniera diretta dall'abbassamento della temperatura delle stelle. La classificazione di Secchi e di Pickering dei diversi tipi di stelle, rispecchiava il processo evolutivo progressivo per cui le prime erano più antiche delle ultime. Tale processo veniva rappresentato da Lockyer mediante una curva a campana nella quale — come nell'evoluzione geologica — le varie epoche della formazione del Cosmo erano definite con una desinenza in *-ian* (della lingua inglese), e cioè Argonian, Alnitamian, Achernian, Algolian, Markabian, Sirian, Procyonian, Arcturian (nella quale era compreso il Sole), Piscian. Il punto di partenza era costituito da una massa di materia fredda e scura diffusa nello spazio, che si trovava a una temperatura molto bassa. Questa materia era una sorta di aggregato di particelle di tipo meteoritico che si trovava nello stadio delle stelle giganti rosse. Successivamente, grazie all'azione della gravitazione, questa materia dispersa evolveva gradualmente attraverso gli stadi successivi delle stelle più calde (arancioni, gialle, bianche) fino a quello delle stelle blu-bianche, cioè al picco massimo delle temperature stellari, raggiunto il quale tutti gli atomi della materia si trovavano in forma dissociata in una sorta di plasma «protilico», dal quale prendeva avvio l'evoluzione degli elementi chimici che era simultanea a quella delle stelle, cioè al loro raffreddamento, fino allo stadio delle nane rosse. Questa evoluzione della materia avveniva attraverso stadi successivi a partire dai cosiddetti «protoelementi», dai quali si formavano prima gli atomi di peso atomico crescente e poi le molecole. Ad ogni stadio corrispondevano dei particolari tipi di spettro. Gli atomi degli elementi erano quindi composti da parti più piccole, e dovevano essere considerati delle forme diversamente strutturate dello stesso tipo fondamentale di materia. Le differenti stelle, gli strati della Terra, gli elementi e i composti, infine gli organismi viventi, erano il risultato di una evoluzione, e ognuno di essi era collocabile in un punto particolare del processo evolutivo generale della propria specie, cosicché poteva essere considerato il prodotto di un tempo che si svolgeva linearmente e una testimonianza di uno stadio particolare di quel processo. Ma le evoluzioni non erano totali

[44] J.N. Lockyer, *Inorganic evolution*, London 1900, pp. 152-160.
[45] *Ibid.*, p. 158.

poiché, in ogni stadio successivo, rimanevano tracce degli stadi precedenti. Nel caso della evoluzione inorganica, probabilmente gli stadi precedenti erano rivelati dalle forme chimiche più vecchie (cioè le più semplici) ancora presenti grazie alla distruzione — naturale o artificiale — delle forme più complesse. Anche per la materia inorganica, così come per il vivente, si aveva un processo associato di natura circolare di distruzione e di generazione di forme. Tale circolarità non era irrilevante nella storia della natura, poiché impediva che si arrivasse ad un «punto morto» dell'evoluzione.[46] Punto che sarebbe stato raggiunto se i composti naturali, o gli organismi viventi, si fossero moltiplicati indefinitamente. Il progresso lineare e cumulativo dell'evoluzione, così come aveva sostenuto Charles Darwin per il vivente, poteva realizzarsi, e addirittura poteva essere accelerato, solo attraverso una distruzione degli «individui» chimici o degli individui viventi. La scomparsa di ogni tipo di individualità era quindi la condizione necessaria per la possibilità stessa dell'evoluzione lineare.

La serie dei processi evolutivi dipendenti dalla temperatura comportava, ovviamente, anche l'idea di una loro *successione* nel tempo. In questa successione l'evoluzione del vivente rappresentava il tratto finale — molto breve — del diagramma lineare dell'evoluzione cosmica. Per Lockyer, infatti, la nascita e l'evoluzione del vivente potevano avvenire solo in condizioni particolari di temperatura, come quelle della Terra nel suo stato attuale, che a sua volta rappresentava uno stadio particolare della evoluzione del nostro pianeta, a partire da un primitivo stato incandescente. Di qui la rilevante conclusione, che la vita era sorta da una precedente evoluzione del mondo inorganico, che inizialmente aveva prodotto un «plasma vitale», o «protoplasma», formato da tutte le molecole complesse presenti negli organismi viventi. Anche il protoplasma si trovava in continua interazione col mondo inorganico grazie a processi di distruzione e assimilazione. Il plasma vitale era il mattone fondamentale dal quale si erano costruiti evolutivamente i regni vegetale e animale.[47]

L'ipotesi di una origine «protoplasmatica» della vita era già stata enunciata nel 1809 dallo scienziato romantico tedesco L. Oken.[48] Questi aveva sostenuto che tutte le sintesi strutturali dalle quali si era originato il vivente avevano avuto inizio nel mare, a partire da una «sostanza colloidale primitiva». La successiva teoria cellulare di R. Brown, ma soprattutto di M. Schleiden (1838) e T. Schwann (1839), aveva in effetti dimostrato l'esistenza negli organismi di unità distinte — le cellule — nel nucleo delle quali era collocata una sostanza albuminoide di tipo colloidale, dotata di una composizione chimica definita, detta appunto «protoplasma».

