

Sull'inadeguatezza della mereologia formale husserliana per l'ontologia regionale degli insiemi chimici*

Marina Paola Banchetti-Robino

In his book, *History as a Science and the System of the Sciences*, Thomas Seebohm articulates the view that history can serve to mediate between the sciences of explanation and the sciences of interpretation, that is, between the natural sciences and the human sciences. Among other things, Seebohm analyzes history from a phenomenological perspective to reveal the material foundations of the historical human sciences in the lifeworld. As part of this examination, Seebohm devotes a section to discussing Husserl's formal mereology because he understands that a reflective analysis of the foundations of the historical sciences requires a reflective analysis of the objects of the historical sciences, that is, of concrete organic wholes (i.e., social groups) and of their parts. Seebohm concludes that Husserl's mereological ontology needs to be altered with regard to the historical sciences because the relations between organic wholes and their parts are not summative relations. In this paper, I extend Seebohm's conclusion to the ontology of chemical wholes as objects of quantum chemistry and to argue that Husserl's formal mereology is descriptively inadequate for this regional ontology as well. This conclusion is relevant for the question of the reducibility of chemical wholes to their parts and

of the reducibility of chemistry to physics, issues that have been of central importance within the philosophy of chemistry for the past several decades.

*La versione originale del presente articolo apparirà nel 2020 in lingua inglese (*The Inadequacy of Husserlian Formal Mereology for the Regional Ontology of Quantum Chemical Wholes*) in T. Nenon (Ed.) *Thomas Seebohm on the Foundation of the Sciences: An Analysis and Critical Appraisal*. Dordrecht: Springer. La presente traduzione è a cura di Erica Onnis.

PHENOMENOLOGICAL EPISTEMOLOGY

MEREOLOGY

ORGANIC WHOLES

FORMAL ONTOLOGY

REGIONAL ONTOLOGY

CHEMICAL WHOLES

I. Introduzione

Nel suo libro *History as a Science and the System of the Sciences*, Thomas Seebom articola la tesi secondo cui la storia si offrirebbe come mediatore fra le scienze della spiegazione e le scienze dell'interpretazione, ossia fra le scienze naturali e quelle umane. In particolare, Seebom analizza la storia a partire da una prospettiva fenomenologica per rivelare i fondamenti materiali delle scienze umane storiche nel mondo della vita. ¹ Come analisi preliminare, egli esamina i presupposti formali e materiali dell'epistemologia fenomenologica, così come l'emergenza delle scienze umane e le tradizionali distinzioni e divisioni che sussistono fra esse e le scienze naturali.

¹ Questo articolo è dedicato alla memoria del professor Lester Embree, mio rispettato collega per molti anni, il cui consiglio e supporto furono sempre generosi e preziosi per lo sviluppo del mio lavoro.

Durante la sua analisi dei presupposti metodologici formali dell'epistemologia fenomenologica, Seebom delinea la storia delle scienze umane e prende in considerazione la dominanza dello psicologismo riscontrabile alla fine del XIX secolo e all'inizio del XX. Uno dei paradossi dello psicologismo consiste nel fatto che l'epistemologia delle scienze formali (ossia le scienze interessate agli oggetti ideali) sarebbe dovuta diventare un ramo della scienza empirica e, come sottolinea Seebom, lo psicologismo naturalistico sceglie di convivere con questo paradosso. Edmund Husserl, d'altro canto, rifiuta questo approccio psicologista, poiché esso implica che la matematica debba diventare un ramo della psicologia empirica. Egli, per converso, opta per l'applicazione delle descrizioni fenomenologiche direttamente all'epistemologia e in effetti il secondo volume delle *Ricerche Logiche* riguarda esattamente l'applicazione di descrizioni fenomenologiche all'epistemologia. Come osserva Seebom, Husserl cerca di dimostrare la tesi secondo cui il fatto che la fenomenologia sia applicabile alle ricerche epistemologiche sulle scienze formali e sugli oggetti ideali più in generale implica che essa non possa venire intesa come psicologia descrittiva (Seebom 2015, 14). L'importanza di questa tesi di Husserl per Seebom consiste in questo: mostra che la fenomenologia, in questa fase del suo sviluppo, non è soltanto il metodo dell'epistemologia, ma anche di tutte le altre discipline filosofiche (2015, 14). Proprio come l'epistemologia fenomenologica di Husserl rivelava i fondamenti delle scienze formali all'interno delle strutture eidetiche, Seebom cerca di dimostrare che un atteggiamento fenomenologico riflessivo nei confronti delle scienze storiche rivelerà i loro fondamenti materiali nel mondo della vita.

Nella sua discussione sull'applicazione della fenomenologia all'epistemologia delle scienze formali, Seebom dedica una sezione del suo libro alla teoria *mereologica* di Husserl, ossia alla teoria delle parti e dell'insieme così come essa viene formulata nel secondo volume delle *Ricerche Logiche* e, più tardi, in *Esperienza e giudizio*:

Understood as a general theory of parts and wholes, mereology has a long history that can be traced back to the early days of philosophy. As a formal theory of the part-whole relation—or rather, as a theory of the relations of part to whole and of part to part within a whole—it is relative recent and came to us mainly through the writings of Edmund Husserl and Stanisław Leśniewski. [Husserl's work was] part of a larger project aimed at the development of a general framework for formal ontology [...] [and it] finds its fullest formulation in the [second volume] of his *Logical Investigations*. (Gruszczyński & Varzi 2015, 409–410)

Ora, per Husserl, l'ontologia deve essere intesa nel senso tradizionale di teoria dell'essere:

[...] its task is to lay bare the formal structure of what there is no matter what it is . . . For instance, it would pertain to the task of formal ontology to assert that every entity, no matter what it is, is governed by certain laws concerning identity, such as reflexivity, symmetry, or transitivity” (410).

Identità, riflessività e transitività sono quindi relazioni formali poiché si applicano a tutto ciò che può esistere e Husserl ritiene che anche la relazione parte-insieme sia formale in questo senso: «Parthood seems to apply to entities as different as material bodies (the handle is part of the mug), events (the first act is part of the play), geometrical entities (the point is part of the line), etc. Even abstract entities such as sets, appear to be amenable to mereological treatment» (411). Husserl crede pertanto che una teoria puramente formale di parti ed insiemi sia possibile (Simons 1982, 114) e serva da fondamento per la mereologia delle ontologie regionali.

