Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie di Scienze Fisiche e Naturali
137° (2019), Vol. XLIII, Parte II, Tomo II, pp. 249-259

ANTONINO DRAGO*

Sulla pretesa riduzione della chimica alla meccanica quantistica

Abstract – A debated question of foundations of Chemistry is whether this theory has been reduced to Quantum Mechanics. Various are the definitions of the notion of reduction and various are the opinions on Chemistry's reduction. From my studies on the history of both Chemistry and Physics I concluded that two dichotomies constitute the foundations of science, so that each scientific theory is characterized by a pair of choices on them. Accordingly, a reduction is possible between two theories sharing the same pair of choices. Only two cases of valid reduction are recognized within theoretical Physics. All other cases of claimed reductions are recognized as impossible, owing to the different pairs of choices of the two theories and hence the radical variations in meaning of the basic notions shared by the two theories. In particular, the claimed reduction of Chemistry to Quantum mechanics is denied in a detailed way.

Keywords: Definitions of reduction between two scientific theories, Foundations of science as two dichotomies, Incommensurability, Radical variation of meaning, New notion of reduction, No reduction of Chemistry to Quantum mechanics.

1. *Introduzione*

Da un secolo si discute sulla riduzione della Chimica alla Meccanica Quantistica (MQ), per cui la prima sarebbe «spiegata» dalla seconda. Oggi questo caso è il più importante delle riduzioni tra teorie scientifiche, perché dalla sua conclusione dipende la stessa organizzazione accademica della Chimica: occorre considerarla un ramo laterale e subordinato della teoria fisica, tanto da includere i Dipartimenti di Chimica in quelli di Fisica, o no?

* Già professore dell'Università Federico II di Napoli. E.mail: drago@unina.it

Ma innanzitutto notiamo che non c'è accordo sul concetto di riduzione. Il più famoso è quello del neo-positivista logico Ernst Nagel (1961); ma lui stesso l'ha modificato e oggi ne esistono vari e disparati. Per di più Paul Feyerabend, che considerava incommensurabili quasi tutte le teorie, ha argomentato che il concetto di riduzione è idealistico rispetto alle teorie sperimentali. (Feyerabend 1962) Nel seguito considererò solo i concetti di riduzione più utilizzati, trascurando quello degli strutturalisti (Balzer, Moulines, Sneed 1987), perché basato su un astratto formalismo di predicati della teoria degli insiemi e il «New wave reductionism», perché condivido il giudizio che «it either misses the target of reduction, or… it is not new at all». (van Riel e van Gulik 2019, par. 2.7) Inoltre non considererò appropriate allo studio delle riduzioni le concezioni scientifiche non matematizzate (ad es. il darwinismo), né le teorie incomplete (ad es. la meccanica di Galilei o quella di Keplero).

2. *Riduzione della chimica classica alla meccanica quantistica?*

Dalla seconda metà dell'800 la Fisica ha cominciato a sovrapporsi alla Chimica. Prima in campo teorico, con la nascita della Chimica Fisica, poi in campo sperimentale con l'annessione della spettroscopia e la scoperta della radioattività. Nel 1900 ha invaso la Chimica. Nel 1903 la sua invenzione dell'ultramicroscopio ha dimostrato l'esistenza sperimentale delle molecole, che la Chimica considerava solo come ipotesi. Nel 1913 l'introduzione del numero atomico dei fisici al posto del peso atomico dei chimici ha reso più chiara la Tabella di Mendeleev. Inoltre i fisici hanno inventato nuove tecniche sperimentali (ad es. spettrometri di massa, interferometri, ecc.) che sono diventate indispensabili per i chimici e così in gran numero da costituire la maggioranza delle tecniche sperimentali degli attuali laboratori di Chimica. Con la nascita della MQ molti importanti fisici teorici (Bohr, Langmuir, Dirac ecc.) hanno sostenuto la riduzione delle due teorie, perché i quattro numeri quantici descrittivi delle collocazioni energetiche degli elettroni di un atomo ne hanno indicato l'organizzazione interna. Inoltre con l'equazione di Schröedinger sono state calcolate matematicamente le proprietà dell'atomo di idrogeno e, in modo approssimativo, quelle della maggior parte degli atomi. Anche un elemento chimico, l'afnio, è stato scoperto per l'apporto teorico dei fisici[1].