46 *Ibid.*, p. 170.
47 *Ibid.*, p. 171.
48 L. Oken, *Lehrbuch der Naturphilosophie*, 1809-1811.

L'ipotesi evolutiva sostenuta da Lockyer avrebbe reso di nuovo attuali le precedenti ipotesi cosmogoniche come la celebre «ipotesi di Kant-Laplace», che in realtà era stata elaborata in maniera indipendente da I. Kant nel 1755 e da P.-S. de Laplace nel 1796.[49] Le due elaborazioni non erano identiche, tuttavia sono state sempre unificate grazie al fatto che introducevano nell'Universo newtoniano, ritenuto «senza storia», un principio evolutivo a partire da una nebulosa originaria dalla quale veniva generato il «sistema del mondo». Nella nebulosa primitiva, infatti, i punti materiali diventavano dei centri attrattori di tipo gravitazionale che generavano moti vorticosi della materia circostante. Grazie a questi moti si aveva la formazione delle stelle e dei pianeti, ovvero di tutti i corpi e di tutti i sistemi celesti. I pianeti erano dunque della stessa materia delle stelle, e in origine erano stati anch'essi dei globi infuocati che si erano poi progressivamente raffreddati. In effetti, anche per Lockyer il processo dal quale scaturivano le stelle (e quindi i pianeti, gli elementi, e così via), prendeva avvio da una nebulosa analoga a quella teorizzata da Kant e da Laplace e sempre per effetto di forze attrattive di tipo gravitazionale. Infatti a questa ipotesi più antica egli farà più volte riferimento, per esempio in una «Manchester Science Lecture» del 1877 sulla evoluzione chimica della Terra dal titolo *Why the Earth's Chemistry is as it is?*[50]

L'ipotesi sostenuta da Lockyer di una materia fondamentale di cui atomi e molecole erano solo delle aggregazioni particolari dotate di una «forma» specifica e prodotti da un'evoluzione *continua* nel tempo, sembrava ricevere una decisiva conferma dalle ricerche di J.J. Thomson sui raggi catodici. Svolte alla fine del secolo scorso, da esse vennero tratte prove molto evidenti della natura elettrica della costituzione intima degli atomi. Secondo Thomson gli atomi erano formati da sub-unità strutturali di cui quella negativa, l'«elettrone», era dotata di una carica costante la cui deflessione, prodotta da un campo magnetico, era proporzionale al rapporto fra la sua carica e la sua massa. La carica negativa dell'elettrone era eguale a quella positiva dello ione idrogeno (cioè di un protone). L'elettrone sembrava essere proprio quella sostanza più elementare e universale di cui erano composti tutti gli atomi. Di qui, in una celebre memoria del 1897, Thomson concludeva che

«la spiegazione che mi sembra dar conto dei fatti nella maniera più semplice e diretta è fondata su una concezione della costituzione degli elementi chimici che è stata conside-

[49] L'ipotesi cosmogonica di Kant è contenuta in *Storia generale della natura e Teoria del cielo* (1755). Per quanto riguarda Laplace cfr. P.-S. DE LAPLACE, *Exposition du systeme du monde* (1796), trad. it. in *Opere*, a cura di O.P. Cambusano, Torino 1967, in particolare capitolo VI, pp. 638 sgg. Su questa ipotesi cfr. E. BELLONE, *Gli abissi dello spazio*, in P. ROSSI, *Storia della scienza moderna e contemporanea*, vol. I, Torino 1988, pp. 741 sgg.

[50] J.N. LOCKYER, *Why the Earth's Chemistry is as it is?*, in *Manchester lectures for the people*, London 1877, pp. 155 sgg.

rata favorevolmente da molti chimici; concezione secondo la quale gli atomi dei diversi elementi chimici sono aggregazioni diverse di atomi della stessa specie ... Così secondo questa concezione nei raggi catodici noi abbiamo la materia in un nuovo stato, uno stato in cui la suddivisione della materia è spinta molto più in là rispetto allo stato gassoso ordinario: uno stato in cui tutta la materia ... è costituita da una e ed una sola specie, questa materia è la sostanza di cui sono fatti tutti gli elementi chimici».[51]

