

ANTONINO DRAGO* – ANTONIO VENEZIA*

La «Mémoire» (1784) di Lavoisier e Laplace e le due ipotesi sulla natura del calore**

Lavoisier and Laplace's «Mémoire» (1784) and two hypothesis on the nature of heat

Summary – The long paper «Mémoire sur la chaleur» (1784) is born from the collaboration between a chemist, Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794), and a physical-mathematician, Pierre-Simon de Laplace (1749-1827). It is an investigation on the theory of heat, developed in four sections: first one concerns the problem of the nature of heat; in second one, some experiences of calorimetry are illustrated; third section is an analysis of these experiences, and fourth section deals with combustion and animal respiration.

First section is of a particular interest because in it are introduced, as evenly reasonable from an experimental point of view, two distinct hypothesis on the nature of heat. These hypothesis started two historically antagonist theories: caloric theory (the heat is «a fluid of which the bodies are permeated more or less according to their temperature») and the theory of the equivalence of heat with work (the heat is «the resulting *vis viva* arising from the movement of the molecules of a body»).

The work of Lavoisier and Laplace can be considered as a first analysis about the relationship between the experiments and the principles of a scientific theory. We will show that differences in the fundamental concepts of distinct formulations of the same theory are recognised in the original paper as belonging to two different logics, i.e. the classical one and a logic where a double negated sentence is not equivalent to the corresponding affirmative statement.

* Dipartimento di Scienze Fisiche, Università «Federico II», via Cintia, Monte S. Angelo, 80126 Napoli. E-mail: adrago@unina.it antkon.venezia@libero.it

** Relazione presentata al IX Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (Modena, 25-27 ottobre 2001).

1. Il contesto storico della collaborazione tra Lavoisier e Laplace

Per ricostruire gli anni immediatamente precedenti alla pubblicazione della *Mémoire sur le chaleur* (1784), abbiamo fatto riferimento alla lunga e dettagliata analisi storica che H. Guerlac ha fatto di quest'opera (pp. 243-261, [7]). Nonostante il contributo di Guerlac risalga al 1976, riteniamo che esso sia ancora valido e comunque sufficiente a fornire alcuni dati storiografici di riferimento. Il nostro scopo, d'altro canto, non è quello di entrare nel merito delle differenti interpretazioni che gli storici hanno dato della teoria del calorico [5] o della possibilità di ridurre la nuova chimica del 1700 alla fisica [7], ma è quello di mostrare che si può interpretare un testo come la *Mémoire* basandosi su elementi linguistici e formali (di logica matematica), indipendenti dalle premesse interpretative dei vari studiosi di storia della chimica.

Secondo Guerlac, Lavoisier aveva intrapreso nel 1777 la collaborazione con Laplace per realizzare il suo progetto di fondare una nuova scienza chimica. Nel 1778 nell'*Introduction et plan* (pp. 267-270, [10]) per un secondo volume mai scritto dei suoi *Opuscules physiques et chimiques* (1774), Lavoisier aveva dichiarato di voler seguire «il metodo dei geometri, metodo prezioso che condurrà sempre all'evidenza, se noi possiamo partire in fisica da dati sicuri e dimostrati». Con queste parole egli intendeva realizzare un sistema generale in cui esporre in maniera deduttiva, così come aveva fatto Euclide con la geometria e Newton con la meccanica, la miscellanea di risultati sperimentali e di osservazioni che costituivano la parte centrale del primo volume dei suoi *Opuscules*.

Negli anni della *Mémoire*, Laplace era professore aggiunto di meccanica all'Accademia delle Scienze e, nonostante fosse inferiore in prestigio a Lavoisier, aveva già pubblicato alcuni opuscoli relativi agli argomenti che lo avrebbero reso celebre: la teoria matematica della probabilità (*Mémoire sur la probabilité des causes par les événements*, 1774) e la fisica gravitazionale del sistema solare (*Théorie des attractions sphéroïdes et de la figure des planètes*, 1780). Quindi Laplace, per le sue conoscenze matematiche e per i suoi studi sulla fisica newtoniana (a quei tempi il modello per eccellenza di una teoria scientifica della natura), poteva aiutare Lavoisier nell'estendere il «metodo dei geometri» alla chimica, teoria ancora in fieri, ottenendo in cambio da questa collaborazione un avanzamento accademico. I due scienziati iniziano a collaborare nel 1777 e proseguono in maniera discontinua fino al 1783, l'anno in cui la *Mémoire sur le chaleur* [12] viene letta all'Accademia delle Scienze. Nel 1784 la *Mémoire* viene pubblicata nelle Memorie dell'Accademia.

2. Struttura e contenuto della *Mémoire*

Dei quattro articoli che costituiscono la *Mémoire sur le chaleur*, secondo Guerlac, il primo e il terzo sono fortemente influenzati dal pensiero di Laplace, mentre il secondo e l'ultimo sono in gran parte frutto di Lavoisier.

Il primo articolo si intitola «Esposizione di un nuovo metodo per misurare il calore». In esso viene discusso in generale il problema di che cosa sia il calore. All'epoca della *Mémoire* (1784) non tutte le leggi sugli scambi di calore erano conosciute, ma gli esperimenti avevano già messo in evidenza due importanti fenomeni. Il primo riguardava il calore latente delle trasformazioni di stato, che, sebbene non conosciuto con questo termine, era già stato studiato da Lavoisier; il secondo fenomeno riguardava la possibilità per uguali masse di sostanze diverse di possedere, sebbene alla stessa temperatura, una diversa quantità di calore.