Dato per accertato sperimentalmente che le sostanze chimiche sono composte da particelle elementari, allora è chiaro che le proprietà che la Chimica delle sostanze suggeriva a livello macroscopico sono interpretabili al livello microscopico con le proprietà delle particelle della Fisica. Questo è un esempio di riduzione ontologica: le proprietà degli oggetti (o sistemi) della teoria ridotta vengono spiegate con quelle dei componenti elementari della teoria riducente. Qui la riduzione ha un carattere immaginifico (di meccanismi costitutivi), ma anche filosofico (sul

[1] Ma Scerri (1994) ha contestato che questa predizione discenda dalla teoria di Niels Bohr o più in generale dalla MQ.

tema di quale sia la vera realtà di riferimento) e alle volte di calcoli (quelli della teoria riducente includono quelli della teoria ridotta).

Tutto ciò è sembrato sufficiente per considerare la Chimica come una teoria primordiale rispetto a quella che si ottiene applicando la MQ ai suoi problemi. Perciò molti autori descrivono la situazione odierna del rapporto Chimica-MQ con le seguenti parole: «There seems to exist broad consensus among philosophers of chemistry about the relationship between chemistry and physics:… ontological reduction cannot be denied» (Lombardi e Labarca 2005, pp. 132-133)[2].

Ma il problema più rilevante è se la Fisica abbia la capacità di spiegare la portata teorica della Chimica; il che costituisce la definizione della cosiddetta riduzione epistemologica, quella tra *intere* teorie. Ma Maureen Christie e John Christie (2000, pp. 39-44) hanno sottolineato che solo eccezionalmente le leggi della Chimica sono precise come quelle della Fisica; inoltre il ruolo della stessa tabella di Mendeleev è problematico, perché non è affatto chiaro che cosa essa rappresenti: teoria, sistema, classificazione, tavola, ordinamento, (Niaz *et al.* 2004). Quindi la riduzione della Chimica può essere al massimo solo approssimativa.

Inoltre vari chimici (Primas 1981, Liegener e del Re 1987; Scerri e McIntyre 1997; Villani 2017; ecc.) si oppongono alla riduzione epistemologica, sostenendo che i concetti della chimica sono essenzialmente differenti da quelli della MQ. Qui si possono solo indicare le variazioni radicali di significato (VRS) più discusse: elemento, identità delle particelle, legame chimico, molecola, legge periodica[3].

Il discorso delle VRS è più rilevante quando può trovare sostegno matematico[4]. Scerri chiama «naturalizzata» la riduzione che ha come basilare questo aspetto (Scerri 1998). I calcoli dell'equazione di Schröedinger (non relativistica ed indipendente dal tempo), applicata al problema di molti corpi (i componenti di un atomo), sembrarono poter risolvere ogni problema di Chimica. Essi infatti ottengono: la energia di un atomo o di una molecola, la forza e l'angolo di legame di una molecola, il momento di dipolo, l'atomo di H e approssimazioni di tutti gli atomi (sia pure con correzioni giustificate a posteriori), la molecola dell'idrogeno H_2 e quella del metano CH_4, in alcuni casi la velocità di una reazione.

Ma (*approssimazione*) questi calcoli sono esatti solo per pochissimi casi. Andando oltre l'idrogeno, essi (*incompletezza*) non sono *ab initio*, cioè si appoggiano sempre su considerazioni chimiche. Per di più (*intrattabilità*) i calcoli sono di

[2] Obiettano a questo tipo di riduzione della Chimica gli stessi Olimpia Lombardi e Martin Labarca (2005). Richiamandosi ad una posizione filosofica di Hilary Putnam essi sostengono che valgono «objective relationships between relative but objective ontologies», (p. 146) per cui la Chimica avrebbe una sua ontologia, differente da quella della MQ.