Seebohm dedica una parte del suo lavoro alla discussione della mereologia formale di Husserl perché comprende che un’analisi riflessiva dei fondamenti delle scienze storiche richiede una corrispondente analisi degli oggetti delle scienze storiche, ovvero sia degli insiemi organici concreti (cioè i gruppi sociali) e delle loro parti. Per questa ragione, Seebohm si concentra inizialmente sulla disamina dell’ontologia mereologica delle scienze formali e valuta, in seguito, se questa mereologia estensiva sia sufficiente a descrivere correttamente le relazioni tra quegli insiemi organici e quelle parti che formano gli oggetti delle scienze storiche. Seebohm conclude che l’ontologia mereologica husserliana deve essere emendata quando applicata alle scienze storiche poiché le relazioni che intercorrono fra gli insiemi organici e le loro parti non appartengono allo stesso tipo di relazione sommativa che esiste, ad esempio, tra una tazza e le sue parti o fra le parti di un insieme e l’insieme stesso. Questa tesi conclusiva di Seebohm è rilevante sia per la questione della riducibilità degli insiemi organici (come i gruppi sociali) alle loro parti, sia per la questione della riducibilità delle scienze storiche alle scienze di ordine inferiore (ossia le scienze che si occupano delle ontologie di ordine inferiore).

In questo articolo, proporrò di estendere le conclusioni di Seebohm all’ontologia degli insiemi chimici intesi come gli oggetti della chimica quantistica e sosterrò che la mereologia formale di Husserl è descrittivamente inadeguata anche nel caso di questa ontologia regionale. Una mossa di questo genere può sembrare sorprendente, di primo acchito, dal momento che gli oggetti studiati dai chimici quantistici non sono insiemi organici; tuttavia, le mie considerazioni sugli atomi e sulle molecole così come sono intesi dalla chimica quantistica renderanno chiaro che la mereologia sommativa ed estensiva classica di Husserl non riesce a catturare in maniera accurata le relazioni tra gli insiemi chimici e le loro parti.

Esaminerò, inizialmente, i principi della mereologia husserliana per l’ontologia formale; quindi mi concentrerò sulla critica di Seebohm sull’applicabilità della mereologia husserliana alle ontologie regionali di ordine superiore dei gruppi sociali; concluderò, infine, che questa stessa critica può essere estesa all’ontologia regionale di ordine inferiore delle parti e degli insiemi chimici. A sostegno delle mie argomentazioni, discuterò in forma discorsiva esempi concreti provenienti dal campo della chimica quantistica, e dimostrerò che la mereologia estensiva sommativa sviluppata nelle *Ricerche Logiche* e in *Esperienza e giudizio* non riescono a catturare efficacemente le peculiari relazioni esistenti tra le molecole e le loro parti atomiche. Anche in questo caso questa conclusione è rilevante per la questione della riducibilità degli insiemi chimici alle loro parti e per la riduzione della chimica alla fisica: questioni di fondamentale importanza nel contesto della filosofia della chimica degli ultimi decenni.

II. I principi della mereologia husserliana per l'ontologia formale

Husserl dedica una parte considerevole del secondo volume delle *Ricerche logiche* e, più tardi, *Esperienza e giudizio*, alla teoria degli insiemi e delle parti. Questa attenzione è giustificata dall'alta considerazione che Husserl nutre verso la mereologia, considerata fondamentale per la fenomenologia delle scienze formali, e questo poiché egli intende la grammatica logica pura come la «teoria delle forme apofantiche delle *Bedeutungskomplexionen* [insiemi complessi indipendenti di significato]» (Seeböhm 2015, 16). Seeböhm sottolinea che la teoria ontologica formale di insiemi e parti sviluppata nelle *Ricerche logiche* è certamente sufficiente per l'analisi delle forme apofantiche e dei correlati iletici della sintesi passiva nell'esperienza sensoriale primaria (19), ciò a cui si riferisce con l'espressione di *insiemi di primo ordine*. Nelle *Ricerche Logiche*, Husserl conclude che l'ontologia formale delle parti e degli insiemi è analoga a quella delle unità e delle molteplicità, poiché, proprio come le molteplicità sono collezioni additive di unità, gli insiemi sono collezioni additive di parti (vedi Simons 1982).

Per la nostra discussione, è importante notare che un aspetto significativo della teoria mereologica husserliana è la sua ampia discussione sulle nozioni di parti dipendenti (*momenti*) e parti indipendenti (*frazioni*).

Chiamiamo frazione ogni parte indipendente relativamente ad un insieme G, momento di questo stesso insieme G ogni parte non indipendente relativamente ad esso (una parte astratta). A questo proposito è indifferente che l'insieme stesso, considerato in assoluto o relativamente ad un insieme superiore, sia indipendente o no. Le parti astratte possono perciò avere a loro volta delle frazioni e le frazioni delle parti astratte (Husserl 1968, 59, corsivo nel testo originale).

Questo aspetto della teoria di Husserl è cruciale per la nostra discussione poiché per dirimere la questione sulla possibile riduzione di un'ontologia di ordine superiore a un'ontologia di ordine inferiore, è necessario esaminare se le parti degli insiemi che costituiscono gli oggetti di livello superiore siano *frazioni* dell'insieme (nel qual caso la riduzione è materialmente possibile) o suoi *momenti* (nel qual caso non lo è). La ragione di ciò è che, sebbene le frazioni degli insiemi possano esistere indipendentemente dall'insieme dei quali sono parti *indipendenti*, i *momenti* non possono esistere indipendentemente dall'insieme dei quali sono parti *dipendenti*. Un possibile esempio di questa distinzione è fornito da Peter Simons: «The board which makes up the top of the table is a piece of the table [while] the surface of the table, or its particular individual color-aspect, are moments of it» (Simons 1982, 115). Husserl ritiene che questa distinzione possa essere estesa dalla sfera psicologica agli oggetti in generale, motivo per cui essa diventa una componente generale della sua ontologia formale. Husserl specifica inoltre che il termine “parte” viene usato in un senso ampio che non include solo parti separabili di insiemi, ma anche tutto ciò che è un costituente di un insieme, oltre alle sue caratteristiche relazionali, confini inclusi (1982, 120).

Husserl distingue tre diversi tipi di insieme e la sua è una distinzione importante per la nostra considerazione del riduzionismo. Il primo tipo di insieme è un tutto considerato in senso stretto che viene infatti definito da Barry Smith “insieme stretto” (Smith & Mulligan 1982, 121). L'insieme stretto è quello in cui le entità si sono unite in virtù del tipo di entità che sono, senza che nient'altro le congiungesse a parte un *momento unificante*, che non è di per sé un'altra entità. ² Ora, resta da chiarire se le entità che si uniscono per formare insiemi stretti siano *frazioni* o

² Husserl sta cercando di evitare il regresso che si genera quando si chiede a una terza entità di

momenti dell'insieme. Da un punto di vista formale, l'esistenza di tali entità è indipendente dal tutto perché la loro esistenza come entità in quanto entità non dipende dalla loro esistenza come entità in quanto parti del tutto. Al contrario, è la loro natura intrinseca come particolari tipi di individui che li lega necessariamente per formare un insieme che è dunque estrinsecamente unificato. La risposta al quesito posto poco fa dovrebbe essere, quindi, che le parti degli insiemi stretti devono essere considerate come *frazioni* del tutto, piuttosto che come suoi *momenti* (Husserl 1968, §22-24, 37-40).