Essa fu accolta da Lockyer come una ulteriore e autorevole conferma delle sue teorie. In realtà, dalle ricerche di Thomson emergeva una struttura dell'atomo ben diversa dall'originaria ipotesi «protilica» di Lockyer. Per Thomson, infatti, ogni atomo doveva essere considerato una sfera di carica positiva all'interno della quale erano collocati gli elettroni. Quando il loro numero superava un certo valore gli elettroni si disponevano ad anello o formavano una corteccia. Nell'atomo, poi, la massa della parte positiva era di gran lunga superiore rispetto a quella dell'elettrone. Secondo il modello di Thomson — così come secondo tutti i modelli successivi — l'atomo possedeva quindi una *struttura interna complessa*. Tutte le pur differenti ipotesi dei chimici sulla natura divisibile dell'atomo — al contrario — tendevano a definire quest'ultimo come una unità *intera* e *semplice*, poiché entrava *come tale* nelle combinazioni delle sostanze composte. Oppure l'atomo era considerato un multiplo di una unità ancora più semplice o elementare; multiplo che però era entrava sempre *intero* nelle comuni reazioni chimiche. Lockyer, tuttavia, farà positivamente i conti con queste nuove emergenze, che lo porteranno a considerare un'altra forma di reazione chimica presente nell'evoluzione inorganica della materia. Fino ad allora ne erano note solo due: la «polimerizzazione», ovvero la composizione fra «molecole» simili; e la combinazione vera e propria, cioè fra «molecole» dissimili. Le ricerche sui raggi catodici (e sulla dissociazione elettrolitica), ne avevano rivelata invece una terza e cioè «la costruzione graduale di complessi fisici a partire da particelle simili associate in presenza di elettricità».[52] Quest'ultima, più di ogni altra, era in grado di confermare a grandi linee ciò che Lockyer aveva sempre sostenuto, e cioè la ulteriore divisibilità dell'atomo e il carattere continuo ed evolutivo della costruzione delle strutture complesse della materia.

Tutto ciò confermava il chimico inglese nell'idea che la legge periodica di Mendeleev, e la relativa tavola degli elementi, fossero eslusivamente il risultato di una classificazione degli elementi esistenti alle condizioni ordinarie della Terra e delle energie comunemente impiegate in laboratorio. In tutti gli altri casi era necessario dare a tale classificazione una struttura diversa da quella ipotizzata dal chimico russo.

Queste posizioni furono accolte e diffuse da Herbert Spencer nella seconda edizione dei suoi *Principi di biologia* del 1898. Esse, infatti, sostenendo il carat-

51 J.J. Thomson, *Catode rays*, in *Philosophical Magazine*, volume XLIV, ottobre 1897, p. 311.
52 J.N. Lockyer, *Inorganic evolution*, cit., p. 190.

tere evolutivo della materia inorganica costituivano una importante conferma delle idee del filosofo inglese sulla universalità del principio evolutivo; sulla concatenazione ininterrotta dei vari processi evolutivi all'interno della più generale evoluzione cosmica. Grazie ai lavori di Crokees e Lockyer, Spencer poteva ora affermare che

«in conformità dell'opinione ora ampiamente diffusa tra i chimici, che i cosi detti elementi non siano elementi ma siano composti di materie semplici e probabilmente di una forma ultima di materia (per cui da Sir W. Crookes è stato suggerito il nome "protile"), è da concludere che la formazione degli elementi, in comune con la formazione di tutti quei composti di essi che la Natura presenta, ebbe luogo nel corso dell'Evoluzione Cosmica».[53]

6. Quindi, quando Mendeleev nel 1889 tenne a Londra la sua «Faraday Lecture» sulla legge periodica, le teorie di Lockyer e di Crookes erano già ampiamente note e in gran parte accettate nell'ambiente scientifico inglese e internazionale. Per di più esse stavano per diventare parte integrante del sistema filosofico spenceriano, cioè della filosofia evoluzionistica più diffusa nella seconda metà del secolo scorso. Tanto più autorevole in quanto sosteneva di basarsi sui risultati più avanzati della scienza del periodo. Con queste teorie il chimico russo polemizzerà diffusamente e a più livelli, consapevole di giocare una difficile partita scientifica, filosofica ed epistemologica, e lo farà proprio a Londra, cioè in campo avversario o, comunque, storicamente molto diviso. Infatti se è vero che l'Inghilterra era stata la patria dei fondatori e primi sostenitori della teoria atomica moderna (Dalton, Williamson, Thomas Thomson), essa era stata anche la patria di Prout, Davy, Faraday, cioè dei primi e più agguerriti critici di questa stessa teoria e «precursori» in questo di Crookes e Lockyer.