È su questa base di conoscenze che Lavoisier e Laplace presentano le due teorie sul calore allora rivali. Nella prima teoria il calore è visto come «un fluido di cui i corpi sono più o meno permeati a secondo della loro temperatura»; mentre nella seconda teoria il calore è la «forza viva che risulta dal movimento delle molecole di un corpo».

Dopo questa sezione introduttiva, gli autori definiscono il concetto di *capacité de chaleur* o *chaleur spécifique*¹ di un corpo *a* rispetto ad un corpo *b* come il rapporto tra le quantità di calore necessarie a portare alla stessa temperatura uguali masse dei due corpi inizialmente a temperatura diversa. Poi segue una dettagliata descrizione di come poter misurare questa capacità termica con il metodo della miscela dei corpi. Due sostanze miscibili vengono mescolate e viene misurata la temperatura finale del miscuglio; se *m* e *m'* sono le masse delle due sostanze, *T_i* e *T'_i* le loro temperature iniziali, e *T_f* la temperatura finale della miscela, allora le capacità termiche *c* e *c'* sono date dalla seguente relazione:

$$\frac{c}{c'} = \frac{m'(T_f - T'_i)}{m(T_i - T_f)} \quad (1)$$

Se la capacità termica di una sostanza è presa come valore di riferimento e arbitrariamente definita come unitaria (ad esempio, si pone la capacità termica dell'acqua, *c'*, uguale ad 1), allora si può attribuire un valore numerico alla capacità termica *c* relativa delle altre sostanze.

Sono evidenti i limiti di questo metodo: esso, come fanno notare gli autori, non è applicabile a sostanze che possono interagire chimicamente e non è possibile determinare il calore assorbito o ceduto durante tale reazione. Inoltre questo metodo non è utilizzabile per misurare il calore scambiato nel fenomeno della combustione, un problema a cui la *Mémoire* dedica tutto il quarto articolo. Per questo motivo Lavoisier e Laplace illustrano un nuovo strumento di misura, che chiamano «calorimetro a ghiaccio». Essi immaginano di avere una sfera cava di ghiaccio con

¹ Oggi distinguiamo tra calore specifico *c* di un corpo di massa *m* e la sua capacità termica pari a *mc*. Nella *Mémoire* Lavoisier e Laplace parlano sempre di rapporti tra quantità di calore e si riferiscono ad uguali masse, per questo motivo possono usare indistintamente i termini *capacité de chaleur* o *chaleur spécifique*.

le pareti abbastanza spesse da isolare termicamente l'interno della sfera dall'ambiente circostante. Se all'interno della sfera viene introdotto un corpo caldo di massa m , la temperatura T_i del corpo tenderà a diminuire, mentre una parte della sfera di ghiaccio incomincerà a sciogliersi. La massa m' di acqua sciolta, divisa per la massa m del corpo caldo e la sua temperatura iniziale T_i , è proporzionale alla capacità termica c del corpo. Infatti basta sostituire nella (1) alla capacità termica dell'acqua il valore $c' = 1$, e alla temperatura di equilibrio finale tra il corpo e il ghiaccio sciolto il valore $T_f = 0$.

Il secondo articolo si intitola «Esperienza sul calore fatta con il metodo precedente [la sfera di ghiaccio]». In esso vengono riportati i risultati della misura delle capacità termiche di diverse sostanze, ottenute utilizzando il calorimetro a ghiaccio. La realizzazione sperimentale di queste misure è opera di Lavoisier. Con questo tipo di calorimetro nel quarto articolo viene realizzato l'esperimento più curioso della *Mémoire*: la misura del calore emesso da un porcellino d'India posto per dieci ore nel calorimetro ideato dagli autori.

Il terzo articolo si intitola «Esame dell'esperienza precedente e riflessioni sulla teoria del calore». Esso è opera di Laplace ed inizia con l'affermazione che una «teoria completa del calore» non può essere stabilita, visto l'infinito numero di esperimenti che si possono compiere sui diversi intervalli di temperatura. Tuttavia è possibile esaminare alcuni problemi particolari, come ad esempio il calcolo del calore scambiato da un corpo durante la sua combustione o durante il suo congelamento. Di entrambi i fenomeni Laplace dà una spiegazione microscopica, in termini di forze di interazione intermolecolare.

Il quarto articolo è intitolato «Della combustione e della respirazione», ed è quasi del tutto opera di Lavoisier. In esso l'autore riprende un suo precedente lavoro sulla combustione intitolato *Mémoire sur la combustion en général* (1779), in cui aveva criticato la teoria del *flogisto*; cioè la teoria secondo cui quando un corpo brucia vengono emessi luce e calore perché viene liberato nell'aria un fluido materiale, detto appunto flogisto. Lavoisier sostiene invece che a determinare la combustione è il consumo dell'aria (o, per usare la sua terminologia, dell'*air pur*). L'esperimento proposto confronta il calore prodotto dalla combustione di diverse sostanze con le variazioni di calore dell'aria pura usata nell'esperimento (senza esaminare se il calore della combustione viene dall'aria o dal combustibile).

3. *Le due ipotesi sulla natura del calore*

La *Mémoire* riveste una grande importanza storica per vari motivi. È un documento che testimonia la collaborazione tra un grande fisico matematico e un grande chimico. È l'inizio, dopo il tentativo fallito di Newton, di un lento avvicinamento della nuova chimica di Lavoisier alla fisica (che nell'ottocento porterà alla chimica-fisica e nel novecento alla chimica-quantistica). È interessante da un punto di vista sperimentale, perché descrive apparati fondamentali per la storia della calo-

rimetria. Ma è importante anche dal punto di vista teorico, perché confronta le due ipotesi sulla natura del calore che erano alla base di due teorie antagoniste, e sulle quali i due autori avevano opinioni differenti.