Il secondo tipo di insieme è un insieme considerato in senso ampio che Smith chiama "insieme ampio", nel senso che può essere considerato come una cosa sola, indipendentemente da quanto sparse siano le sue parti o da come siano connesse (in maniera stretta oppure lasca). Questo tipo di insieme consente l'inclusione di unità e pluralità, poiché, con le parole di Simons: «any plurality may be taken together as something unitary, thereby founding a new higher unity, whose unity is, however, extrinsic to it, in the collective act» (Simons 1982, 122). In questo caso, è ovvio che le parti dell'insieme più ampio siano *frazioni*, cioè parti indipendenti dell'unità o pluralità di cui sono parti. In effetti, che un insieme sia considerato ampio sembra derivare da una decisione tesa a tracciare i confini del tutto in un modo piuttosto che in un altro, sia questa decisione arbitraria oppure no. Come sottolinea Simons:

[it is possible to] allow as individuals anything which can possess a (singular) proper name. This will include arbitrary *collectiva*. This liberality is reflected in extensional mereologies by allowing that arbitrary sums of individuals are themselves individuals. The reason for this is... that it is not clear in advance where to draw the line between things which are wholes in this widest and weakest sense, and those which have some more intrinsic unity" (122).

Il terzo tipo di insieme individuato da Husserl – quello più interessante – è il concetto di insieme "pregnante", che Husserl definisce come segue:

Con *insieme* [pregnante] intendiamo un sistema di contenuto che vengono abbracciati da una *fondazione unitaria*, e precisamente senza ricorso ad altri contenuti. Noi chiamiamo parti i contenuti di un simile sistema. Quando si parla di *unitarietà della fondazione* si vuol dire che *ogni contenuto si trova, direttamente o indirettamente, in un rapporto di fondazione con ogni altro contenuto* [...] sempre senza ricorsi esterni (Husserl 1968, §21; 66).

A differenza di semplici somme o aggregati (insiemi stretti e ampi) la cui unità ha un fondamento estrinseco, l'unità degli "insiemi pregnanti" è intrinseca, ma le parti di tali insiemi devono essere comunque considerate *frazioni*, mentre le relazioni che intercorrono tra esse, sostiene Husserl, devono essere considerate *momenti*. Tali relazioni possono essere relazioni ideali o reali. Le relazioni ideali sono quelle che non alterano in alcun modo i loro termini, nemmeno collegandoli reciprocamente tramite relazioni reali. Se A ha la stessa altezza di B, per esempio, né A né B subiscono delle alterazioni in virtù di questa relazione reciproca. Le relazioni ideali sono spesso relazioni di equivalenza e sono, quindi, riflessive, motivo per cui le relazioni ideali non possono generare autentiche relazioni di fondazione. ³ Le vere relazioni, d'altra parte, sono tali da alterare o influenzare in qualche modo i loro termini. Se il magnete A attira il metallo B, ad esempio, sia A sia B sono influenzati da questa

unirne altre due. Questo punto viene discusso da F. H. Bradley in *Apparenza e realtà*: «se A e B sono legati insieme da U, allora A e U devono essere legati insieme da U1 e così via all'infinito» (Simons 1982, 121).

³ Simons considera sospetta la nozione stessa di relazione riflessiva (una relazione che intercorre fra una cosa e la cosa stessa),

attrazione magnetica. L'esempio più ovvio di una relazione reale è dunque quella che implica un legame causale. Le relazioni reali non sono riflessive e possono generare autentiche relazioni di fondazione. Quando questo capita, tali relazioni possono essere descritte come *momenti* dell'insieme che unisce le parti (Simons 1982, 154). Alcune relazioni di fondazione sono simmetriche (fondazioni bilaterali o reciproche), come ad esempio la relazione di fondazione reciproca tra colore ed estensione. Altre relazioni di fondazione sono asimmetriche (unilaterali), come la relazione tra un lago e la terraferma su cui il lago è unilateralmente fondato.

Questi sono i tre tipi di insiemi discussi da Husserl nel contesto dell'ontologia formale. ⁴ Tuttavia, vanno fatte alcune considerazioni. Da un lato, Husserl intende l'ontologia nel senso classico di teoria dell'essere il cui obiettivo è quello di mettere a nudo la struttura formale di ciò che c'è, a prescindere da cosa esso sia (Gruszczyński & Varzi 2015, 410). Dall'altro lato, la mereologia rivela i principi fondamentali di tale struttura formale. Le questioni che sorgono, a questo punto, sono relative a cosa costituisca gli insiemi naturali e se la mereologia delle *Ricerche logiche* e di *Esperienza e giudizio* sia sufficiente per descrivere adeguatamente le relazioni parti-insieme degli oggetti categoriali all'interno delle sfere ontologiche regionali del mondo materiale.

Quando si prendono in considerazione insiemi o sistemi naturali, è l'integrità causale di tali sistemi che li rende uniti (Simons 1982, 150) e ci si potrebbe chiedere se le parti di tali insiemi debbano essere considerate parti indipendenti (frazioni) o dipendenti (momenti). Husserl ritiene che gli oggetti del mondo siano naturalmente organizzati in più modi diversi e di conseguenza la distinzione tra oggetti di ordine inferiore e oggetti di ordine superiore non è assoluta. Da un certo punto di vista un oggetto può essere un'unità naturale; da un altro potrebbe coincidere con un aggregato di unità organizzate diversamente, o, ancora, un momento di un insieme più grande. Tuttavia, come afferma Simons, la relatività qui implicata non è «the mere imposition of a conceptual scheme on an otherwise unstructured world, but cuts along natural seams in reality» (Simons 1982, 150). Sembra seguirne che, almeno per Husserl, persino le parti degli insiemi di ordine superiore devono essere considerati frazioni piuttosto che momenti. Tuttavia, sia la discussione di Seeböhm sugli insiemi organici sia la mia tesi sugli insiemi chimici metteranno in discussione questa posizione: da un lato, Seeböhm contesta l'idea che le parti degli insiemi organici siano parti indipendenti, dall'altra, io combatterò l'idea che le parti degli insiemi chimici lo siano.

Come hanno recentemente sottolineato Rafał Gruszczyński e Achille Varzi, «the general applicability of the part-whole relation is controversial [...] [David] Lewis himself famously argued that entities such as universals cannot be structured mereologically, short of unintelligibility» (2015, 409-10). È interessante notare che per illustrare questo punto Lewis sfrutta un esempio tratto dalla chimica:

Each methane molecule has not one hydrogen atom but four. So, if the structural universal methane is to be an isomorph of the molecules that are its instances, it must have the universal hydrogen as a part not just once, but four times over [...] But what can it mean for something to have a part four times over? (Lewis 1986, 34).

specialmente in casi come quelli che vedono protagonista l'identità, che può esserci solo tra una cosa e se stessa. Pertanto, Simons considera i termini relativi riflessivi "ontologicamente sterili" poiché tali termini non rappresentano davvero nulla di intrinsecamente relazionale (Simons 1982).