[3] Monique Lévy (1979, pp. 356-357) cerca di riassumere con una tavola tutte le caratteristiche che sono applicabili o non alla riduzione della Chimica alla MQ.

[4] È da notare che questo tipo di riduzione della Chimica alla MQ tratta la prima come se avesse una matematica poco sviluppata rispetto a quella della seconda; il cui «sviluppo» in realtà è anche quello di introdurre operazioni matematiche idealistiche (vedi la δ di Dirac) e quindi discutibili.

una complessità che aumenta enormemente con gli elementi chimici superiori a quelli di piccola grandezza; ancor più sono complessi i calcoli per descrivere il comportamento di molecole durante reazioni chimiche. Inoltre i calcoli non sono esaustivi (*incompatibilità*); essi non ottengono: la individualità degli oggetti chimici, le traiettorie degli elettroni (dette dalla MQ orbitali proprio perché le loro orbite non sono tracciabili, ecc.), il legame (Primas 1983, 5), la tabella periodica (i suoi periodi chiudono dopo 2, 8, 8, 18, 18, 32 elementi, mentre per la MQ i gusci elettronici si susseguono dopo 2, 8, 18, 32 elementi) la regola di Madelung e in generale i principi dell'Aufbau, la esatta collocazione di alcuni elementi (ad es., H ed He), la composizione, le proprietà strutturali di una molecola in particolare l'isomeria e le asimmetrie molecolari (Gonzales, Fortin, Lombardi 2019, 32-34). In più la scoperta fisica degli isotopi complica inutilmente la tabella periodica della Chimica.

Non si ottiene una risposta chiara neanche dalla matematica che nella Fisica teorica è alternativa alle equazioni differenziali (Barut 1989): la teoria dei gruppi. Infatti la sua applicazione dà più soluzioni (*sottodeterminazione*). (Novaro 2006; Kibler 2006; Ostrovsky 2006) Quindi non è possibile ridurre (almeno per ora) la tabella periodica ad un solo gruppo specifico della MQ.

Tutte queste mancanza della MQ vanno a giustificare la bontà dell'atteggiamento strumentale della Chimica.

Per di più alcuni sostengono che esistono proprietà «emergenti», che cioè nascono al livello superiore di spiegazione di quello della teoria riducente del livello inferiore (ammesso che la realtà sia rappresentata teoricamente con una serie di livelli, in ognuno dei quali le teorie riducono quelle del livello superiore). Oltre gli esempi precedenti sono indicati: l'odore (che non ha senso in MQ); il cambiamento radicale di proprietà nel passare dal boro al carbonio (che tra l'altro è di base per la vita; per la MQ questo salto non è di più di quello solito dovuto all'aggiunta di un protone e un elettrone) o anche dall'elio al litio; l'acqua rispetto all'idrogeno e all'ossigeno, il benzene rispetto ai suoi due costituenti, ecc.

Per queste ragioni molti chimici rifiutano la riduzione epistemologica. Lombardi e Labarca (2005) scrivono (nella citazione di cui sopra, nella parte sostituita da puntini) che tra gli attuali filosofi della scienza c'è un ampio consenso sul fatto che «epistemological reduction must be rejected».

Ma la opposizione alla riduzione epistemologica coinvolge anche l'aspetto filosofico delle teorie. Perciò per la loro sottigliezza, le discussioni ad es. sulle VSR dei concetti spesso danno soluzioni malcerte. Inoltre resta il dubbio che le VRS siano temporanee, per cui nuove sistemazioni linguistiche, concettuali e matematiche delle teorie potrebbero eliminarle. Ad esempio, il dibattito sulla MQ della prima metà del 20° secolo fu dominato dal tema onda (concetto tipico della fisica) e/o corpuscolo (concetto in uso anche in Fisica ma caratteristico della Chimica). Poi quella VRS è sembrata sovrastrutturale alla vera teoria, ormai consolidata e con un apparato matematico autosufficiente; per cui il contrasto di opinioni non è più stato rilevante. Quindi per risolvere con precisione il problema di una VRS occorre

che in precedenza si siano chiarite le differenze essenziali tra le due teorie che contengono gli elementi in questione; ma la difficoltà di questo chiarimento è equivalente a quella del problema iniziale (le due teorie sono riducibili o no?).

