Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica, Matematica e Scienze Naturali
138° (2020), Vol. I, fasc. 2, pp. 167-182
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-40-9

Lessico e semantica del linguaggio chimico. Il contributo italiano

LUIGI CERRUTI[1]

[1] E.mail: luigi.cerruti@unito.it. ORCID ID: 0000-0002-9619-3964

Abstract – *Lexicon and semantics in the language of chemistry: The Italian contribution*. The history of the disciplinary language of chemistry is particularly intricate because, as is well known, the language of chemists is articulated on three levels; macroscopic, sub-microscopic and symbolic. The decision to privilege the contribution of Italians to the chemical lexicon has simplified historical research which has focused on seven semantic fields: name reactions, functional groups, reagents, laboratory apparatus, symbols, classes of substances, elements. The historical analysis highlighted that the greatest contribution was made in the field of name reactions. It is also known that scientific languages are very abstract; to confirm this, logical-mathematical methods have been used to formally assess the level of abstraction of important lemmas such as |Substance|, |Substance class| and |Element|. From a logical point of view the three lemmas are nothing more than names given to sets. Then the 'semantic quality' of the seven investigated fields was evaluated, using Karl Matton's method of codes based on 'semantic gravity' and 'semantic density'. Besides confirming the great difference between disciplinary language and everyday language, the semantic analysis showed that most of the contributions to the chemical lexicon are of a theoretical nature, and that the three symbols proposed by Italians (-R, -OH, Tc) have a very different semantic status. Linking the results of the historical investigation with those of the semantic analysis, it appears that for the most part the Italian contributions to the chemical lexicon are the theoretical outcome of experimental work. Finally, with regard to the history of the Italian chemistry community, it appears that almost all contributions to the chemical lexicon came from organic chemists.

Keywords: Name reactions; substance; elements; Stanislao Cannizzaro; Emilio Segrè; Karl Maton

Riassunto – La storia del linguaggio disciplinare della chimica è particolarmente intricata perchè, come è noto, il linguaggio dei chimici si articola su tre livelli; macroscopico, sub-microscopico e simbolico. La scelta di privilegiare il contributo degli italiani ha semplificato la ricerca storica che si è focalizzata su sette campi semantici: «name reactions», gruppi funzionali, reattivi, apparecchi di laboratorio, simboli, classi di sostanze, elementi. L'analisi storica ha messo in evidenza che il contributo maggiore è avvenuto nel campo delle «name reactions». È anche noto che i linguaggi scientifici sono molto astratti; a conferma di questo si sono impiegati metodi logico-matematici per valutare in modo formale il livello di astrattezza di lemmi importanti come |Sostanza|, |Classe di sostanze| e |Elemento|. Dal punto di vista logico i tre lemmi non sono altro che nomi dati ad insiemi. Successivamente si è valutata la «qualità semantica» dei sette campi indagati, usando il metodo di Karl Matton dei codici basati sulla «semantic gravity» e sulla «semantic density». Oltre alla conferma della grande differenza fra linguag-

gio disciplinare e linguaggio quotidiano, l'analisi semantica ha dimostrato che in massima parte i contributi al lessico sono di carattere teorico, e che i tre simboli proposti da italiani (-R, -OH, Tc) hanno uno status semantico molto diverso. Collegando i risultati dell'indagine storica con quelli dell'analisi semantica, risulta che in gran parte i contributi italiani al lessico chimico sono l'esito teorico di lavoro sperimenale. Infine, a proposito della storia della comunità dei chimici italiani risulta che la quasi totalità dei contributi al lessico chimico è venuta da chimici organici.