⁴ I termini "insieme stretto" e "insieme ampio" sono conosciuti da Barry Smith, mentre "insieme pregnante" è un termine di Husserl.

Questa difficoltà riguarda i limiti della mereologia come ontologia formale, ma, nondimeno, ci sono altre difficoltà che riguardano il suo contenuto:

Consider, for instance, the question of whether there are mereological atoms (i.e., entities with no proper parts), or of whether everything is ultimately composed of atoms. Clearly any answer to such questions would amount to a substantive metaphysical thesis that goes beyond a 'pure theory of objects as such.'" (Gruszczyński & Varzi 2015, 412).

E poco oltre:

«taken together, then, these two sorts of difficulty represent a serious challenge to the idea that mereology can form a genuine piece of formal ontology» (413).

V questa seconda difficoltà, ma si concentrerà sulla prima, chiedendosi se la concezione husserliana di relazione parti-insieme, intesa come parte dell'ontologia formale, si estenda effettivamente a tutte le ontologie regionali. Si sosterrà che la risposta a questa domanda è negativa nella misura in cui i principi formali della mereologia husserliana non si estendono, di fatto, né alle ontologie degli insiemi organici, come quelli discussi da Seeböhm, né all'ontologia regionale degli insiemi chimici come questi ultimi sono concepiti nella chimica quantistica. Esaminerò prima le argomentazioni di Seeböhm relative agli insiemi organici, dopodiché gli insiemi chimici così come essi sono concettualizzati (ma anche manipolati e trasformati) dai chimici. In questo contesto mostrerò che, ai fini delle operazioni di chimica quantistica, i chimici devono concettualizzare le "entità" subatomiche in modi che violano i principi della mereologia standard, ricorrendo ai concetti di transitività, composizione senza restrizioni e unicità della composizione. Kit Fine, per esempio, discute un principio fondamentale della mereologia standard, condiviso anche da Husserl, secondo il quale «the same parts cannot, through different methods of composition, yield different wholes» (1994, 138). Secondo questo principio, in altre parole, le stesse parti, se anche strutturate in modo diverso, produrranno lo stesso insieme dotato delle stesse proprietà. Lewis illustra in aggiunta un ulteriore principio fondamentale e cioè che, sebbene due o più individui costituiscano una somma o fusione mereologica, l'essere inclusi in tale somma o fusione non altera gli individui coinvolti (1986, 25-26). La somma o fusione mereologica, dunque, non manifesta efficacia causale in quanto tale in aggiunta all'efficacia causale delle sue parti.

Come vedremo, tuttavia, sono proprio questi aspetti della mereologia estensionale classica che la rendono inadeguata per descrivere le relazioni parti-insieme nel caso degli insiemi organici e in quelli delle strutture chimiche intese nel senso della chimica quantistica. Passo ora all'analisi della discussione di Seeböhm sulle relazioni parti-insieme nelle ontologie di ordine superiore degli insiemi organici, così come questa discussione viene presentata dall'autore in *History as a Science and the System of the Sciences*.

III. L'applicazione della mereologia husserliana all'ontologia di ordine superiore degli insiemi organici

Come sottolinea Seeböhm (2015), la teoria mereologica husserliana esposta nelle *Ricerche logiche* e in *Esperienza e Giudizio* è una teoria ontologica generale degli insiemi e delle loro parti che presuppone una riduzione astrattiva concentrata su insiemi di primo ordine e parti che sono unite da relazioni di fondazione unificanti: ciò che Husserl intende con l'espressione "insiemi pregnanti". Il linguaggio naturale, tuttavia,

si riferisce a tipi di insiemi e di parti più complessi che Seebohm definisce “insiemi di ordine superiore” (2015, 19). Tra essi vi sono il sistema solare, organismi di varia complessità, i gruppi sociali e le comunità. Tali insiemi sono detti “di ordine superiore” perché le loro parti costitutive sono esse stesse insiemi e non soltanto parti. Husserl, tuttavia, non offre un'analisi formale di tali strutture perché esclusivamente interessato a sviluppare una mereologia per l'ontologia formale della grammatica logica pura e non delle mereologie di oggetti categoriali di ordine superiore. Seebohm solleva la seguente questione: «whether some types of such categorial objects of a higher order can have formal ontological structures that count as the formal structures of the wholes of a higher order» (2015, 20). Certamente, come sottolinea Seebohm, la discussione condotta da Husserl nelle *Ricerche logiche* inizia nella sfera psicologica, ma Husserl la ritiene valida e applicabile a tutti gli oggetti, psicologici o meno, per via delle sue caratteristiche adeguatamente generalizzabili.

Per Seebohm, quindi, la questione riguarda davvero la possibilità che una tale teoria ammetta strutture categoriali aggiuntive per insiemi formati da parti che sono a loro volta insiemi e sono uniti da sistemi di relazioni unificanti. Come enfatizza poco oltre «going beyond *Experience and Judgment* it can be said that the differences between collections as categorial forms of a higher order are determined by structured systems of relations» (2015, 20). In una serie di commenti dedicati a questo argomento, egli propone quanto segue:

[the criterion for demarcating] between the unifying systems of parts in wholes of the first order and wholes of higher order is the difference between foundations and relations. Foundations share some of the formal properties of relations, but foundations are 'relation' between dependent moments that cannot be given only in the context with other moments and between pieces [*frazioni*] as relative independent parts of wholes (2015, 21).

Per chiarire questo passaggio, vorremmo precisare che le *fondazioni* riguardano parti che possono darsi indipendentemente dal contesto e dalle loro relazioni con altri momenti. D'altra parte, le relazioni che riguardano la teoria ontologica formale delle strutture categoriali degli insiemi di ordine superiore sono relazioni tra insiemi indipendenti (2015, 22), quindi in questo contesto non si parla di relazioni tra predicati *n*-adici che si riferiscono a singoli oggetti, ma di relazioni tra parti che sono esse stesse insiemi indipendenti.

Quando si considera la mereologia degli insiemi di ordine superiore, tuttavia, c'è un'ulteriore distinzione che deve essere tracciata, ossia quella tra insiemi inorganici e insiemi organici (di ordine superiore): una distinzione estremamente rilevante per le scienze della vita e le scienze umane e sociali che hanno come loro oggetto proprio questo tipo di insiemi. Seebohm chiarisce che l'epistemologia fenomenologica non si occupa di rispondere alla domanda empirica relativa a se e come gli insiemi organici possano emergere dalla materia inorganica. Essa, al contrario,

[...] is restricted to the analysis of the cognitive attitude of the life sciences and their intentional correlate, the ontological region of organic entities. It includes in addition the analysis of the relations between the categories of the ontological region of organic life and the categories of the ontological region of inorganic matter. Such analyses are, however, able to decide the question of whether the reduction of the life sciences to the hard sciences is an ideal formal ontological possibility and then a material ontological possibility. This will be the case if it can be shown that the ontological region of inorganic matter is the static and genetic foundation of the ontological region of organisms. (2015, 242)

Per quanto riguarda l'epistemologia fenomenologica delle scienze della vita, Seebohm stabilisce che non è sufficiente analizzare le strutture categoriali formali dell'ontologia formale degli insiemi e delle parti. È ugualmente necessaria un'analisi della teoria ontologica formale della unità e della molteplicità e stabilire quale sia la relazione tra la teoria mereologica degli insiemi e delle parti e la teoria dell'unità e della molteplicità:

Either they are two independent formal ontological theories on the same level of universality or one of them belongs to a higher logical level of universality [...] It is obvious that the reduction of organic life to inorganic matter is a priori a formal ontological impossibility if the answer is 'yes' to the first horn of the dilemma and 'no' to the second. The reduction is, however, an ideal possibility if the answer is 'no' to the first and 'yes' to the second horn of the dilemma" (2015, 243).