In questo paragrafo affronteremo solamente quest'ultimo argomento, trattato in dettaglio nelle prime pagine dell'articolo I ([12], pp. 8-14). Nelle citazioni che seguono abbiamo sottolineato le coppie di negazioni perché saranno utilizzate nei paragrafi successivi per l'analisi della *Mémoire*.

La prima ipotesi sulla natura del calore, presa in considerazione da Lavoisier e Laplace, viene introdotta dicendo che «la maggior parte dei fisici [tra cui però, secondo Guerlac (p. 244, [7]), si riconosceva anche il chimico Lavoisier] credono che il calore sia un fluido che è distribuito in natura e penetra in maniera diversa tutti i corpi a secondo della loro temperatura e della loro capacità a trattenerlo» ([12], p. 10).

La seconda ipotesi è presentata dicendo che «altri [fisici] invece credono che il calore altro non sia che il moto invisibile delle molecole della materia». L'esposizione di questa ipotesi alternativa, nota oggi come teoria cinetica del calore, secondo Guerlac (p. 245, [7]), è senza dubbio da attribuire a Laplace e molto probabilmente riflette la sua preferenza a quel tempo. Tutti i corpi, così come sostenuto anche da Newton nella sua *Ottica*, sono pieni di vuoti e questo vuoto è di gran lunga superiore alla materia del corpo stesso. Questo spazio vuoto permette alle particelle dei corpi di muoversi (oscillando solamente) in tutte le direzioni. Per sviluppare questa ipotesi, scrivono Laplace-Lavoisier (p. 10, [12]), esiste «una legge [matematica] generale, che i geometri chiamano *principio di conservazione della forza viva*, secondo la quale in un sistema di corpi interagenti la forza viva, cioè il prodotto di ciascuna massa per il quadrato della velocità, è costante».

Se due corpi a differente temperatura sono messi a contatto, all'inizio la forza viva delle rispettive molecole non è la stessa, ma gradualmente la forza viva delle molecole del corpo più freddo aumenta, mentre quella delle molecole del corpo più caldo diminuisce, fino a che le molecole di entrambi i corpi raggiungono mediamente la stessa velocità. È evidente che in questa formulazione della teoria del calore, Laplace ha applicato allo studio del moto delle particelle microscopiche i concetti basilari della meccanica dei corpi celesti.

In realtà la teoria cinetica del calore era stata già proposta da Huygens e Leibniz. Non si sa se Laplace sia stato influenzato in questa scelta da questi autori o dalla lettura della più recente *Hydrodinamica* (1738) di D. Bernoulli, in cui l'autore applica l'ipotesi secondo cui il calore è associato con il moto delle particelle per dimostrare che in un fluido, a volume costante, la pressione è proporzionale alla temperatura (una prima versione di quella che oggi è nota come la legge di Charles e Gay-Lussac).

Dopo questa esposizione, Lavoisier e Laplace, in un famoso passo del loro articolo, evitano di decidere quale delle due ipotesi sia quella giusta. Essi affermano (p. 12, *ibid.*):

«Noi non decideremo tra le due ipotesi precedenti; molti fenomeni sembrano favorevoli alla seconda; per esempio, quello del calore prodotto dallo strofinio di due corpi solidi; ma ci sono altri fenomeni a cui si applica più semplicemente la prima ipotesi; può anche essere che esse hanno luogo tutte e due alla volta».

Quindi, secondo Lavoisier e Laplace, gli esperimenti non permettono di scegliere univocamente tra le due ipotesi. Ma, argomentano gli autori (p. 12, *ibid.*):

«poiché non si possono formulare sulla natura del calore altre ipotesi che non siano le due menzionate, si devono ammettere [in generale] quei principi che ad esse sono comuni; allora, seguendo sia l'una che l'altra, [si può dire che] in una miscela semplice di corpi la quantità di calore libero [= che può essere scambiato] resta sempre la stessa. [Questo principio] è evidente se il calore è visto come un fluido che tende a portarsi all'equilibrio [termico], mentre se il calore è visto come la forza viva risultante dal movimento interno della materia, questo principio è una conseguenza di quello della conservazione della forza viva».

Quindi compatibile con entrambe le ipotesi è un principio di conservazione di carattere generale: la quantità totale di calore di un sistema di corpi isolato termicamente si conserva, sia che il calore è visto come una sostanza materiale che non si crea e non si distrugge, sia che è visto come risultante delle forze vive, che si conservano. Questo principio, secondo Lavoisier e Laplace, è indipendente dalle due ipotesi sul calore e può essere generalmente ammesso da tutti i fisici.² Inoltre, affermano gli autori della *Mémoire*, «esso si può esprimere in una forma ancora più generale [dicendo che] tutte le variazioni di calore, sia reali che apparenti, alle quali è sottoposto un sistema di corpi nei cambiamenti di stato, se riprodotte nell'ordine inverso, fanno sì che il sistema ritorni nello stato iniziale» (p. 13, *ibid.*).

Modernamente sappiamo che questa affermazione è valida solo per sistemi di corpi soggetti a forze conservative e a fenomeni reversibili.

A conclusione di questa sezione Lavoisier e Laplace affermano che (p. 14, *ibid.*):

«vista l'ignoranza che abbiamo sulla natura del calore, non possiamo fare altro che osservare i suoi effetti».