Infine notiamo che la riduzione epistemologica vuole tener conto di tutti gli aspetti teorici delle due teorie confrontate, ma non li sa elencare; perciò non sa decidere se le VRS denunciate siano dei veri impedimenti alla riduzione o solo eccezioni (magari inessenziali).

3. *Ma che cos'è una teoria scientifica?*

Si può supporre che la mancanza di un chiaro modello di teoria scientifica sia la causa principale della inconclusività del dibattito sulla riduzione di due teorie. In effetti già Sahotra Sankar (2015, p. 48) ha scritto: «Everything depends on what "theory" is supposed to include». (Da questo punto di vista il più frequente riferimento alla riduzione ontologica appare come un voler semplificare il concetto di riduzione fino a intendere la teoria scientifica con le sole idee intuitive dei costituenti dei sistemi in esame).

Ma allora che cosa è una teoria scientifica? Immanuel Kant riteneva scientifica una teoria solo quando era basata sulla matematica, che per August Comte per di più doveva essere quella avanzata; per cui la Chimica sarebbe solo un'arte in quanto la sua matematica se c'è, è elementare. Per David Hilbert è scientifica quella teoria che è assiomatizzabile; ma ora sappiamo che ciò è impossibile anche per le teorie solo matematiche! L'analisi dei testi di Nagel sul suo concetto di teoria scientifica mostra che egli ne aveva una concezione o come assiomatica o come teoria «deduttiva-nomologica», quella con cui nel passato si è preteso di rappresentare adeguatamente tutte le teorie fisiche, sin da quella di Isaac Newton. Ma alcuni studiosi si sono resi conto che questa concezione non è sufficiente e l'hanno contestata. Per Karl Popper il criterio discriminante della scientificità è la falsificabilità della teoria; tra le molte critiche rivolte a questo criterio, quella decisiva è che questo criterio è solo necessario, non sufficiente. Quindi dagli studiosi precedenti non abbiamo ricevuto una chiara risposta alla domanda di sopra.

Da lavori sulle storie della Chimica, della Fisica, della Matematica e della Logica ho concluso che i fondamenti di una teoria scientifica sono costituiti da due dicotomie; per cui: 1) così come è nella concezione tradizionale, una teoria scientifica è basata sia sulla Matematica che sulla Logica; 2) ma in più, ognuna di queste due discipline è divisa in due formulazioni differenti; 3) in Matematica: o la matematica classica, basata sull'Infinito in Atto (IA; cioè il considerare l'infinito come un ente matematico pari agli altri; nel passato l'esempio più eclatante era l'infinitesimo; oggi i due punti finali di una retta, o l'assioma di Zermelo), o la matematica costruttiva, che usa solo l'Infinito Potenziale (IP; l'esempio immediato è quello del contare i numeri naturali oltre ogni limite ma senza mai giungere ad un ultimo numero); 4) in Logica, o la logica classica, che governa una Organizzazione teorica

deduttiva basata su Assiomi (quella che teorizzò per primo Aristotele e poco dopo realizzò Euclide con la teoria geometrica) (OA), o la logica intuizionista (induttiva), che governa una Organizzazione teorica rivolta a risolvere un Problema cruciale (OP; ad es. Lavoisier ha fondato la Chimica organizzandola sul problema di trovare gli elementi costitutivi della materia; la Termodinamica è stata fondata da Sadi Carnot sul problema della massima efficienza nelle trasformazioni calore/lavoro); 5) le due formulazioni della Matematica sono tra loro alternative; perché i due concetti di infinito sono incompatibili; per cui ad es. i casi di indecidibilità matematica tipici di IP sono assenti nella matematica classica basata sull'IA; sono pure incomparabili le due formulazioni della Logica (soprattutto per la legge della doppia negazione: o due negazioni affermano, o no); 6) allora su queste due dicotomie ogni teoria deve compiere le sue scelte; 7) quindi esistono quattro coppie di scelte, alle quali corrispondono quattro modelli di teoria scientifica[5]; 8) quando due teorie hanno differenti coppie di scelte molti concetti in comune, che rappresentano queste scelte diverse, hanno VRS e quindi le due teorie sono incommensurabili[6]. (Drago 2017 a, cap. 7).