La questione si rivela quindi la seguente: se gli insiemi organici possano essere trattati come collezioni e analizzati, conseguentemente, come molteplicità, ossia come somme di unità. Se è questo il caso, allora si potrà rispondere positivamente al primo corno del dilemma e negativamente al secondo. Secondo Seebohm, questo è in effetti il caso, quindi la riduzione è una possibilità ideale. Egli afferma che

Measuring as counting of units and numbers as units in measuring can be applied to all dependent parts that belong to the genus extension. But this means that all entities under the formal ontological categories of the whole and the parts can be considered as units and collections of units if the formal ontological differences pertaining to the categories of the theory of the whole and parts are excluded with the aid of a generalizing abstraction determining a realm in which all of them, including the wholes themselves, are mathematical units in collection that can be themselves considered as units, etc. [...] The formal ontological theory of unit and manifolds is, hence, one-sidedly founding for the formal ontological category of the whole and the parts. Manifolds of concrete wholes as well as independent parts can be counted. A reduction of the material ontological structures of organic entities is, hence, an ideal possibility. (2015, 243–244)

Per evitare che il riduzionista dichiari quindi vittoria, Seebohm sottolinea che una riduzione delle strutture ontologiche materiali delle entità organiche è soltanto una possibilità *ideale*, poiché una fondazione genetica di B in A richiede delle strutture aggiuntive di proprietà C per B (2015, 244). Queste strutture aggiuntive di proprietà C per B vengono scoperte analizzando le strutture dell'ontologia regionale materiale a cui appartiene B e quindi, nel caso degli insiemi organici

The second dimension of the description of phenomena that are necessary for the explication of the material categories of organic life and organisms has to determine the material characteristics of the parts of organic wholes. The independent parts of organic wholes cannot be simultaneously parts of other organic wholes, and they cannot exist independently outside the system of their functions in the organic whole. They will decay if they are separated from the wholes without providing an artificial environment that can substitute for the whole or stop the process of decay (2015, 245).

Seebohm aggiunge inoltre una considerazione molto importante sul ruolo che un'analisi dell'ambiente deve svolgere nell'analisi dell'epistemologia fenomenologica degli insiemi organici: 5

5 Questa attenzione al rapporto tra organismo e ambiente è stata enfatizzata alla fine del XIX secolo da

Thus, although a description of the environment is not part of the first dimension of the description of organic wholes, it is crucial for the second dimension of the phenomenological description since it pertains to the structures of properties C for B that are discovered through an analysis of the material regional ontology of B. Ultimately, however, the material ontological categories of organic wholes are ... in the last instance one-sidedly founded in the categorical system of the ontological region of the hard sciences [physics and chemistry] (248).

Louis-Adolphe Bertillon, che ha coniato il termine *mesologia* per riferirsi a quella che ha definito "*la science des milieux*," un concetto che è stato esteso, in seguito, al campo di sociologia. L'attenzione alla mesologia è rinata negli ultimi tempi grazie ad Augustin Berque, che l'ha sfruttata per richiamare ancora una volta l'attenzione sull'importanza del *milieu* nello studio degli organismi. Questo richiamo va anche considerato parte di una proposta teorica per superare il riduzionismo modernista. Vedi Berque (2010).

Ma questo non significa che

[the] organic life can be reduced to the system of the categories of the hard sciences. What is again in question is the factor C that must be added to the founding material ontological region A for the emergence of entities belonging to the material ontological region B (249).

Accetto quindi l'argomento di Seeböhm secondo cui le ontologie regionali degli insiemi organici non possono essere materialmente ridotte alle ontologie degli insiemi inorganici, e questo mi consente di passare all'analisi di un'altra questione, ossia se la mereologia husserliana possa descrivere correttamente le relazioni parti-insieme nel sistema categoriale della chimica. La risposta a questa domanda è legata alla questione parallela della possibilità o meno di una riduzione della chimica alla fisica: se non è possibile ridurre la chimica alla fisica, in altre parole, ogni ontologia regionale richiederà delle teorie ontologiche formali distinte e allo stesso livello di universalità di quella della fisica.

IV. L'applicazione della mereologia sommativa estensionale all'ontologia regionale di ordine inferiore degli insiemi chimici

Una delle questioni fondamentali nella filosofia della chimica contemporanea è quella relativa all'autonomia della chimica in quanto scienza, una questione direttamente correlata alla riduzione della chimica alla fisica, un tema, questo, che secondo Scerri e McIntyre (1997) dovrebbe attirare l'interesse della filosofia. Poiché la dipendenza ontologica delle proprietà chimiche dagli stati fisici fondamentali non è in discussione, il tipo di riduzione qui inteso è epistemico, piuttosto che ontologico, e la questione è se la nostra attuale descrizione della chimica possa essere ridotta alla nostra più aggiornata descrizione della fisica fondamentale, ossia alla meccanica quantistica e alle sue conseguenze esplicative (Scerri & McIntyre 1997). In altri termini, la questione non è se la riduzione sia una possibilità ideale poiché, come afferma Seeböhm, «all entities under the formal ontological categories of the whole and the parts can be considered as units and collections of units» (2015, 243). Una riduzione delle strutture ontologiche materiali delle entità chimiche è quindi almeno una possibilità ideale, tuttavia, come per le entità organiche, la vera questione è se essa sia anche una possibilità materiale e questa domanda è ciò a cui risponderò nella parte restante di questo articolo, concentrandomi sulla mereologia delle relazioni di insieme-parte nel contesto delle strutture chimiche.

Nonostante la visione standard di molti filosofi della scienza (vedi, per esempio, Putnam & Oppenheim 1958), i chimici quantistici e i filosofi della chimica nutrono seri dubbi sul fatto che la dipendenza ontologica degli stati chimici dagli stati fisici metta effettivamente a rischio l'autonomia epistemologica ed esplicativa della

chimica in quanto scienza. La speranza che una simile riduzione possa effettivamente verificarsi è ormai svanita e:

[...] all that remains is the possibility for approximate reduction. However, criteria for approximate reduction have not been put forward and the notion remains vague [...] the calculation of the ground state energies of atoms has been achieved to a remarkable degree of accuracy and similarly calculations on small or even medium-sized molecules have given encouraging results. However, whether one can draw the conclusion that chemistry has been reduced rather depends on one's criteria of reduction. If we are to define approximate reduction as has been suggested [...] then it must be concluded that chemistry is not even approximately reduced to quantum mechanics (Scerri 1994, 168).