Da questo punto in poi la *Mémoire* diventa un trattato sperimentale di calorimetria e tralasciamo di descriverla.

4. *Esperimenti e principi in una teoria scientifica*

Il modo con cui Lavoisier e Laplace hanno affrontato il problema di quale sia la vera natura del calore offre alcuni spunti di riflessione riguardo il rapporto esperimenti-principi in una teoria scientifica.

Infatti, una questione fondamentale sollevata dalla *Mémoire* è, a nostro giudi-

² Da un punto di vista moderno dell'equivalenza calore-lavoro ciò è vero solo se $\Delta U = 0$ e $L = 0$.

zio, che in certi casi è impossibile decidere tra due principi antagonisti (le due ipotesi sulla natura del calore) con il solo esperimento. Lavoisier e Laplace lo hanno esplicitamente sottolineato (p. 12, *ibid.*):

«noi non decideremo tra le due ipotesi ... perché molti fenomeni sembrano favorevoli alla seconda [calore = forza viva] ... ma ve ne sono altri a cui si applica più semplicemente la prima [calore = fluido]».

Anche se questa asserzione (dovuta molto probabilmente a Laplace) è sbilanciata verso la concezione «dinamica» del calore («molti fenomeni»), e considera la prima ipotesi preferibile solo per una questione di semplicità, nella *Mémoire* nessuna delle due ipotesi è falsificata dal punto di vista sperimentale.

Questa impossibilità di decidere con un esperimento tra due ipotesi antagoniste è apparsa anche in altri autori a proposito di altre teorie. Basti pensare nel 1600 alle due ipotesi, ondulatoria e corpuscolare, sulla natura della luce, che stavano alla base di due distinte teorie ottiche, quella di Huygens e quella di Newton, entrambe valide da un punto di vista sperimentale.

Alla fine dell'ottocento Poincaré [6], prendendo spunto proprio da queste due teorie, ha formulato una riflessione generale sul rapporto tra gli esperimenti e i principi fisici, attribuendo all'incertezza del metodo induttivo l'impossibilità di avere un'unica soluzione teorica a partire dai risultati sperimentali (da qui il suo cosiddetto «convenzionalismo»). Infatti si può dire, semplificando, che in un esperimento, oltre alla legge fisica da verificare, sono coinvolte ulteriori assunzioni o ipotesi aggiuntive; se il test sperimentale è negativo, lo scienziato può scegliere tra due possibilità: rifiutare la legge fisica, oppure accettare la legge fisica e rifiutare le ipotesi aggiuntive. In altri termini, secondo Poincaré, non esiste l'*experimentum crucis*, inteso alla maniera di Bacone; cioè non esiste l'esperimento che da solo basta a decidere la teoria. Per questo motivo egli parla di *relativismo dell'ontologia* (intesa come «le assunzioni sulla natura dei fenomeni fisici»), e sostiene che una teoria fisica in realtà è una *famiglia di teorie*, tutte equivalenti dal punto di vista sperimentale e matematico, ma con distinte, e sperimentalmente indistinguibili, ontologie.

Ma la constatazione di Lavoisier e Laplace, secondo cui «può essere che [le due ipotesi] hanno luogo tutte e due alla volta» (p. 12, *ibid.*), richiama anche un'altra teoria fisica in cui questa impossibilità sperimentale di decidere tra due ipotesi antagoniste è stata metabolizzata nella teoria come un dualismo della natura; ci riferiamo all'ipotesi corpuscolare e a quella ondulatoria che ha trovato nella Meccanica Quantistica una formulazione astratta in termini di un principio più generale, quello di complementarità [1]. Ed in effetti Lavoisier e Laplace risolvono il problema della natura del calore in una maniera molto simile; essi formulano un principio matematico più generale e astratto (il principio di conservazione del calore libero), che risulta compatibile con entrambe le ipotesi formulate. In altre parole, la parte informale della teoria (l'*ontologia*, direbbe Poincaré), quella in cui le due ipotesi possono essere espresse solo linguisticamente, resta sperimentalmente indecisa;

Lavoisier e Laplace sostengono ognuno una ipotesi diversa e lo fanno per motivi di carattere filosofico non riconducibili ad esperimenti. Essi però sembrano essere d'accordo sulla formalizzazione del problema; cioè la parte formale della teoria, quella con la matematica, appiattisce le differenze filosofiche di partenza.

5. *Analisi logico-linguistica della Mémoire*

Ma Lavoisier e Laplace sono veramente d'accordo sulla formalizzazione della teoria?

Per risolvere questo problema storico posto dalla *Mémoire*, è utile seguire l'interpretazione che uno di noi (A. D. [3]) ha dato dei fondamenti di una teoria scientifica in termini di due categorie fondamentali. La prima categoria riguarda la *logica*, che può essere classica (vale il terzo escluso e una doppia negazione afferma) oppure non classica, nella quale ci sono frasi doppiamente negate che non sono equivalenti alle corrispondenti frasi affermative, ottenute sopprimendo le due negazioni. La scelta di un tipo di logica implica una organizzazione diversa della teoria: *Organizzazione Aristotelica (OA)* se la logica è classica, oppure *Organizzazione Problematica (OP)* se la logica è non classica.³ Infatti se la logica è classica, la teoria è una sequenza di proposizioni-teoremi ricavata da pochi principi assiomatici. Invece, se la logica è non classica, la teoria è la ricerca di un metodo di soluzione di un problema principale, espresso con una frase doppiamente negata che non coincide con la corrispondente frase affermativa. Abbiamo mostrato numerosi esempi di teorie, classiche [3] e non [13], che esprimono questi due tipi di organizzazione. L'altra categoria fondamentale riguarda la *matematica* che può essere *classica* (basata sull'infinito in atto o **IA**; ad esempio gli infinitesimi del calcolo differenziale di Newton) o *costruttiva* (basata solo sull'infinito potenziale o **IP**; ad esempio la matematica «elementare» della termodinamica di S. Carnot, oppure quella della chimica).