Il dispiegamento delle numerose obiezioni agli spettroscopisti inglesi svolte da Mendeleev in questa conferenza dipendeva dal fatto che egli era ben cosciente della posta in gioco: con la messa in discussione, o perlomeno con la delimitazione ontologica e operativa della legge periodica e della tavola corrispondente, venivano attaccati alcuni capisaldi delle sue idee fondamentali sulla chimica, sulla natura e sui loro rapporti, che la tavola confermava scientificamente in maniera assai brillante. Anche se, in questo caso, rovesciando una celebre affermazione dell'epistemologo Imre Lakatos, si potrebbe dire che la metafisica era usata da Mendeleev per salvare il «nucleo scientifico» della sua teoria. Quest'ultima, in effetti, aveva già dato delle prove eccezionali di validità, soprattutto nella previsione della esistenza di elementi ancora ignoti, poi effettivamente scoperti. Ciò tuttavia non aveva eliminato alcune anomalie dovute sia alla difficoltà di inserimento nella tavola delle cosiddette «terre rare»; sia a inversioni

[53] H. SPENCER, *Principles of biology*, ed. it. *Le basi della vita*, Torino 1905, p. 20.

nella classificazione di alcuni elementi, dovute al fatto che la periodicità — come si scoprì più tardi — non dipendeva dal peso atomico ma dal numero atomico, cioè dal numero di protoni dei differenti atomi (cioè dei componenti più elementari di tutti gli atomi ...). Ma all'interno della concezione atomistica di Mendeleev queste anomalie non erano eliminabili. Esse furono risolte, infatti, negli anni 1913-1914 grazie ai lavori di H.G.J. Moseley,[54] quando ormai molto di più si sapeva sulla struttura degli atomi, sulla loro effettiva divisibilità e su come reagivano chimicamente tra di loro.

In questa occasione Mendeleev teneva innanzitutto a ribadire che la legge della periodicità era solo la generalizzazione di un complesso molto vasto di fatti sperimentali accertati, cioè di tentativi precedenti di spiegazioni parziali che, per un intero decennio, avevano visto come protagonisti, prima di lui, moltissimi scienziati, chimici e fisici. In particolare A. Beguyer de Chancourtois, che nel 1862 aveva elaborato una classificazione periodica in forma di vite, la «vis tellurica», e J.A.R. Newlands, che nel 1865 aveva enunciato la celebre «legge delle ottave», secondo la quale le proprietà chimiche degli elementi si ripetevano ogni sette elementi, come i toni della scala musicale.[55] In secondo luogo egli sosteneva che il carattere discontinuo del mutamento delle proprietà degli elementi in funzione del peso atomico, ovvero il fatto che non fosse riscontrabile alcuna evoluzione continua dall'elemento più semplice a quelli più complessi, non rendeva applicabile alla descrizione della legge periodica una geometria del continuo, come tentavano di fare Crookes e Lockyer. Nell'ipotesi continuista il diagramma degli elementi poteva essere descritto come una serie continua di infiniti punti, ma gli elementi non erano infiniti. Quindi, a parere di Mendeleev, una spiegazione di tipo geometrico avrebbe richiesto un cambiamento nella stessa analisi geometrica in maniera tale da potervi includere anche i fenomeni periodici discontinui. Per il chimico russo, l'unica possibilità di descrizione matematica della legge periodica era quella aritmetica mediante la «teoria dei numeri». Alcuni tentativi in questa direzione erano stati fatti da E.J. Mills nel 1886 e da B.N. Cicerin nel 1888. In essi la serie dei pesi atomici veniva espressa mediante funzioni logaritimiche, le cui variabili erano numeri interi. Da notare che proprio in Russia, nella seconda metà dell'Ottocento, era sorto un gruppo di ricerca in campo matematico, fondato da Nikolai Vasil'evic Bugaev, che cercava di sviluppare una matematica della discontinuità, una *aritmologia*, intesa come analisi specifica delle variazioni discontinue, cioè delle variazioni matematiche delle regola-

[54] H.G.J. Moseley, *The high-frequency spectra of the elements*, in *Philosophical Magazine*, volume XXVI, n. 1024, 1913; volume XXVII, n. 703, 1914.

[55] J.A.R. Newlands, *On the Law of Octaves*, in *The Chemical News*, 12, 83, August 1865. Su queste classificazioni e su quella di Mendeleev cfr. B. Bensaude-Vincent, *Mendeleev: histoire d'une decouverte*, in *Elements d'Histoire des Sciences*, a cura di M. Serres, Paris 1989, pp. 447 sgg.

rità armoniche basate sul presupposto della presenza di un passaggio non graduale — di un «salto» — da un elemento all'altro in un dato ordine.

Per Mendeleev, peraltro, ogni ipotesi continuista della struttura della materia andava contro una delle leggi principali della stechiometria chimica, cioè la legge delle proporzioni multiple di Dalton, che era quella più legata a una teoria atomica rigorosa. Nessuna nuova evidenza sperimentale derivante dalla spettroscopia delle sostanze terrestri o stellari — nemmeno la scoperta dell'elio, che lui comunque respingeva — potevano giustificare la riproposizione di Lockyer dell'antica ipotesi di una «materia prima». Essa, del resto, nella forma esposta da Prout e da Dumas, per il chimico russo era già stata definitivamente confutata nel 1865 dalle ricerche sui pesi atomici svolte dal chimico belga J.S. Stas.[56] Del resto già nella memoria del 1871 Mendeleev aveva considerato non valida l'ipotesi di Prout e l'aveva esplicitamente criticata poiché essa si era spinta molto al di là dei fatti accertati.