Già nel 1939, Linus Pauling affermava quanto segue:

[a] small part of the body of contributions of quantum mechanics to chemistry has been purely quantum mechanical in character: only in a few cases, for example, have results of direct chemical interest been obtained by the accurate solution of the Schrödinger wave equation [...] The principal contribution of quantum mechanics to chemistry has been the suggestion of new ideas, such as the resonance of molecules among several electronic structures with an accompanying increase in stability" (1960, vii).

Tuttavia, per quanto riguarda i concetti chimici di valenza e legame, restano molti dubbi sulla loro possibile riduzione, e, similmente, anche la possibilità della riduzione concettuale di nozioni come *composizione* e *struttura molecolare* è in serio dubbio, anche perché questi concetti non rappresentano caratteristiche ontologiche del mondo. Quando si tratta di tali concetti, la riduzione non è possibile nemmeno in linea di principio (vale a dire, non è nemmeno una possibilità ideale) per via della stessa natura di questi concetti. Come affermano Scerri e McIntyre:

[...] the concepts of composition, bonding, and molecular structure cannot be expressed except at the chemical level . . . we can calculate certain molecular properties, but we cannot point to something in the mathematical expressions which can be identified with bonding. The concept of chemical bonding seems to be lost in the process of reduction (1997, 218–219).

I dubbi riguardano, inoltre, anche le stesse intuizioni che teoria quantistica può fornire per comprendere tali concetti chimici:

Many calculations have been extremely sophisticated, designed by some of the foremost researchers in this field to extract a maximum of insight from quantum theory. For simple molecules, outstanding agreement between calculated and measured data has been obtained. Yet, the concept of a chemical bond could not be found anywhere in these calculations. We calculate bonding energies without even knowing what a bond is (Primas 2013, 5).

Robert Mulliken, che è stato attivamente coinvolto nello sviluppo della chimica quantistica, afferma che «[...] attempts to regard a molecule as consisting of specific atomic or ionic units held together by discrete numbers of bonding electrons or electron-pairs are considered as more or less meaningless, except as approximations in special cases, or as methods of calculation» (1932, 55). Per Mulliken, l'atomo non esiste in una molecola perché ogni orbita è delocalizzata su tutti i nuclei e può offrire un contributo energetico stabilizzante o destabilizzante all'energia totale della molecola:

A molecule is here regarded as a set of nuclei, around each of which is grouped an electron configuration closely similar to that of a free atom in an external field, except that the outer parts of the electron configurations surrounding each nucleus usually belong, in part, jointly to two or more nuclei (1932, 55).⁶ Cfr. Banchetti-Robino & Llored (2016).

C'è quindi, in questo caso, uno scivolamento semantico significativo che va dal concetto di *orbita* a quello di *orbitale*, dove l'ultima acquista il suo significato a partire dall'interpretazione probabilistica di Max Born secondo la quale il quadrato di un orbitale molecolare corrisponde alla densità di probabilità di trovare un particolare elettrone all'interno dello spazio molecolare. Gli orbitali molecolari hanno una funzione d'onda che contiene un elettrone ed essa può essere delocalizzata su tutti i nuclei o semplicemente su un loro insieme particolare. La funzione d'onda elettronica completa, di conseguenza, è limitata a uno solo dei diversi tipi di onda che dipendono dalla simmetria dello scheletro nucleare.

Oltre ai concetti di molecola e di legame chimico, almeno altri due concetti chimici resistono la riduzione. Il primo è il concetto di *forma molecolare* che non può essere ridotto in linea di principio perché è un "mero" concetto, sebbene con un forte potere euristico. La forma molecolare

is metaphorical in virtue of being only chemical [...] Molecules can lack an orientation in three-dimensional space, and a particular shape is dependent on the way that the molecule is picked out in measurement [...] Whether we need to employ the fixed nucleus picture, separate nuclear and electronic 'clouds', or interacting clouds depends on the particular molecule chosen for study, the experimental technique we employ and the questions we ask. As it turns out, there are many different representations of the same property." (Ramsey 1997, 234–248).

Il secondo concetto che resiste alla riduzione è quello della *composizione chimica*, un concetto correlato a quello di legame e struttura molecolare. La composizione chimica non può essere ridotta perché «what is physical about a chemical system are its components rather than the system itself [*qua* chemical system] which possesses emergent (though explainable) properties in addition to physical properties» (Bunge 1982, 210).

Come afferma Jeffrey Ramsey (1997, 233), l'idea fondamentale secondo cui le molecole sono costruite sommando atomi che mantengono la loro identità essenziale all'interno della molecola è estremamente controversa e questa irriducibilità dei sistemi chimici ai loro componenti fisici diventa evidente esaminando per esempio la mereologia dei sistemi molecolari. Come spiegano Rom Harré e Jean-Pierre Llored, «constituent atoms of molecules are not parts of those molecules when we look at the total entity in the light of molecular orbitals. Unlike chair parts which preserve their material properties whether in the chair or on the bench» (2011, 73). Un'ulteriore difficoltà riguarda la possibilità discutibile che le molecole abbiano parti componenti fisiche definite, tali per cui il concetto di molecola può essere esaustivamente ridotto al concetto dei suoi componenti fisici (senza alcun avanzo). Un esempio è fornito dal chimico e filosofo della chimica Joseph Earley:

Na and Cl ions are not parts of salt lattices after that salt has been dissolved. Being in the solution determines that the solution will afford salt as a mass substance on the carrying out of certain operations on sea water, and not something else. Thus, they are at best potential material parts of salt (2008b, 71).

Harré introduce il concetto di *affordance* per catturare questa idea: sebbene non ci sia sale in quanto tale nel mare, il mare *offre* sale in determinate condizioni e attraverso determinate procedure eseguite sull'acqua del mare. I filosofi della chimica sostengono che, allo stesso modo, non ci sono atomi nelle molecole, sebbene

[...] molecules *afford* atoms in the context of certain manipulations as studies of molecular reactivity have shown us. The material content of a molecule can only by a fusion of atomic potentials, not of atoms [and] affordances are not simple conditional properties [...] they incorporate the procedure or method used to display their empirical manifestations [...] the parts of chemical wholes like molecules and atoms are affordances, not themselves concrete entities (Harré & Llored 2011, 69).