Parole chiave: Reazioni con nome; sostanza; elementi; Stanislao Cannizzaro; Emilio Segrè; Karl Maton

Il tema del Convegno, il contributo italiano ai linguaggi specialistici delle scienze, ha almeno tre dimensioni culturali: la linguistica, la disciplinare e la storica. L'invito a questo convegno ha portato il presente autore a riflettere su un contributo che fosse coerente sia al tema proposto, sia al suo attuale impegno di ricerca. In effetti negli ultimi anni la sua ricerca si è orientata decisamente verso gli aspetti filosofici della chimica, in particolare ha cercato di mettere in luce i lineamenti epistemologici delle pratiche teoriche e di laboratorio. Di qui la scelta di connettere i risultati dell'indagine storica con una analisi semantica. Questa scelta fu anche favorita dall'analisi semantica che in un contesto prettamente didattico il presente autore stava già eseguendo sui modelli atomici di primo Novecento.

Questo intervento per il Convegno si articola in due parti. La prima parte consiste in una indagine storica sui contributi dei ricercatori italiani in sette campi semantici ben definiti: le 'reazioni con nome' (*name reactions*), i gruppi funzionali, i reattivi, gli apparecchi di laboratorio, i simboli, le classi di sostanze, e infine gli elementi. Nella seconda parte dell'intervento sarà fatta una analisi semantica dei termini raccolti nella prima parte. L'analisi sarà eseguita nel 'piano semantico' definito dal sociologo della conoscenza Karl Maton[2] lungo due coordinate: 'attrazione semantica' (dipendenza dal contesto del significato di un termine) vs. 'densità semantica' (condensazione di significati nel termine). A conclusione del presente contributo vi saranno alcune brevissime riflessioni sul linguaggio della chimica e sulla comunità dei chimici italiani.

[2] Per una bibliografia esaustiva dell'opera di K. Maton si veda all'URL: https://www.sydney.edu.au/ arts/about/our-people/academic-staff/karl-maton.html.

1. Il contributo italiano al lessico chimico: una indagine storica

Non tutti i sette campi semantici segnalati nell'introduzione si prestano facilmente ad una indagine storica. Per chiarire questo aspetto storiografico possiamo considerare i due casi estremi, quelli delle reazioni con nome e degli apparecchi. L'accesso storico alle reazioni con nome è facilitato dalla loro stessa denominazione. Essendo esse riferite ai lavori di uno o più scienziati, praticamente tutti i numerosi repertori di queste reazioni forniscono le indicazioni bibliografiche delle pubblicazioni 'seminali' (v. ad es. Kürti e Czakó 2005, Li 2009, Hassner e Namboothiri 2012). Del tutto diverso è il caso degli apparecchi o dei pezzi di vetreria che in passato hanno affollato i laboratori e che ora sono scomparsi o dimenticati (con qualche eccezione come 'il soxhlet', inventato nel 1879 dal chimico agrario tedesco Franz Soxhlet). Per gli apparecchi e i pezzi di vetreria a cui ci si è riferiti con il nome dell'inventore come modificatore genitivale (ad es. 'disco di Petri') bisogna scorrere, decennio dopo decennio, i cataloghi delle grandi case produttrici.

1.1. *Le reazioni con nome*

In chimica organica una reazione con nome è una reazione che è diventata particolarmente importante nella comunità dei chimici e che nel corso del tempo è stata denominata con il nome dello scopritore. Ne sono esempi la 'reazione di Cannizzaro' proposta nel 1853, la 'sintesi dell'indolo di Bartoli' pubblicata nel 1989, ecc. Queste reazioni hanno una particolare rilevanza nella didattica e nella ricerca perché – come vedremo – la loro denominazione richiama sia la finalità della reazione, sia il modo di raggiungere quella finalità.

Le reazioni con nome hanno anche una rilevanza sociologica, perché da qualche decennio sono all'opera vere e proprie 'cordate' di ricercatori che spingono a far entrare nell'uso corrente nuove reazioni con il nome del 'capocordata'. Testimonianze rilevanti sull'attuale significato 'pubblico' delle reazioni con nome sono state raccolta da Carmen Drahl a proposito delle controversie legate alla cosiddetta 'reazione di Mizoroki-Heck' (Drahl 2010). Nel contesto dell'articolo, Drahl cita le dichiarazioni di diversi chimici organici americani. Robert Bergman dell'Università di California, Berkeley è il 'titolare' di una reazione denominata 'cicloaromatizzazione di Bergman'. Il chimico americano aveva descritto nel 1972 la reazione che ora porta il suo nome, ma solo dopo un decennio la reazione si dimostrò importante: «Fu solo