Seguendo questo tipo di interpretazione, riteniamo che le due ipotesi sulla natura del calore, cioè la parte informale della teoria su cui divergono Lavoisier e Laplace, possano essere distinte utilizzando l'opzione sul tipo di logica.

Infatti l'analisi linguistica della *Mémoire* rivela la presenza di alcune frasi doppiamente negate. Quelle che abbiamo individuato nel testo sono le seguenti:

- Articolo I:

I.1) «Altri fisici pensano che il calore non può non essere che [\neq è] il risultato del movimento insensibile delle molecole» (p. 10)

I.2) «Non si possono formare altre ipotesi sulla natura del calore che non siano [\neq le ipotesi possibili sono] le due menzionate» (p. 12)

³ Una distinzione simile, ma con una terminologia diversa, è stata fatta da Einstein in diversi suoi scritti epistemologici [4]; egli chiama *teoria di principio* una teoria organizzata aristotelicamente, e *teoria costruttiva* una teoria organizzata problematicamente.

I.3) «[Il calore] non può essere che [\neq è] la forza viva che risulta dal movimento interno della materia» (p. 12)

I.4) «Non vi è alcuna cosa che non indichi [\neq tutte indicano] a priori che il calore libero sia lo stesso prima e dopo la combinazione» (p. 13)

I.5) «Data l'ignoranza che abbiamo sulla natura del calore, non possiamo fare altro che non sia osservarne [\neq possiamo osservarne] gli effetti». (p. 14)

• Articolo III:

III.1) «Per costruire una teoria completa del calore, occorrerebbe avere un termometro... che può misurare tutti i gradi di temperatura possibile. Occorrerebbe conoscere la legge che esiste tra il calore delle diverse sostanze e i gradi corrispondenti del termometro ... sarebbe inoltre necessario conoscere il calore assoluto contenuto in un corpo ad una data temperatura. Infine occorrerebbe sapere la quantità di calore libero che si forma o si perde in una combinazione o decomposizione. Con questi dati sarebbe possibile risolvere tutti i problemi relativi al calore; ... ma questi dati non si possono ottenere se non [\neq si ottengono] con un numero quasi infinito di esperimenti molto delicati e fatti a gradi molto diversi di temperatura» (pp. 40-41)

III.2) «Gli esperimenti dell'articolo precedente non danno i rapporti di quantità assolute [= non relative] del calore dei corpi [\neq danno rapporti relativi];

III.3) [Gli esperimenti] non fanno conoscere altro che non sia [\neq fanno conoscere] il rapporto di quantità di calore necessarie per elevare di uno stesso numero di gradi la temperatura» (p. 42)

III.4) «Occorrerebbe supporre che queste quantità siano proporzionali alle loro differenze; ma questa ipotesi è alquanto precaria, e non può essere ammessa se non [\neq è ammissibile] dopo numerose esperienze» (p. 42)

• Articolo IV:

IV.1) «Fino a poco tempo fa, sul fenomeno del calore nella combustione e la respirazione non si avevano idee che non fossero [\neq si avevano idee] vaghe e molto imperfette» (p. 57)

IV.2) «L'esperienza ha mostrato che i corpi non possono bruciare e gli animali respirare se non [\neq respirano] per mezzo dell'aria atmosferica» (p. 58)

IV.3) «l'opinione più generalmente diffusa non attribuisce a questo fluido [l'aria] altro compito che non sia quello [\neq attribuisce il compito] di rinfrescare il sangue» (p. 58)

IV.4) «L'aria non agisce affatto in questi fenomeni [combustione e respirazione] come una semplice causa meccanica [= non chimica], ma come principio di nuove combinazioni». (p. 58)

IV.5) «Tutto ciò che riguarda la combustione e la respirazione si spiega, sotto queste ipotesi [l'aria come agente], in una maniera così naturale e così semplice che non esiterò [\neq sarò sicuro] a proporla, se non come una verità dimostrata, almeno come una congettura molto verosimile e degna dell'attenzione dei fisici». (pp. 58-59)

Una prima osservazione che possiamo fare è che le frasi doppiamente negate sono relegate per lo più all'inizio di ogni articolo. Il motivo sta nel fatto che il resto della *Memoire* è essenzialmente un trattato di esperimenti di laboratorio; ad esempio il secondo articolo (dove non abbiamo trovato doppie negazioni) è completamente dedicato alla descrizione del calorimetro a ghiaccio utilizzato per la misura dei calori specifici di diverse sostanze. Negli altri tre articoli la parte sperimentale è introdotta da considerazioni generali, di carattere speculativo; è solo in queste parti che abbiamo trovato frasi doppiamente negate. Il motivo di tutto ciò è che la logica che presiede alla valutazione degli esperimenti è la logica classica: l'esperimento riesce oppure no; quindi vale il terzo escluso e una doppia negazione coincide con la corrispondente frase affermativa. Nei paragrafi introduttivi invece si formulano ipotesi e principi per i quali non è detto ci sia una verifica sperimentale diretta; per questo motivo non è detto che la doppia negazione affermi e che di conseguenza la logica usata sia quella classica.