Ciò implica che il concetto di molecola non può essere ridotto al concetto dei suoi atomi costituenti poiché queste parti dell'insieme non sono entità concrete, esistenti in quanto tali, ma, in alcuni casi, possono essere considerati individui "effimeri". Per esempio «the swiftly composing and decomposing hydrogen-oxygen structures of which real water is really composed are ephemeral individuals. Water is made up of these beings. As such they are [ontological] constituents of a certain whole» (2011, 73), ma l'acqua, intesa come composto chimico, non può essere semplicemente ridotta a queste parti o occorrenze effimere.

Come sostenuto da Early, la maggior parte dei filosofi deve ancora comprendere che quando dei componenti entrano in una combinazione chimica questi componenti non mantengono le caratteristiche e l'identità che avrebbero in assenza di quella combinazione (2003, 89) e ci sono semplici esempi di questa circostanza come l' $\overline{H_2O}$ e il cloruro d'argento. Mentre la proprietà di essere $\overline{H_2O}$ o di essere cloruro d'argento

[...] supervenes on the features of the constituent atoms, the features of the atoms on which it supervenes includes features that the atoms have only by virtue of being parts of that compound. The atomic interrelations that give rise to the compound would not obtain if the atoms were parts of a different molecular type" (Francescotti 2007, 58).

Va notato d'altronde che le molecole stesse sono definite in base ai loro network di reazioni chimiche e non viceversa. ⁷

Poiché le proprietà emergenti dell'insieme influenzano le proprietà delle parti costituenti in modo tale che queste parti sono diverse da come sarebbero altrimenti, queste proprietà non mostrano soltanto nuovi poteri causali, ma manifestano in modo molto specifico un'influenza causale discendente (*downward causal influence*) che esercitano verso livelli più fondamentali. Nei sistemi chimici, l'influenza causale tra parti e insiemi non è asimmetrica: essa non è, in altre parole, diretta interamente verso l'alto (il livello meno fondamentale) né verso il basso (il livello più fondamentale), ma è al contrario *simmetrica*, manifestandosi in entrambe le direzioni. Come suggeriscono Harré e Llored, questa influenza causale simmetrica fra l'insieme chimico e le sue parti è esplicita nella nozione di *relazionalità* perché sono le relazioni delle parti tra loro, così come le relazioni delle loro proprietà, così come, ancora, le relazioni del sistema con il suo ambiente a spiegare le proprietà emergenti dell'insieme e delle sue parti. Un'appropriata analisi della relazionalità in questi contesti, tuttavia, richiede lo sviluppo di una teoria mereologica adeguata che spieghi il fatto che gli individui, una volta entrati in certe interessanti relazioni combinatorie, non sono più gli

⁷ Ringrazio Jean-Pierre Llored per avermi suggerito questo esempio.

stessi individui, ma sono diversi rispetto a ciò che erano *prima* di esse.

La mereologia sommativa estensionale classica sostenuta da Husserl per l'ontologia formale non è adeguata a questo tipo di spiegazione perché essa non considera la relazionalità delle parti né l'ambiente in cui le parti e gli insiemi esistono come fattori rilevanti per l'analisi mereologica. In effetti, la mereologia standard per i composti chimici implica il presupposto che proprio come le molecole costituiscono gli oggetti materiali, così i nuclei degli atomi costituiscono le molecole e secondo Harré e Llored (2013), questa concettualizzazione che interpreta gli elettroni come *entità* comporta due fallacie mereologiche. La prima consiste nell'attribuire a una parte del sistema un predicato attribuibile soltanto al sistema nella sua interezza: «A holistic predicate is not necessarily a part predicate, the notion of use is crucial because [...] predications are context-sensitive» (2013, 133). La seconda fallacia, invece, consiste in questo: «inferring that substantive products of an analytical procedure are parts of the substance on which the procedure was performed» (2013, 134).

Ora, se consideriamo quanto detto sopra, noteremo che gli insiemi chimici violano il principio classico di Lewis secondo cui una somma o fusione mereologica non ha efficacia causale autonoma oltre all'efficacia causale delle sue parti. Non è quindi un caso che i chimici quantistici considerino il classico principio mereologico dell'unicità della composizione

unintuitive and inadequate to those rules for chemical parts-whole reasoning that are required to accommodate the role of chemical entities in structures, such as atoms in 'polyatomic' ions. [Quantum chemists] are likely to question the relevance of transitive mereology whenever the whole molecule and the parts are co-dependent and relative to a specific environment or action (Llored 2014, 159).

Per quanto riguarda il principio classico della mereologia standard discusso da Fine, secondo cui diversi metodi di composizione non possono produrre insiemi diversi, dobbiamo sottolineare che lo stesso Fine ammette la necessità, per la mereologia, di riconoscere le relazioni, così come altri tipi di parti, in modo da non confondere le relazioni fra le parti con alcune proprietà delle parti. Questo requisito è importante per una mereologia degli insiemi strutturati, come le molecole chimiche, poiché essi

generally have causal efficacy in virtue of their 'connectivity'—in addition to the causal powers of their constituent atoms, levorotatory amino acids are nutritious [but] the corresponding dextrorotatory amino acids are poisonous—although both sorts of molecules have exactly the same component parts (Earley 2008a, 9).

Oltre all'attività ottica e alla chiralità, va notato che anche la disposizione strutturale delle parti dei composti chimici contribuisce alle proprietà dell'insieme pertanto diverse disposizioni strutturali delle stesse parti producono diversi insiemi chimici. Questa caratteristica molecolare, nota come *isomerismo strutturale* fu scoperta nel 1827 da Friedrich Woehler che, mentre preparava dell'acido cianico, notò che sebbene la sua composizione elementare fosse identica a quella dell'acido fulminico, le sue proprietà erano abbastanza diverse. Questa scoperta mise in discussione la comprensione della chimica dell'epoca che aveva abbracciato il classico principio mereologico secondo cui i composti chimici potevano essere diversi solo in caso di composizioni elementari diverse.

È quindi chiaro che le proprietà degli insiemi chimici non sono mere funzioni delle proprietà delle loro parti e infatti, non a caso, i chimici quantistici concepiscono le

molecole, gli atomi e le “parti” subatomiche in termini di relazioni chimiche e di *relata* appartenenti a diversi livelli di organizzazione che si co-definiscono reciprocamente. Risulta dunque evidente la necessità di una mereologia *non standard* che catturi questa peculiare co-definizione e co-costituzione delle relazioni mereologiche nel contesto della chimica, e dal momento che le parti e l'insieme si costituiscono congiuntamente e sono co-dipendenti, le parti devono essere considerate *momenti* dell'insieme piuttosto che *frazioni*. Ma c'è di più. La mereologia chimica dovrà anche catturare il modo in cui l'“ambiente” (*milieu*) contribuisce nella costituzione delle relazioni parti-insieme durante gli esperimenti chimici. Una mereologia di questo tipo sfida le assunzioni della mereologia sommativa classica poiché, nella chimica quantistica, come è noto, le parti non definiscono il tutto ma sia le parti sia il tutto vengono definiti reciprocamente in base all'attività chimica e in base a un dato contesto ambientale. Tuttavia, affinché una siffatta mereologia possa essere sviluppata, quello che deve cambiare è la nostra concettualizzazione delle parti e degli insiemi chimici come nozioni indipendenti e perché ciò possa succedere dobbiamo volgere la nostra attenzione al modo in cui i chimici quantistici coinvolgono diversi livelli di organizzazione nella loro pratica sperimentale quotidiana, nelle loro sintesi e analisi delle strutture chimiche e nei loro calcoli.