Mediante le due dicotomie si può allora definire una teoria come scientifica quando essa: 1) è sperimentale, 2) si basa su una delle due formulazioni della Matematica, o classica o costruttiva, 3) si basa su una delle due formulazioni della Logica e quindi, in corrispondenza, ha una organizzazione teorica o deduttiva, o rivolta a risolvere un problema.

4. *Una nuova definizione di riduzione*

Esaminiamo quanto questa concezione dei fondamenti della scienza suggerisce nel caso delle riduzioni. Per prima cosa suggerisce che *la riduzione di due teorie è possibile solo quando le loro due scelte sono uguali, cioè quando le due teorie appartengano al medesimo MTS.*

Confrontiamo questa definizione con quelle incontrate in precedenza. La riduzione ontologica si basa sulla organizzazione (tutto/parti) dei componenti materiali del sistema teorizzato; il che esprime solo in parte la intera organizzazione della teoria, perché ad es., non indica se questi componenti sono considerati in maniera assiomatica (cioè alla luce di una OA) o come risultati di una indagine induttiva (OP). Se poi alla riduzione ontologica si aggiunge la riducibilità dei calcoli, di solito si ha il preconcetto che essi appartengano sempre alla matematica classica (IA), senza tener conto che invece la matematica della Chimica non usa mai l'IA, ma solo l'IP; per cui si ignorano le VRS conseguenti (che vedremo nel seguito).

[5] Questa definizione corrisponde a quanto Lombardi e Labarca (2005, p. 246) hanno proposto (v. n. 2). Le loro «different but objective theory-dependent ontologies» qui sono intese come quelle dei diversi MST.

[6] Questa definizione, basata su scelte formali (di una intera matematica o di una intera logica), precisa quelle intuitive di Feyerabend e di Thomas Kuhn.

Sono quindi possibili quattro tipi di riduzione, quanti sono i MTS a cui debbono appartenere le due teorie confrontate. Inoltre dobbiamo tener conto che ognuna delle due scelte comuni delle due teorie può essere esplicitata in modi diversi; per cui la riduzione è possibile solo se per ognuna delle due scelte comuni è verificata la corrispondente condizione indicata nella tabella seguente.

OA	**OP**	**IA**	**IP**
Deducibilità logica dell'insieme del gruppo di principi-assiomi da quello della teoria riducente	Il problema cruciale della teoria ridotta è includibile in quello della teoria riducente	La potenza dell'infinito in atto della teoria ridotta è minore o pari a quella della teoria riducente[7]	Deducibilità matematica delle formule della teoria ridotta da quelle della teoria riducente

Tab. 1. Condizioni per la riduzione di due teorie.

Si noti che intendendo ogni riduzione in questo senso, allora i collegamenti tra le due teorie sono precisati con chiarezza per ogni scelta su cui ambedue le teorie si basano: essi sono di tipo o logico o matematico. Così l'operazione di riduzione è pienamente scientifica, tanto da non lasciare ambiguità da risolvere filosoficamente.

5. *Il riconoscimento dei due casi di riduzione accettati in Fisica teorica*

Due sono i casi storici di riduzione che sono comunemente considerati validi in Fisica teorica.

1) *La Teoria cinetica dei gas è ridotta alla Meccanica.* Notiamo che *la Teoria cinetica dei gas è OP* (la teoria è basata sul problema di spiegare le leggi macroscopiche dei gas) *e IP* (la sua matematica è elementare; lo scritto cruciale di Maxwell si basa sulla geometria Euclidea); essa è ridotta anche secondo la nuova definizione di riduzione, ma purché la Meccanica non sia quella che molti libri di testo intendono, quella di Newton, le cui scelte sono diverse da quelle precedenti: *OA* (la teoria discende tutta da tre principi-assiomi) *e IA* (usa gli infinitesimi e le equazioni differenziali senza limitazioni) (Drago 1988); ma sia la sostanzialmente diversa *Meccanica di Huygens-Leibniz-Lazare Carnot, che è OP* (il suo problema è scoprire invarianti durante una collisione) *e IP* (la sua matematica fa uso solo di tecniche algebriche-trigonometriche) (Drago 2004). Inoltre, i rispettivi problemi di base soddisfano il criterio della tabella precedente, poiché entrambi cercano gli invarianti delle collisioni tra un numero (rispettivamente piccolo o grande) di corpi. È un fatto storico che la nascita della Teoria cinetica dei gas avvenne proprio come applicazione di questa formulazione della Meccanica (Drago 2017b).