Quindi Lockyer sbagliava quando interpretava la molteplicità delle serie spettrali come un indice dell'esistenza di una sottostante struttura composta degli atomi degli elementi. Queste serie in realtà potevano essere spiegate dai movimenti dei differenti strati dell'atmosfera del Sole, o dalla legge di Zollner sulla brillantezza relativa delle differenti linee spettrali a seconda delle condizioni sperimentali (temperatura, pressione, gravità). Per Mendeleev la legge periodica era esclusivamente sperimentale. Essa non derivava da una ipotesi a priori sulla struttura degli elementi, e non poteva essere presa come punto di partenza per una concezione unitaria della materia, come quella sostenuta da Lockyer, così come non potevano esserlo la legge di Avogadro, la legge dei calori specifici di Dulong e Petit o gli stessi risultati dell'analisi spettroscopica. Certamente era giusta l'esigenza di dare coerenza, di unificare in qualche modo la molteplicità degli oggetti e dei fenomeni continuamente rivelati dalla chimica; di trovare cioè «some kind of unity in the immense diversity of individualities which we see around».[57] Ma a questa esigenza non si poteva rispondere in maniera «utopica», come secondo Mendeleev veniva fatto con la ipotesi della «materia prima». La risposta corretta a questo problema doveva conciliare unità e molteplicità; l'esistenza di un piano unico della natura con le differenti «individualità» degli oggetti in essa presenti, come gli elementi. In caso contrario si eliminava semplicemente il vero problema, annullando tutte le evidenti diversità e discontinuità naturali in una sorta di Nirvana filosofico. La chimica, per Mendeleev, era una scienza del discontinuo e quindi doveva risolvere il problema del rapporto fra «generale» e «invidiuale» in modo diverso da come veniva risolto nelle altre scienze. La chimica non ammetteva scorciatoie fantastiche:

[56] J.S. Stas, *Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques, sur les poids atomiques et leurs rapports mutuels*, Bruxelles 1865.

[57] D.I. Mendeleev, *The periodic law ecc.*, cit., p. 498 (trad. it., p. 113).

«Rispondendo alla stessa legittima tendenza scientifica, la scienza naturale ha scoperto nell'Universo un'unità di piano, un'unità di forza, e un'unità di materia, e le conclusioni convincenti della scienza moderna obbligano ciascuno ad ammettere questi tipi di unità. Ma pur ammettendo l'unità di molte cose, dobbiamo nondimeno anche spiegare l'individualità e la visibile diversità che non possiamo fare a meno di rintracciare ovunque ... Dopo una ricerca lunga e laboriosa, la scienza naturale ha scoperto le individualità degli elementi chimici, e per questo è ora in grado non solo di analizzare, ma anche di sintetizzare; di capire e penetrare la generalità e l'unità, come pure l'individualizzato e il molteplice. Il generale e l'universale, come il tempo e lo spazio, come la forza e il moto, variano uniformemente; l'uniforme ammette interpolazioni, che rivelano ogni fase intermedia. Ma la moltitudine, l'individualizzato, — come noi stessi, o gli elementi chimici, o i membri di una particolare funzione periodica degli elementi, o le proporzioni multiple di Dalton — sono caratterizzati in modo diverso: in esso vediamo, accanto a un principio generale di connessione, salti, rotture di continuità, punti che sfuggono all'analisi dell'infinitamente piccolo — un'assenza di legami intermedi completi. La chimica ha trovato una risposta alla questione delle cause delle moltitudini; e pur mantenendo la concezione di molti elementi, tutti soggetti alla disciplina di una legge generale, offre una via d'uscita dal Nirvana indu — cioè l'assorbimento nell'universale, — sostituendolo con l'individualizzato. Tuttavia, il posto dell'individualità è così limitato dall'onnicomprensivo, potentissimo, universale, che rappresenta semplicemente un punto di appoggio per la comprensione della molteplicità nell'unità».[58]

L'ipotesi che riduceva l'unità delle sostanze elementari a una materia prima, non era altro che l'intromissione di idee filosofiche e religiose nella scienza. La natura era *un tutto sistematico* le cui relazioni erano già rivelate dalla scienza. Le molecole si costituivano a partire dagli atomi e le sostanze dalle molecole, alla stessa maniera di altri sistemi complessi a partire dai loro componenti, come il Sistema solare o quello delle stelle doppie e delle costellazioni a partire dalle stelle, dai pianeti, dalle comete e dai satelliti. A questa unità di piano, fra i mondi microscopico, sensibile e cosmico, corrispondeva, una unità fondamentale delle forme di energia e, infine, la già vista unità nella composizione e nella legalità chimica dell'intero Universo rivelata dalla spettroscopia.