dopo che la gente (*people*) realizzò che la reazione giocava un ruolo nel modo in cui operavano certi composti antitumorali che essa cominciò a ricevere attenzione». Ma non sempre il processo di riconoscimento di una nuova reazione con nome è così 'innocente', e Bergman aggiunge: «C'è parecchia controversia nel dare un nome ad una reazione – in certe occasione la gente va fuori di testa (*get bent out of shape*)». Un'ultima valutazione di un certo interesse è stata data da Jie Jack Li, autore di diversi libri sulle reazioni con nome e ricercatore presso l'industria farmaceutica Bristol-Myers Squibb. Vivendo fuori del mondo accademico Li ha placidamente dichiarato che nel prender piede di un nome hanno un ruolo le connessioni che un chimico ha ammassato nel tempo (compagni di corso, maestri, studenti, colleghi di dipartimento, amici). Li è del tutto esplicito: «Si tratta di una combinazione di scienza e politica».

Date queste complicate condizioni politico-scientifiche, diventa condivisibile lo sforzo storiografico di Gianluca Papeo e Maurizio Pulici. In un interessante articolo i due autori hanno descritto l'origine di 37 reazioni che portano il nome di chimici italiani (Papeo e Pulici 2012). Alcuni dati dell'articolo di Papeo e Pulici sono stati ripresi da Ferruccio Trifirò, Direttore de *La chimica & L'industria*, rivista ufficiale della Società Chimica Italiana. L'articolo di Trifirò (2014) ha il merito di mettere in evidenza l'estensione temporale del contributo italiano alle reazioni con nome. La prima reazione a portare il nome di un italiano è stata quella proposta dal chimico calabrese Raffaele Piria nel 1846, quando Piria aveva la cattedra di chimica all'Università di Pisa e nel suo laboratorio lavorava come preparatore straordinario il giovanissimo Stanislao Cannizzaro. La più recente reazione con nome risale al 1997 ed è dovuta a Marta Catellani, docente di Chimica industriale all'Università di Parma. Il secolo e mezzo che separa l'annuncio delle due reazioni ha un duplice significato. A livello disciplinare questo ampio lasso di tempo dimostra il permanere dell'*utilità di una denominazione*, di un fatto socio-linguistico, che mette in evidenza qualche centinaio di reazioni su uno sfondo di decine di migliaia di altre reazioni. Al livello della comunità dei chimici italiani, il secolo e mezzo che separa la reazione di Piria dalla reazione di Catellani indica il permanere di una forte tradizione di ricerca in chimica organica, con punte di eccellenza internazionale.

Ovviamente la 'popolarità' delle reazioni con nome non è uniforme. SciFinder è una immensa banca dati gestita dall'American Chemical Society: se la si interroga rispetto alla reazione di Piria si ottengono 45 risposte, mentre per la reazione di Cannizzaro si hanno più di 2700 riferimenti bibliografici. Quest'ultimo risultato dimostra l'attualità/utilità di questa reazione ed invita ad approfondirne la lontana origine.