[7] Infatti l'IA può essere quello della semplice intuizione geometrica dei punti all'infinito, o quello del punto limite di un qualsiasi limite di numeri reali, o quello degli infinitesimi, o quello della teoria degli insiemi, ecc. (Drago 2017 a, par. 7.2-3).

2) Anche la riduzione *della Ottica fisica all'Elettromagnetismo di Maxwell* è considerata comunemente valida. È valida anche secondo la nuova definizione di riduzione, perché le scelte della prima teoria sono *AO* (perché questa teoria è derivata dal concetto astratto di raggio di luce e dal principio, dichiarato a priori, di Huygens) e *IA* (perché l'applicazione di questo principio richiede il calcolo delle involuzioni dei fronti d'onda elementari mediante una matematica che utilizza l'IA). Inoltre la condizione di deducibilità logica dei principi è soddisfatta perché in particolare il principio di Huygens è ottenuto grazie a un'elaborazione (attraverso le funzioni di Green) delle equazioni di Maxwell: mentre la potenza matematica dell'IA è la stessa in entrambe le teorie.

6. *Le riduzioni impossibili*

Invece, secondo la nuova definizione di riduzione è impossibile ridurre *una teoria ad un'altra se le loro coppie di scelte sono differenti*, perché allora i loro concetti basilari hanno VRS e quindi le teorie sono tra loro *incommensurabili*.

– *L'Ottica geometrica, con le scelte OA* (discende da due leggi-assiomi) *e IP* (si basa sulla geometria analitica che non ha operazioni all'infinito) *non può essere ridotta dall'Elettromagnetismo di Maxwell*, *le cui scelte sono OA* (tutta la teoria è dedotta dall'astratto concetto di campo, assunto a priori) *e IA* (le equazioni di Maxwell sono locali, basate sugli infinitesimi), perché esse hanno una differente scelta sul tipo di infinito. Un esempio di indecidibilità su cui si basa la teoria ridotta e che non può essere trattata dalla teoria riducente è quello dei punti all'infinito dei raggi luminosi (quei punti che in Geometria sono indecidibili con operazioni finite, ma che la teoria ottica ricava per abduzione e poi assume come ulteriori assiomi della sua OA) e che invece la matematica dell'elettromagnetismo può ottenere con operazioni di limite che usa l'IA.

– *La Termodinamica, con le scelte OP* (in quanto è rivolta a risolvere il problema della conversione del calore in lavoro) *e IP* (in quanto ha una matematica elementare) *non può essere ridotta dalla Meccanica statistica, le cui scelte sono OP* (perché si basa sul problema di «spiegare» le leggi della Termodinamica) *e IA* (perché non si pone limiti nell'uso della matematica). Anche qui la scelta diversa è quella sul tipo di infinito. Come esempio di VRS si può indicare la crescita (in generale indecidibile) dell'entropia, la quale crescita è invisibile alla matematica della meccanica statistica, che è del tutto reversibile.