Una seconda osservazione riguarda l'uso delle doppie negazioni fatto da Lavoisier e da Laplace.

Nell'articolo IV, che Guerlac attribuisce interamente a Lavoisier, si parte dalla frase VI.1 che è la definizione, mediante una doppia negazione, di due problemi operativamente fondati e centrali nella teoria del calore, cioè la combustione e la respirazione. La frase IV.2 è un primo principio metodologico mediante il quale Lavoisier cerca di risolvere i due problemi posti nella IV.1. L'autore non asserisce che «I corpi possono bruciare e gli animali respirare per mezzo dell'aria atmosferica». Egli a questo stato della sua trattazione non ha ancora l'evidenza sperimentale per poter affermare questo principio in generale; per poter avanzare però nella ricerca e trovare un metodo di soluzione per il suo problema principale ricorre alla doppia negazione. Le frasi successive sono altri principi metodologici che specificano meglio e aggiungono quanto più contenuto possibile al principio IV.2, il quale non poteva essere reso vero sopprimendo semplicemente le due negazioni. Nella proposizione IV.4, posta a conclusione di questa linea di ragionamento, Lavoisier rifiuta esplicitamente, per il fenomeno della combustione e della respirazione, il modello meccanico basato sul concetto di causa (che, facciamo notare, era invece alla base della teoria newtoniana e laplaciana dei moti celesti). Questo risultato per adesso non ha alcuna evidenza sperimentale; è una «congettura verosimile», a favore della quale l'autore può addurre per il momento solo motivi logici. Con essa si riesce ad esprimere in maniera «naturale e semplice», così come è espresso nella IV.5, ogni fenomeno riguardante la combustione e la respirazione. La IV.4 non è dunque un assioma o «una verità dimostrata», a partire dalla quale vengono dedotte altre proposizioni, secondo lo schema aristotelico classico. Lavoisier non segue lo schema deduttivo classico; egli ammette la IV.4, anche se non la può dimostrare, e prosegue ad analizzare mediante questo principio alcuni esperimenti, mostrando che essi non lo contraddicono. In questo modo ne verifica indirettamente la validità.

Nell'articolo III, che secondo Guerlac, è interamente frutto di Laplace, si nota invece un uso alquanto differente delle doppie negazioni. A titolo di esempio esaminiamo la frase III.1. In questo passo vengono enumerate quattro condizioni astratte e generalissime, indispensabili per risolvere tutti i problemi relativi al calore. Nella frase c'è l'elenco dei requisiti che dovrebbe possedere una teoria «completa» del calore. A nostro giudizio l'autore di questo articolo sta tentando di proporre una organizzazione totalmente deduttiva della teoria del calore; in questo senso l'aggettivo «completo» è da intendere come «totalmente deduttivo». I requisiti citati da Laplace sono dei veri e propri postulati, riguardanti: l'esistenza di un termometro universale, la conoscenza di una relazione generale tra la temperatura misurata da un termometro e il calore posseduto dal corpo, la conoscenza del calore assoluto di ogni sostanza ad una data temperatura e la conoscenza del calore scambiato in qualsivoglia composizione o decomposizione di corpi. Laplace sta tentando di estendere al mondo microscopico il modello meccanico newtoniano, ipotizzando una sorta di «superuomo termodinamico» che come il suo ben noto «superuomo meccanico» è in linea di principio capace di conoscere tutto. L'organizzazione della teoria presa a modello è dunque quella aristotelica; da pochi postulati generalissimi si vorrebbe far discendere tutta la teoria. Solo di fronte all'impossibilità sperimentale di verificare questi postulati, Laplace ricorre ad una doppia negazione, dicendo che «questi dati non si possono ottenere se non con un numero quasi infinito di esperimenti molto delicati e fatti a gradi molto diversi di temperatura». In questo modo egli esplicita due grandi difficoltà sperimentali che si presentano per la verifica dei postulati enunciati. La prima riguarda l'esistenza di apparati in grado di coprire l'intero insieme di misure ammesse. L'altra difficoltà riguarda il numero degli esperimenti richiesti, che evidentemente dovrebbe essere infinito; una tale richiesta è però al limite della metafisica. Se ne accorge anche Laplace, che prima tenta in modo goffo di camuffare questa richiesta, operativamente infondata, aggiungendo un «quasi» prima di infinito, e poi ci rinuncia del tutto nel prosieguo dell'articolo, limitandosi a trattare «qualche problema interessante» (p. 41). Qui, rispetto al superuomo della meccanica, Laplace accetta una limitazione essenziale; la svolta viene espressa proprio con l'uso della doppia negazione nella frase prima citata; essa è alla base di un ragionamento che di fatto è per assurdo («[A causa del numero quasi infinito di esperimenti che occorrono] siamo ancora molto lontani dal conoscere [questi dati]; così ci limiteremo a trattare qualche problema interessante [cioè la combustione e il congelamento]»), anche se il «quasi» indica che il suo autore è riluttante ad accettarlo come tale.⁴

⁴ In generale in una teoria totalmente deduttiva, quindi OA, si evita il ragionamento per assurdo, perché esso pretende di ricavare proposizioni vere a partire da premesse false. Viceversa questo tipo di ragionamento è una tecnica dimostrativa congeniale ad una teoria OP; essa permette di dimostrare la validità di una proposizione – che non è direttamente ed operativamente decidibile – verificando che la sua negata – che invece è operativamente decidibile – porta all'assurdo. In questo modo si ci appella ad un punto fermo del nostro argomentare.