Gli sviluppi della chimica quantistica hanno dimostrato che i costituenti degli atomi e delle molecole non dovrebbero essere descritti come *entità* o come oggetti dotati di confini (questo è il modo in cui atomi o molecole sono stati tradizionalmente concepiti, basti pensare al modello ad asta e sfera): come sottolineano Harré e Llored (2013), è un errore trattare gli elettroni come *componenti* di qualcosa in generale. La mereologia sommativa classica sostenuta da Husserl nel contesto dell'ontologia formale non è soltanto inadeguata a descrivere le relazioni parti-insieme per gli insiemi organici, come sostiene Seeböhm, quindi; essa è ugualmente inadeguata a descrivere le relazioni parte-insieme per l'ontologia regionale della chimica quantistica che si occupa di entità strutturate come le molecole, dove il tutto non è semplicemente la somma delle parti (Sukumar 2013, 303).

Nella migliore delle ipotesi, quindi

the part-whole relation [...] may behave according to such principles as [discussed by Husserl]. But there is a growing consensus that this is the best one can say, and that mereology is best understood as a theory – or a plurality of theories – whose fundamental truths do not reflect the properties of the part-whole relation itself but the nature of the entities to which it applies (Seeböhm 2015, 16).

In tal caso, l'analisi della relazione parte-insieme in relazione sia alle ontologie di ordine superiore degli insiemi organici sia all'ontologia di ordine inferiore degli insiemi chimici serve a illustrare l'inapplicabilità della mereologia formale husserliana a *tutte* le ontologie regionali, mettendo quindi in discussione la convinzione di Husserl secondo cui la mereologia classica sia una parte dell'ontologia formale. Queste considerazioni, infine, attirano l'attenzione sulla necessità di sviluppare mereologie *non sommative* e *non estensive* personalizzate per la descrizione delle relazioni parte-insieme delle varie ontologie regionali studiate dalle scienze naturali, umane e sociali.

Bibliografia

- Aimable, A., et. al (2013). Chemistry and interfaces. In J.P. Llored, *Philosophy of Chemistry: Practices, Methodologies and Concepts* (172-201). Newcastle Upon Tyne: Cambridge Scholars Publishing.
- Bader, R.F.W. & Matta, C.F. (2013). Atoms in molecules as non-overlapping, bounded, space-filling, open quantum systems. *Foundations of Chemistry* 15(3): 253-276.
- Banchetti-Robino, M.P. & Llored, J.P. (2016). Reality without reification: Philosophy of chemistry's contribution to philosophy of mind. In E. Scerri & G. Fisher (eds.), *Essays in the philosophy of chemistry* (83-110). Oxford: Oxford University Press.
- Berque, A. (2010). *Milieu et identité humaine. Notes pour le dépassement de la modernité*. Paris: Donner lieu.
- Bunge, M. 1982. Is chemistry a branch of physics? *Journal for General Philosophy of Science* 13: 209-223.
- Earley, J.E. (2008a). How philosophy of mind needs philosophy of chemistry. *HYLE - International Journal for the Philosophy of Chemistry* 14: 1-26.
- Id. (2008b). How chemistry shifts horizons: Element, substance and the essential. *Foundations of Chemistry* 11: 65-77.
- Id. (2005). Why there is no salt in the sea. *Foundations of Chemistry* 7: 85-102.
- Id. (2003). Varieties of properties: An alternative distinction among qualities. *Annals of the New York Academy of Science* 988: 80-89.
- Fine, K. (1994). Compounds and aggregates. *Noûs* 28: 137-158.
- Francescotti, R.M. (2007). Emergence. *Erkenntnis* 67: 47-63.
- Gruszczyński, R. & Varzi, A. (2015). Mereology then and now. *Logic and Logical Philosophy* 24: 409-427.
- Harré, R. & Llored, J.-P. (2013). Molecules and mereology. *Foundations of Chemistry* 15: 127-144.
- Id. (2011). Mereologies as the grammars of chemical discourses. *Foundations of Chemistry* 13: 63-76.
- Hettema, H. (2013). Austere quantum mechanics as a reductive basis for chemistry. *Foundations of Chemistry* 15: 311-326.
- Husserl, E. (1968). *Ricerche Logiche*. A cura di G. Piana. Milano: Mondadori.
- Lewis, D. (1986). Against structural universals. *Australasian Journal of Philosophy* 64: 25-46.
- Llored, J.-P. (2014). Whole-parts strategies in quantum chemistry: Some philosophical and mereological lessons. *HYLE - International Journal for the Philosophy of Chemistry* 20: 141-163.
- Mulliken, R.S. (1932). Electronic structures of polyatomic molecules and valence I. *Physical Review* 40: 55-62.
- Pauling, L. (1960). *The nature of the chemical bond and the structure of molecules and crystals*, 3rd edition. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Popelier, P. (2000). *Atoms in molecules*. London: Prentice Hall.
- Primas, H. (2013). *Chemistry, quantum mechanics and reductionism: Perspectives in theoretical chemistry*. Berlin: Springer-Verlag.
- Putnam, H. & Oppenheim, P. (1958). Unity of science as a working hypothesis. In H. Feigl, M. Scriven & G. Maxwell (Eds.) *Minnesota Studies in the Philosophy of Science* (3-36), Volume II. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Ramsey, J. (1997). Molecular shape, reduction, explanation and approximate concept. *Synthese* 111: 233-251.

- Scerri, E.R. (1994). Has chemistry been at least approximately reduced to quantum mechanics? *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* 1994: 160-170.
- Scerri, E.R. & McIntyre, L. (1997). The case for the philosophy of chemistry. *Synthese* 111: 213-232.
- Schummer, J. (1998). The chemical of chemistry I: A conceptual approach. *HYLE - International Journal for the Philosophy of Chemistry* 4: 129-162.
- Seebohm, T.M. (2015). *History as a science and the system of the sciences: Phenomenological investigations*. New York: Springer.
- Simons, P.M. (1982). Three essays in formal ontology. In B. Smith (ed.), *Parts and moments: Studies in logic and formal ontology* (111-260), Analytica Series. Munich: Philosophia Verlag.
- Smith, B. & Mulligan, K. (1982). Pieces of a theory. In B. Smith (ed.), *Parts and moments: Studies in logic and formal ontology* (15-110), Analytica Series. Munich: Philosophia Verlag.
- Sukumar, N. (2013). The atom in a molecule as a mereological construct in chemistry. *Foundations of Chemistry* 15: 303-309.