– *La Chimica classica, le cui scelta dell'organizzazione è OP* (perché rivolta a risolvere il problema fondamentale di quanti e quali siano gli elementi costitutivi della materia) *non può essere ridotta dalla teoria dell'atomo di Bohr, la cui organizzazione è chiaramente OA*. Infatti la seconda teoria non può dar conto del problema della Chimica classica; può solo tradurre il suo risultato nella conclusione di un calcolo derivato da assiomi. Inoltre ribalta l'ordine chimico (che pone prima le molecole e poi gli atomi) nel porre per primi (le particelle e) gli atomi. Inoltre nella

Chimica il legame chimico è strutturale, cioè si riferisce ad una OP; mentre in MQ è (parzialmente) derivato dalle equazioni che discendono dall'energia del sistema, cioè si riferisce ad una AO. Inoltre il concetto di atomo fisico, come costituito da protoni ed elettroni, se introdotto nella Chimica classica cambia la organizzazione degli elementi chimici; in Chimica essa è relazionale (OP), in MQ essa è una organizzazione deduttiva (OA) che ricava uno ad uno gli elementi secondo tutte le combinazioni possibili delle particelle fisiche. Infine, essendo la scelta della Chimica OP, la sua logica è intuizionista (Drago 2007), per cui la teoria usa frasi doppiamente negate; le quali vengono escluse da quella logica classica che governa la teoria di Bohr: ad es. la celebre definizione di elemento data da Lavoisier è una frase doppiamente negata: «… ciò che non possiamo decomporre»; se è tradotta dalla logica classica di OA in un frase affermativa, questa risulta una banale identità: «un elemento è un elemento unitario»; quindi la frase iniziale è senza una affermativa equivalente e quindi non vale la legge della doppia negazione; perciò siamo in logica intuizionista.

– *La Chimica classica, con le scelte IP e OP* (per le ragioni dette nel caso precedente), *non può esser ridotta dalla Meccanica quantistica*, *che è OA* (perché formulata nello spazio di Hilbert dato a priori dalla realtà) *e IA* (questo spazio è formato da funzioni di matematica classica). Qui ambedue le scelte sono differenti. Quella tra OA e OP ripete la incompatibilità già indicata nel caso precedente. Riguardo all'altra differenza, Eric Scerri (Scerri 2007, pp. 74-75) ha già osservato che la matematica della MQ non può spiegare con i suoi calcoli perché nella tabella periodica ad un atomo segua un altro con proprietà tanto diverse. Per di più nella Chimica la sequenza degli atomi è solo illimitata (operativamente), quindi è IP; mentre per la MQ è una sequenza infinita in atto (perché dedotta da una tecnica matematica con l'IA). Non è strano allora che la MQ, che è basata sull'IA, non contempli i principi metodologici tipici della OP della Chimica, cioè i principi di costruzione operativa della serie degli elementi (ad es. la regola di Madelung). Si può dire sinteticamente che la tabella di Mendeleev è basata sull'ordine (della enumerazione degli elementi, quindi IP) e la similarità (quindi un principio relazionale organizzativo, quindi OP); ma è considerata in maniera radicalmente diversa dalla MQ, che arriva a ripetere quell'ordine e quella similarità solo col confronto dei risultati dedotti da principi a priori OA con una tecnica matematica che usa l'IA.

7. *Conclusioni*

L'aver definito con precisione i fondamenti di una teoria scientifica porta chiarezza sul problema della riduzione tra due teorie e sulle loro precedenti definizioni. Inoltre le possibili riduzioni vengono riconosciute proprio in quelle comunemente accettate; mentre le pretese riduzioni, in particolare quella della Chimica alla MQ, vengono riconosciute impossibili per precise VRS nei concetti fondamentali.

BIBLIOGRAFIA

Balzer Wolfgang, Moulines Carlos Ulises, Sneed John (1987), *An Architectonics for Science*, Dordrecht: Reidel.

Barut Asim (1989), *Geometry and Physics*, Napoli: Bibliopolis, 1989, app. B, pp. 49-72.

Christie Maureen e Christie John R. (2006), «"Laws" and "Theories" in Chemistry Do Not Obey the Rules», in Bhushan N. and Rosenfeld S. (eds.), *Of Minds and Molecules*, Oxford: Oxford U.P., 2006, pp. 34-50.

Drago Antonino (1988), «A Characterization of Newtonian Paradigm», in P.B. Scheurer, O. Debrock (eds.): *Newton's Scientific and Philosophical Legacy*, Kluwer Acad. P., pp. 239-252.

Drago Antonino (2004), «A new appraisal of old formulations of mechanics», *American Journal of Physics*, 72(3), pp. 407-9.