In conclusione, c'è una sostanziale differenza tra l'uso delle doppie negazioni da parte di Lavoisier e da parte di Laplace. In Lavoisier la doppia negazione sta all'inizio della trattazione e serve ad esprimere un principio metodologico, che nella forma affermativa è operativamente non verificabile. In Laplace la doppia negazione è posta al termine di una tentata assiomatizzazione della teoria e serve a sancire l'impossibilità sperimentale di tale formulazione; l'autore ricorre ad un ragionamento per assurdo (III.1) di fronte all'impossibilità di proseguire la trattazione con la deduzione classica.

Le differenze tra Lavoisier e Laplace, prima da loro stessi esplicitamente richiamate riguardo le due ipotesi sulla natura del calore, e poi apparentemente scomparse nella trattazione matematica della teoria, riemergono nel corpo della *Mémoire* grazie all'analisi logico-linguistica qui proposta.

I risultati di questa analisi avvalorano l'attribuzione a due distinti autori dei capitoli III e IV, fatta da Guerlac mediante un esame comparativo di tipo storico.

6. Valutazioni sulla *Mémoire*

Nella *Mémoire*, il progetto di Lavoisier e Laplace di rifondare la chimica mediante il metodo assiomatico («il metodo dei geometri») è lontano dall'essere realizzato. La formalizzazione matematica della teoria del calore è ancora in fieri e limitata ad un principio di conservazione su cui i due autori convergono, ma con le ambiguità precedentemente esaminate riguardo all'oggetto che si conserva. Per le parti restanti della *Mémoire*, Lavoisier e Laplace organizzano la teoria in due modi sostanzialmente diversi. Alla fine del primo e nel terzo articolo, Laplace discute la teoria del calore partendo da una astratta formulazione matematica e, una volta dedotto alcuni risultati particolari, si limita a dire che essi concordano con l'esperienza. Lavoisier invece parte da un problema concreto; formula un principio metodologico, mediante il quale dà un metodo di soluzione per il calcolo delle variabili del problema (calori specifici, calore di combustione, calore assorbito e ceduto durante la respirazione); ed applica poi questo stesso metodo ad altri problemi simili (ad esempio riguardanti elementi chimici diversi). Non c'è in questo secondo caso un principio generale da applicare all'esperimento, ma è l'analisi di un particolare esperimento che permette di formulare una legge fisica. I due atteggiamenti sono tipici di due modi opposti di organizzare una teoria scientifica; l'organizzazione deduttiva di Laplace contro quella basata su problemi di Lavoisier. Usando la terminologia introdotta nel paragrafo 5, si può dire che la teoria di Laplace è ad OA (Organizzazione Aristotelica), mentre quella di Lavoisier è ad OP (Organizzazione Problematica).

Allora la *Mémoire* è una collaborazione riuscita solo sul piano sperimentale, mentre è fallita sul piano teorico, essendo troppo eterogenea nelle sue parti. Invece di segnare l'incontro della nuova chimica con la fisica, come sostenuto da Guerlac [7], essa rappresenta solo un tentativo, non riuscito, di Laplace di riorganizzare la chi-

mica secondo il modello newtoniano, quindi secondo quella che nel 1700 era considerata la scienza per eccellenza. Guerlac sostiene (p. 275, [7]) che a questo progetto abbia continuato a lavorare lo stesso Lavoisier anche negli anni seguenti al 1784, non riuscendo a portare a termine i suoi studi solo perché fu condannato a morte durante la Rivoluzione francese. Noi invece riteniamo che sia stata proprio la consapevolezza del fallimento del programma della *Mémoire* a guidare Lavoisier in un progetto di teoria alternativo a quello tradizionale di Laplace.

Innanzitutto facciamo notare che dopo la *Mémoire* non vi sono altre collaborazioni sperimentali tra Laplace e Lavoisier. Inoltre dopo il 1784 Lavoisier abbandonerà il progetto di una teoria chimico-fisica, sia legata alla matematica della meccanica, sia basata sul modello deduttivo. Nel suo *Traité élémentaire de chimie* [11] egli esprime esplicitamente dei dubbi sulla possibilità di poter spiegare tutta la chimica in termini di affinità e forze molecolari [2], così come sosteneva invece Laplace. Lavoisier, assieme a Guyton de Morveau, Berthollet e Fourcroy, crea una nuova nomenclatura chimica fondata sul concetto di elemento, di cui per la prima volta si dà una definizione non metafisica, ma basata su dati sperimentali. L'assunto di fondo della nuova chimica è espresso bene da una frase doppiamente negata che non afferma:⁵

«Non è vero che la materia è divisibile all'infinito [= non finito]»

Usando la logica classica, in cui la doppia negazione equivale ad una affermazione, si dovrebbe poter dire:

«La materia è divisibile al finito»

Questa proposizione, senza ulteriori precisazioni sulla scala di grandezza del termine «finito», non è operativamente giustificata. La fisica delle particelle ha spostato sempre più verso l'infinitamente piccolo questa scala di valori.

D'altronde la negazione della stessa frase, cioè

«La materia non è divisibile al finito»

è evidentemente falsa, perché l'esistenza delle analisi chimiche non concorda con l'enunciato.

In conclusione solo la doppia negazione definisce bene il concetto alla base della nuova chimica e, nella forma di un principio metodologico, indica come risolvere il problema di quali siano i costituenti della materia. Lavoisier esce fuori dallo schema deduttivo classico della fisica newtoniana.