Quando scoprì la reazione che porta il suo nome Cannizzaro era un esule con passaporto siciliano nell'ospitale Piemonte di Cavour. Cannizzaro era entrato nel Regno di Sardegna nel febbraio del 1851 e già nel novembre ottenne la cattedra di chimica e fisica al Collegio Nazionale di Alessandria. Il Consiglio comunale unanime (maggioranza conservatrice e opposizione progressista) fornì i fondi richiesti da Cannizzaro per allestire un laboratorio. Qui, nel 1853, il chimico siciliano scoprì la reazione che porta il suo nome: in una soluzione alcolica di idrossido di potassio la benzaldeide reagisce dando acido benzoico e alcol benzilico. L'acido benzoico era ben noto ma l'alcol benzilico era un corpo sconosciuto, e merito di Cannizzaro fu non solo di aver individuata la particolare natura chimica di questa sostanza, ma anche di avere immediatamente generalizzato l'esito inaspettato della 'sua' reazione. In una nota preliminare inviata all'importante rivista tedesca *Annalen der Chemie und Pharmacie*, Cannizzaro scrisse: «Questo genere di alcool mostra di essere il modello (*Typus*) di una intera classe di nuovi alcoli, su cui io sono già impegnato con una ricerca più esaustiva» (Cannizzaro 1853). La 'ricerca esaustiva' fu pubblicata all'inizio del 1855 sul *Nuovo Cimento*, la rivista diretta dal suo maestro Piria e dal fisico Carlo Matteucci. La prima parte dell'articolo è di carattere teorico, e in termini stringati Cannizzaro discute il valore generale della sua scoperta: i chimici sono «riesciti ad ordinare il maggior numero delle specie chimiche in serie parallele […]. Ogni nuova reazione che si scopre in uno dei corpi appartenenti a ciascuna serie non è solamente importante perché contribuisce a far meglio conoscere le proprietà della sostanza alla quale si riferisce, ma lo è ancora di più perché rischiara la storia dei termini omologhi appartenenti alle altre serie». La nuova reazione delle aldeidi non aggiunge solo un'altra proprietà alle aldeidi stesse ma le connette ad altre due serie, gli acidi organici e gli alcoli. A queste considerazioni Cannizzaro aggiunge una riflessione epistemologica di grande rilievo:

> «Quest'ordinamento delle sostanze organiche in serie facilita lo studio della loro costituzione, che ora appena si comincia a intravedere, e che non pertanto è la meta a cui mirano gli sforzi dei Chimici» (Cannizzaro 1855, p. 85).

Il rilievo epistemologico della considerazione di Cannizzaro consiste nel fatto che il chimico siciliano percepisce l'insufficienza conoscitiva/ontologica della classifi-

cazione in serie delle sostanze organiche e sottolinea la necessità di giungere a conoscere la loro costituzione. Di là a sei anni il chimico russo Alexander Butlerov proporrà il concetto di struttura molecolare, argomentandolo dal punto di vista topologico della 'connessione' (poco più tardi si dirà 'legame') fra atomi contigui (Butlerov 1861). Si può anche notare che Butlerov fu facilitato nella sua ricerca teorica dalla proposta veramente definitiva dei pesi atomici avanzata nel 1858 da Cannizzaro. Allora Cannizzaro ricopriva la cattedra di chimica all'Università di Genova e le sue argomentazioni sulla determinazione dei pesi atomici erano contenute nel *Sunto di un corso di filosofia chimica* (Cannizzaro 1858; v. oltre).

1.1.1. *Le reazioni con nome: considerazioni formali*

Nel contesto della presente ricerca le reazioni con nome assumono un significato importante per due motivi molto diversi fra di loro. Il primo motivo è già chiaro da quanto precede, ed è di carattere storico in quanto il contributo dei chimici italiani allo sviluppo delle reazioni con nome è stato significativo e permanente nel tempo. Il secondo motivo di interesse è più generale e – in realtà – nasce da un *sospetto filosofico*: la rilevanza delle reazioni con nome nelle pratiche della chimica organica deve avere un fondamento epistemologico.

In una ricerca sul diverso statuto ontologico di un campione di sostanza Elena Ghibaudi e il presente autore hanno stabilito che l'ontologia relazionale del campione cambia a seconda delle 'località' in cui si trova. Vi sono evidenti differenze tra la situazione in cui il campione fa parte di una *sostanza* in un barattolo di laboratorio ed la situazione in cui il campione fa parte di un *materiale* sottoposto ad una prova di torsione. I due autori hanno condotto l'indagine utilizzando vari tipi di logica formale, in particolare oltre all'usuale logica del primo ordine hanno utilizzato la logica mereologica e la logica locativa (Ghibaudi e Cerruti, 2017). Il 'sospetto filosofico' a cui si accennava ha portato i due autori ad utilizzare il medesimo apparato logico a proposito delle reazioni con nome, cambiando il punto di vista, da quello ontologico a quello epistemologico, e ottenendo come risultato che *le reazioni con nome hanno lo statuto epistemologico di legge* (Ghibaudi e Cerruti, *in progress*).