Drago Antonino (2007), «La maniera di ragionare di Lavoisier, Dalton ed Avogadro durante la nascita della teoria chimica», *Rend. Acc. Naz. delle Scienze detta dei XL*, Memorie di Sci. Fisiche e Nat., ser. V, 31, pt. Il, tomo II, pp. 189-201.

Drago Antonino (2017a), *Dalla Storia della Fisica ai Fondamenti della Scienza*, Roma: Aracne.

Drago Antonino (2017b), «*The kinetic theory of gases was unwarily derived from Huygens-Leibniz-Carnot's formulation of mechanics*», Fregonese L., Gambaro I. (eds.), *Atti del XXXIII Convegno annuale della Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia, 2013*, Pavia: Pavia University Press, pp. 445-457.

Feyerabend Paul K. (1962), «Explanation, Reduction and Empiricism», in G. Maxwell & H. Feigl (eds.), *Scientific Explanation, Space and Time* (Minnesota Studies in the Philosophy of Science: Volume III), Minneapolis: University of Minnesota Press, pp. 28-97.

Gonzales José C.M., Fortin Sebastian, Lombardi Olimpia (2019), «Why moleculrlar structure cannot be reduced to Quantum mechanics», *Foundations of Chemistry*, 21 (1), pp. 21-45.

Kibler Maurice (2006), «A group-theoretical approach to the periodic table: old and new developments», in Rouvray D.H and King R.B. (eds.). *The Mathematics of the Periodic Table*, Hauppauge, NY: Nova Science Publ., pp. 237-263.

Lévy Monique (1979), «La relation entre chimie et physique et le problème de la réduction», *Epistemologia*, 2, pp. 337-370.

Liegener Christof, Del Re Giuseppe (1987), «Chemistry vs. Physics, the Reduction Myth, and the Unity of Science», *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie / Journal for General Philosophy of Science*, Vol. 18, pp. 165-174.

Lombardi Olimpia, Labarca Martin (2005), «The ontological autonomy of the chemical world», *Foundations of Chemistry*, 7, pp. 125-148.

Nagel Ernst. (1961), *The Structure of Science*, London: Routledge and Kegan.

Niaz Mansoor *et al*. (2004), «An appraisal of Mendeleev's contribution to the development of the periodic table», *Stud. Hist. Phil. Sci*., 35, pp. 271-282.

Novaro Octavio (2006), «Group theory and periodic Table», in Rouvray D.H. e King R.B. (eds.). *The Mathematics of the Periodic Table*, Hauppauge, NY: Nova Science Publ., pp. 217-234.

Ostrovsky Valentin (2006), «Group theory applied to the periodic table of elements», in Rouvray D.H. and King R.B. (eds.). *The Mathematics of the Periodic Table*, Hauppauge, NY: Nova Science Publ., pp. 263-311.

Primas Hans (1983), *Chemistry, Quantum Mechanics and Reductionism*, Berlin: Springer.

Sarkar Sahotra (2015), «Nagel on reduction», *Studies in History and Philosophy of Science*, Part A, 53, pp. 43-56.

Scerri Eric (1994), «Prediction of the Nature of Hafnium from Chemistry. Borh's theory and Quantum Theory», *Annals of Science*, 51, pp. 137-150.

Scerri Eric (1998), «Popper's naturalized approach to the reduction of Chemistry», *International Studies in Philosophy of Science*, 12, 1, 33-44.

Scerri Eric (2007), «The ambiguity of reduction», *Int. J. of Philosophy of Chemistry*, 13, 2, pp. 62-81.

Scerri Eric e McIntyre Lee (1997), «The case of Philosophy of Chemistry», *Synthese*, 111, pp. 213-232.

van Riel Raphael e van Gulick Robert (2019), «Scientific reduction», in Zalta E.N. (ed.), *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, https://plato.stanford.edu/entries/scientific-reduction/

Villani Giovanni (2017), «Structured Systems in Chemistry. Comparison with Mechanics and Biology», *Foundations of Chemistry*, 16, pp. 107-123.