Nel 1898, in uno scritto dal titolo *La legge della periodicità degli elementi chimici*,[59] Mendeleev tornerà ancora sul tema dell'origine degli elementi, sulla loro natura e sulla natura del ripresentarsi periodico delle loro proprietà. Ancora una volta, si dimostrerà un radicale avversario delle teorie degli spettroscopisti inglesi sugli elementi, cioè che questi potessero essere considerati «polimeri» stabili o forme di equilibrio dei diversi stati di condensazione della ipotetica «materia prima». Accennerà a una critica nei confronti delle possibili utilizzazioni della sua tavola a sostegno di queste (come farà Ciamician, come sap-

[58] *Ivi*, trad. it., pp. 113-114.

[59] D.I. MENDELEEV, *La legge della periodicità degli elementi chimici*, in *Enciklopediceskij slovar Brokgauza i Efrona*, t. XXIII, polutom 45, SPb 1898, pp. 311-323. Trad. it. in *Il sistema periodico degli elementi*, cit., pp. 131-165.

piamo). E, rivelando nuovamente un suo legame non effimero colla filosofia newtoniana della natura, sosterrà che, così come era sconosciuta la causa della gravitazione, ma tuttavia quest'ultima esisteva ed era attiva, allo stesso modo doveva ritenersi sconosciuta la causa della legge della periodicità, e tuttavia tale legge esisteva, era utile, e doveva restare uno degli oggetti principale delle ricerche chimiche presenti e future.

Ma il rapporto di Mendeleev con il modello newtoniano, e con l'idea che questo fosse interamente trasferibile nel mondo invisibile degli atomi, diventerà via via sempre rigido e infine costituirà un vero e proprio ostacolo epistemologico. Esso infatti impedirà al chimico russo di comprendere alcune nuove emergenze della chimica e della fisica alla fine del secolo scorso e ai primi inizi del nostro, che concorrevano a mettere in discussione la indivisibilità. Abbiamo già visto come Mendeleev avesse un atteggiamento fortemente critico rispetto alle teorie chimiche della struttura, della valenza e del legame chimico, che prefiguravano una complessità maggiore nel rapporto fra struttura microscopica delle sostanze semplici e composte e massa delle medesime. Mendeleev rifiutava ogni ipotesi che facesse allusione a una estensione nello spazio dello studio delle proprietà chimiche degli atomi e delle molecole, cioè rifiutava ogni accenno ad una qualche forma di geometrizzazione della chimica, probabilmente perché vedeva dietro l'introduzione in chimica di ogni ipotesi geometrica lo spettro (non della spettroscopia ...) del continuum materiale, della «materia prima», cioè delle posizioni che più avversava da tutti i punti di vista possibili: scientifico, filosofico, epistemologico.

Analogo atteggiamento lo tenne nei confronti degli studi sui raggi catodici, anodici e sulla radioattività. Questi, in effetti, mettevano in discussione sia la semplicità e la indivisibilità degli atomi, che la loro intrasmutabilità. Attentavano cioè alle convinzioni più radicali del pensiero del chimico russo che pur di salvare l'idea che fosse la massa o il peso, cioè la ponderabilità, a essere la proprietà chimica decisiva degli atomi elaborò nel 1902 una teoria chimica dell'etere, secondo la quale sia la emissione di elettroni nei raggi catodici, sia quella radioattiva da parte dell'uranio, del torio e del radio, erano spiegabili con l'emissione delle particelle infinitesime di etere, precedentemente assorbite grazie alle forze dell'affinità dagli atomi degli elementi, che agivano come centri di attrazione dell'etere così come i pianeti e il Sole erano dei centri di attrazione per tutti gli altri corpi celesti grandi e piccoli, anche microscopici allo stato di gas. Ma la teoria chimica dell'etere, ancora una volta, serviva a smentire la credenza che l'etere fosse la «materia prima» allo stato indissociato dalla quale prendevano origine per via evolutiva gli atomi degli elementi.[60]

[60] D.I. MENDELEEV, *An attempt towards a chemical conception of the ether*, in *Principles of chemistry*, cit., pp. 509 sgg.

Un atteggiamento differente aveva tenuto Cannizzaro, sostenitore di una epistemologia aperta e di una ontologia non solo più debole, come abbiamo visto, ma forse con una spiccata tendenza a sfuggire alle strettoie, alle camicie di Nesso, che ogni vera ontologia spesso reca con sé. Sempre nel *Discorso* tenuto alla SIPS nel 1875 a Palermo, proprio a proposito delle ipotesi di Lockyer e delle differenti interpretazioni degli spettri delle sostanze elementari e composte, Cannizzaro da una parte lascerà aperte — come cose da risolvere dalla scienza futura — le questioni sollevate dagli astronomi e spettroscopisti inglesi:

«Inoltre non abbiamo potuto ancora conciliare il calcolo colla esperienza per ciò che riguarda i calorici specifici dei gas, le cui molecole sono fatte da più atomi. Abbiamo raccolto sufficienti ragioni per ammettere che oltre il movimento delle intere molecole, ossia dei loro centri di massa, evvi in esse un movimento interno, che impiega una parte dell'energia calorifica comunicata ai corpi. Ma nulla sappiamo della natura di questo moto e delle parti materiali che l'eseguono. Le vibrazioni luminose che i corpi gassosi incandescenti emettono o assorbono, dipendono dalla natura intima delle molecole; ciascuna di esse, usando la bella comparazione di Stokes, vibra la sua nota fondamentale e le sue note armoniche; ma queste vibrazioni sono dovute ai moti interni degli atomi chimici dentro le molecole, o a moti interni dentro gli atomi stessi? Sono vibrazioni molecolari, o vibrazioni atomiche? Dobbiamo considerare gli atomi chimici come punti incapaci di qualsiasi moto interno e veramente indivisibili, o invece porzioni di materia, le quali si sogliono trasportare intere dall'una all'altra molecola nella sfera d'azioni chimiche sinora studiate, ma che pur contengono parti dotate di moto relativo? Quale e quanta influenza ha nella natura di queste vibrazioni la natura delle molecole? Quali e quante le azioni scambievoli tra l'una e l'altra di esse? Quale e quanta l'azione tra esse e quel mezzo elastico, l'etere, che riceve e trasmette le vibrazioni medesime? Per quanto si sia sinora discorso da Lockyer e da altri di queste cose, nulla se ne può sinora affermare con precisione e sufficiente probabilità».[61]

Dall'altra tenderà a ribadire la sua particolare concezione dello statuto teorico degli atomi e delle molecole, che abbiamo ripetutamente vista, come l'unica basata su una certezza ormai ampiamente consolidata e in qualche modo indipendente da qualsiasi ipotesi sulla struttura ultima della materia:

«Sinora, voglio pure ripeterlo, la sola nozione esatta e precisa che abbiamo intorno agli atomi, è quella che risulta comparando la composizione ponderale delle molecole, coll'applicazione della teoria dell'egual numero di esse in volumi gassosi eguali in eguali condizioni».[62]

Ancora una volta era il principio di Avogadro, cioè quel «termine fisso» verso il quale tendeva il cammino progressivo e complicato e complessivamente inconsapevole della scienza, — il «giro lungo della scienza inconscia», — ad essere il centro di verità della idee di Cannizzaro, in quanto per lui quel principio era in effetti «o la verità stessa o la sua immagine attraverso i mezzi che s'interpongono tra la nostra intelligenza e la realtà».[63]

61 S. Cannizzaro, *Discorso ecc.*, cit., p. 352.
62 *Ivi*, p. 353.
63 S. Cannizzaro, *Sui limiti ecc.*, cit., p. 259.

7. Nei paragrafi precedenti abbiamo tratteggiato, sulla base di una ricostruzione di un ampio dibattito sulla struttura della materia, sulla scienza e sulla natura, alcuni aspetti dei rapporti scientifici fra Cannizzaro e Mendeleev. Altri ne abbiamo tralasciati, necessariamente. Come, ad esempio, la veramente singolare analogia del punto di partenza della elaborazione delle idee contenute nel *Sunto* cannizzariano e nei *Principi di chimica* mendeleffiani riguardo al sistema periodico degli elementi chimici. In entrambi i casi, infatti, la motivazione originaria è stata di tipo didattico; cioè la necessità di mettere «ordine», di ritrovare una «armonia» ritenuta implicita e inerente alle cose, nelle teorie chimiche e nelle relazioni fra gli elementi chimici dell'epoca, per poterle meglio esporre e insegnare. Ma la motivazione didattica era stata solo il punto di partenza: il punto di arrivo era stata la scoperta di qualcosa di inedito sulla natura stessa delle cose; una verità naturale.

Però malgrado questi indubbi rapporti scientifici fra i due scienziati sappiamo ancora poco sui rapporti *diretti* fra di essi. È una ricerca ancora tutta da fare, in una situazione di scarsità di documentazione. Sicuramente essi si erano incontrati a Karlsruhe nel 1860 al celebre e più volte nominato Congresso di chimica. Ma dopo? Innanzitutto vi è da registrare una strana dissimmetria nei reciproci rimandi alle opere dell'uno e dell'altro: e cioè che mentre in *tutti* gli scritti sul sistema periodico degli elementi e sulla «legge della periodicità», compresi i *Principi di chimica* del 1869, Mendeleev cita *sempre* Cannizzaro e il ruolo da lui avuto nella chiarificazione concettuale della teoria atomico-molecolare e nella determinazione esatta dei pesi atomici degli elementi; la stessa cosa non avviene per il chimico italiano. Negli scritti o discorsi successivi al 1869-1871, gli anni dei primi tentativi di classificazione degli elementi del chimico russo, Cannizzaro *non cita mai* i lavori di quest'ultimo, che tuttavia rappresentavano una importante e notevole applicazione delle idee esposte nel *Sunto*. Essi, in effetti, potevano essere esibiti da Cannizzaro come una prova ulteriore della verità delle sue teorie. Nel volume pubblicato nel 1896 per i settantanni del chimico italiano, *Scritti intorno alla teoria molecolare ed atomica ed alla notazione chimica*, nel quale venivano riportati tutti gli scritti di Cannizzaro sulla teoria atomico-molecolare, in appendice veniva riportato il brano di Mendeleev della «Faraday Lecture» del 1889 che abbiamo citato estesamente in precedenza. Ma anche la nota di J. Lothar Meyer alla edizione tedesca del *Sunto* del 1891, nella quale si metteva in risalto l'importanza decisiva del saggio cannizzariano per lo sviluppo della chimica teorica della seconda metà del secolo scorso. Come abbiamo già detto non solo Lothar Meyer aveva riportato il contenuto del libretto cannizzariano nel suo trattato *Die modernen Theorien der Chemie* del 1864, ma aveva elaborato anch'esso, contemporaneamente a Mendeleev, una classificazone degli elementi prima basata sulla valenza (1864) e poi sul volume atomico (1868), ma egli era anche sostenitore della idea della divisibilità degli atomi e della esistenza di una «materia prima», di un elemento originario, che