Al di là di una trattazione logico-formale, lo statuto epistemologico di legge delle reazioni con nome può essere apprezzato a partire da una descrizione delle condizioni che regolano la reazione di Cannizzaro. Il testo che segue è tratto da una importante opera sulle 'name reactions':

«**When** reacted with concentrated NaOH (50 wt%) or other strong bases, aliphatic and aromatic aldehydes with no α-hydrogen / undergo an intermolecular hydride-transfer reaction known as the Cannizzaro reaction» (Kürti e Czakó, 2005, p. 74).

Una semplice trasformazione sintattica porta il testo precedente alla forma *se … allora*, tipica dell'enunciato di una legge:

"**If** reacted with concentrated NaOH (50 wt%) or other strong bases, aliphatic and aromatic aldehydes with no -hydrogen **/ then they** undergo an intermolecular hydride-transfer reaction known as the Cannizzaro reaction".

Malgrado non sia prettamente logico-formale la precedente trasformazione sintattica rispecchia quanto ha scritto Rudolf Carnap, uno dei più importanti logici del Novecento:

«Molte leggi della scienza – fisica, biologia, anche psicologia e scienza sociale – possono essere formulate come condizionali. Ad es. una legge fisica espressa più o meno in questi termini "se si verifica tale e tale condizione o se accade tale e tale processo, allora ne segue così e così", può essere riformulata in questo modo: «per ogni sistema fisico, se tale e tale condizione si verifica, allora succede così e così» (Carnap 1958, p. 36).

Il fatto che le reazioni con nome abbiano lo statuto di legge fornisce una validazione epistemologica (*filosofica*, appunto) alla loro importanza nella pratica di laboratorio dei chimici organici. Dal nostro attuale punto di vista possiamo dire che è italiano un discreto numero di 'legislatori' della chimica organica.

1.2. *I gruppi funzionali*

Senza alcun dubbio il concetto di struttura molecolare è uno dei più importanti in chimica, e recentemente ne è stata rivendicata la natura topologica, richiamando così – in modo formale – l'eredità conoscitiva di Alexander Butlerov (Ghibaudi *et al.*, 2020). Per rendere 'visibile' la struttura di una molecola sono in uso molte modalità grafiche, ciascuna delle quale ha una specifica funzione euristica, in quanto mette in evidenza una o più caratteristiche della molecola, nel suo complesso, e degli atomi che la compongono. I chimici usano queste rappresentazioni delle molecole come mappe che descrivono un territorio ricco delle più diverse opportunità, da quelle terapeutiche a quelle tecnologiche. Per trasformare le opportunità in realtà sostanziale (in senso stretto: una nuova sostanza) è spesso necessario intraprendere un cammino di modificazioni molecolari che 'aggiustino' in modo opportuno le molecole originali. La progettazione di quel cammino si basa quasi sempre sul ricono-

scimento nella mappa molecolare di 'luoghi' di particolare reattività: i *gruppi funzionali*. Un gruppo funzionale è una parte della topologia di una molecola, una parte caratterizzata da una sua propria struttura ben definita. Una sostanza le cui molecole hanno un certo gruppo funzionale ha una reattività tipica e simile a quella di altri composti contenenti lo stesso gruppo; esempi tipici sono l'ossidrile -OH, il gruppo amminico -NH_2, il carbossile -COOH, ecc.