Invece Laplace nel 1796, due anni dopo la morte di Lavoisier, scrive *Exposition du système du monde* [9] in cui nel capitolo XVIII intitolato *De l'attraction moléculaire* dichiara che tutte le combinazioni chimiche sono il risultato di forze; la

⁵ Questa doppia negazione è stata usata dallo stesso Guerlac [8] per illustrare il senso della nuova chimica di Lavoisier.

forza molecolare attrattiva è la causa dell'aggregazione delle molecole; lo studio di queste forze è l'obiettivo principale della scienza chimica. In sostanza, il programma di Laplace è che tutti i problemi chimici possono e devono ridursi a quelli meccanici nella scala del microscopico. In una breve nota alla fine del capitolo ([9], vol. 2, p. 197) egli avverte però le difficoltà sperimentali che ancora sono presenti per la completa attuazione di questo programma. Le varie forze attrattive infatti dovrebbero dipendere dalla forma e dalla posizione delle molecole, in modo tale che tutti i fenomeni chimici possano essere spiegati in termini della legge fisica dell'attrazione universale. Ancora una volta Laplace considera una limitazione essenziale; egli scrive che «l'impossibilità sperimentale di conoscere forma e distanza tra le molecole rende la fisica dei corpi terrestri ancora lontana dal grado di perfezione raggiunta dalla fisica celeste con la legge di gravitazione universale» ([9], vol. 2, p. 197). Qui la limitazione è diversa da quella contenuta in III.1, perché è solo meccanica, senza riferimenti alle grandezze chimiche. La conclusione è però più ardita, perché non considera come essenziale quella limitazione.

Quelle differenze tra i due autori, che la nostra analisi logico-linguistica della *Mémoire* ha messo in evidenza, nel 1796 sono esplicite. Il programma di Laplace diverge da quello di Lavoisier.

Conclusioni

La logica della *Mémoire* è un ibrido di logica classica, prevalente negli articoli di Laplace e di logica non classica della doppia negazione, prevalente invece negli articoli di Lavoisier. Questo tipo di logica è usata da Lavoisier perché il suo atteggiamento è empirico ed euristico; invece a Laplace è utile perché nella *Mémoire* fallisce il suo tentativo di riorganizzare in maniera completamente deduttiva la teoria chimico-fisica del calore, cioè usando la sola logica classica. L'analisi logico-linguistica della *Mémoire* riesce a spiegare ed anticipa nel tempo le divergenze future tra i due autori, che dopo il 1784 non collaboreranno più insieme.⁶

⁶ L'utilità nella storia della chimica di questo tipo di analisi non si limita allo studio della *Mémoire*. Qui vogliamo solo ricordare lo studio delle frasi doppiamente negate in Avogadro [DRAGO A., OLIVA R., "Atomism and the reasoning by non-classical logic", *HYLE*, 5 (1999), pp. 43-55].

BIBLIOGRAFIA

- [1] BOHR N., “The quantum postulate and the recent development of atomic theory”, *Nature*, 121 (1928) pp. 580-89; ristampa in *Quantum Theory and Measurement*, (1983), p. 87.
- [2] CROSLAND M., “The development of Chemistry in the Eighteenth Century”, *Studies on Voltaire and the Eighteenth Century*, 24, Ginevra (1963), p. 388.
- [3] DRAGO A., *Le due opzioni*, La Meridiana, Molfetta (1991).
- [4] EINSTEIN A., *Opere scelte* (a cura di E. BELLONE), Ed. Boringhieri, 1988, pp. 741-744; *Idee ed opinioni*, Ed. Schwartz, 1957, pp. 216-217.
- [5] FOX R., *The caloric theory of gases: from Lavoisier to Regnault*, Oxford: at the Clarendon press, 1971, vol. 1.
- [6] GIEDYMIN J., “Geometrical and Physical conventionalism of Henri Poincaré in epistemological formulation”, *Studies in History and Philosophy of Science*, 22 (1991), pp. 1-22.
- [7] GUERLAC H., “Chemistry as a branch of Physics. Laplace’s collaboration with Lavoisier”, *Historical Studies Phys. Sciences*, 7 (1976), pp. 193-276.
- [8] GUERLAC H., “Quantification in Chemistry”, *Isis*, 52 (168), (1961), pp. 194-214.
- [9] LAPLACE P.-S., *Exposition du Système du Monde*, 2 volumi, Paris (1796); riedito in “Corpus des œuvres de philosophie en langue française”, Fayard, Paris, 1984. (In italiano *Opere di Pierre Simon Laplace*, a cura di O. PESENTI CAMBURSANO, *Classici della scienza* 8, UTET, Torino, 1967).
- [10] LAVOISIER A.L., *Oeuvres de Lavoisier, publiées par les soins du Ministre de l’Instruction Publique*, Paris 1862.
- [11] LAVOISIER A.L., *Traité élémentaire de chimie, présenté dans un ordre nouveau et d’après les découvertes modernes*, Couchet, Paris 1789 (riprodotto da *Culture et Civilisation*, Bruxelles, 1965).
- [12] LAVOISIER A.L., LAPLACE P.-S., “Mémoire sur la Chaleur”, in *Histoire et Mémoires Acad. R. Sc.* (1784), pp. 355-408. Riedizione in *Les Maîtres de la pensée scientifique*, Gauthier-Villars Editeur, Paris (1920), pp. 7-78 (ed. it. Tecnos, Roma 1998).
- [13] VENEZIA A., *La logica della Meccanica Quantistica: analisi storico-critica*, Tesi di Laurea in Fisica, Università Federico II, Napoli, a.a. 2000.