consentisse di spiegare le analogie riscontrate fra gli elementi della sua classificazione. All'epoca vi fu una notevole discussione sulla priorità della idea di classificazione degli elementi, vista anche la quasi contemporaneità della pubblicazione di quelle del chimico russo e di quello tedesco: forse per questo Cannizzaro non volle mai citare eplicitamente l'opera dei due chimici entrambi fortemente influenzati dalle sue teorie. Tuttavia non vi è dubbio — come abbiamo cercato di far vedere — che le correlazioni fra le idee di Cannizzaro e quelle successive di Mendeleev sono molto ampie e profonde e investono non solo le teorie chimiche in senso stretto.

La scarsa documentazione in nostro possesso rivela tuttavia che fra i due chimici italiano e russo esisteva una consuetudine di rapporti, vorrei dire quasi una intimità. Nell'archivio della Società chimica italiana sono depositate due lettere del 1904 di Mendeleev a Cannizzaro in qualità di Direttore della Camera centrale dei pesi e misure dell'impero russo, carica alla quale era stato nominato nel 1892 dopo che nel 1890 aveva lasciato drammaticamente l'insegnamento universitario (il 1904, peraltro, è un anno di crisi esistenziale del chimico russo come si può evincere anche dalla seconda lettera). Nella prima, del 7 luglio, Mendeleev, facendo richiesta di documentazione sul sistema italiano di verifica dei pesi e delle misure, accenna ad un possibile viaggio in Italia nel settembre dello stesso anno e chiude con una espressione che rivela una relazione quasi da allievo a maestro: «La symphatie, dont vous m'honorez depuis longtemps me permet d'ésperer que vous ne refuserez pas de satisfaire à la demande de votre très devoué D. Mendeleev». Nella seconda datata 31 luglio/13 agosto (presumibilmente date dei calendari giuliano e gregoriano) dopo aver ringraziato per l'invio dei libri richiesto conclude in maniera molto intima, ribadendo la sua intenzione di venire a Roma nel mese di settembre: «Dans un mois à peu près je tacherai de venir à Rome non seulement pour voir quelques détails, mais aussi pour dire adieu à Vous et à la belle Italie, à la fin de mes jours. Votre très reconnaissante collegue D. Mendeleev».[64]

Non sappiamo se Mendeleev fece il viaggio annunciato per il settembre del 1904, di certo era già stato due volte a Roma: nel dicembre del 1880 e nell'aprile del 1881. La prima volta per accompagnare la sua amatissima (e giovanissima) Anna Ivanovna Popova, dalla quale aveva dovuto separarsi essendo egli già sposato; la seconda, una volta ottenuto il divorzio dalla prima moglie, per sposare la stessa Anna Ivanovna e partire con lei per un lungo viaggio di nozze. È probabile che in entrambe le occasioni abbia voluto incontrare il suo illustre collega italiano che tanta influenza aveva avuto per la sua carriera scientifica (i due biglietti da visita di Mendeleev depositati all'archivio della Società chimica ita-

[64] Su queste carte v. G. Paloni, M. Tosti-Croce, *Le carte di Stanislao Cannizzaro*, Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Roma 1989, p. 72.

liana, potrebbero essere un indizio molto probabile di avvenuti incontri fra i due). Comunque è molto significativo che nel primo numero del 1871 della neonata *Gazzetta chimica italiana*, diretta da Cannizzaro, insieme alla prima parte delle *Notizie storiche e considerazioni sull'applicazione della teoria atomica alla chimica e sul sistema di formole esprimenti la composizione dei corpi* del chimico italiano, fosse ospitato un articolo di Mendeleev su *Alcune osservazioni sulle esperienze di Andrews riguardo la compressibilità dell'acido carbonico.*