Il comportamento chimico dei gruppi funzionali ha un importante significato operativo, sia perché le reazioni con nome si basano sulla reattività dei gruppi funzionali, sia perché su un piano più generale essi rappresentano nella mappa di una molecola 'luoghi' caratterizzati da una reattività ben nota. Per i chimici è un procedimento conoscitivo affidabile l'attribuzione di certe proprietà ad un gruppo funzionale che appartiene ad una molecola appena scoperta (o appena sintetizzata). Abbiamo citato nella sezione precedente il caso di Cannizzaro, che riconobbe la novità della molecola di alcol benzoico dalle proprietà come alcol della sostanza corrispondente. Questa fiducia dei chimici ha un fondamento ontologico: i gruppi funzionali sono parti di una molecola che risentono solo parzialmente del 'resto' della struttura molecolare. Le molecole si comportano come un tutto indistinto in una vasta fenomenologia fisica (ad es. la pressione osmotica), ma in chimica diventano appunto 'individui chimici', con un comportamento rispetto alla reattività legato essenzialmente ai gruppi funzionali. Ne è la riprova la 'funzionalizzazione' delle molecole di certe sostanze (ad es. i fullereni), un procedimento che le rende reattive in modo opportuno, laddove allo stato nativo esse siano praticamente inerti.

I gruppi funzionali utili per caratterizzare le molecole organiche sono probabilmente una quarantina[3], mentre se si considerano i gruppi funzionali più rilevanti per l'attività biologica il loro numero si restringe ad una mezza dozzina[4], con l'ossidrile (-OH) in posizione preminente. Di molti gruppi funzionali si conosce il proponente del nome, e nel caso importante del gruppo -OH il proponente è stato Stanislao Cannizzaro. Era l'anno 1865 e il nostro chimico aveva la cattedra di chimica nella nativa Palermo. L'articolo in cui Cannizzaro propose il nome 'ossidrile' per il gruppo -OH aveva un titolo che indica la continuità degli interessi scientifici dell'autore: "Intorno agli alcaloidi derivati dall'alcool benzilico". Come abbiamo visto, l'alcool benzilico era stato il nuovo individuo chimico scoperto da Cannizzaro nel 1853. Da allora Cannizzaro aveva mantenuto una coerente linea di ricerca e nell'articolo che stiamo citando era giunto ad una conclusione fondamentale:

> «Ciò che è detto nel testo ci conduce ad ammettere che il residuo dell'acqua OH esistente nei fenol (*sic*) è in uno stato diverso da quello esistente negli acidi e da quello esistente negli alcoli. Seguendo il consiglio del mio amico e maestro Piria, darò un nome al residuo dell'acqua OH ossia all'ossigeno semisaturato dall'idrogeno; questo nome è ossidrile» (Cannizzaro 1865, p. 80, n. 1).

In questo brano Cannizzaro riconosce la diversa funzionalità chimica del gruppo -OH, e poco dopo nel testo dell'articolo giustifica questa diversità con una argomentazione che diremmo 'strutturale': «il diverso stato dell'ossidrile dipende dal modo come esso è connesso con gli altri costituenti del corpo: così l'ossidrile è allo stato acido tutte le volte che è connesso con CO". Tornando alla citazione merita un commento la frase "darò un nome al residuo dell'acqua OH ossia all'ossigeno semisaturato dall'idrogeno». Nel battesimo dell'ossidrile Cannizzaro compie due atti 'filosofici': in primo luogo prende l'impegno ontologico che esistono oggetti sub-microscopici costituiti da un atomo di ossigeno 'semisaturato' e un atomo di idrogeno, in secondo luogo a livello semiotico afferma che il segno OH ha ora un nome, e si chiama ossidrile. Cannizzaro sta proponendo una convenzione che sarà accettata dalla comunità scientifica internazionale, e questa accettazione renderà OH un simbolo (vedi oltre a proposito del filosofo americano Peirce).

Un'ultima osservazione riguarda il contesto editoriale dell'articolo che stiamo citando. L'articolo fu pubblicato sul *Giornale di scienze naturali ed economiche*, stampato a Palermo a cura del Consiglio di perfezionamento che faceva capo all'Istituto tecnico di quella città. L'Istituto tecnico era stato fortemente voluto dallo stesso Cannizzaro (Zingales 2013), anche in questo caso in continuità con il suo favore culturale e politico a proposito dell'istruzione tecnica (Cerruti e Ieluzzi, 2011).

1.3. *Reattivi e apparecchi di laboratorio*

I reattivi hanno la funzione di 'strumenti' per operare sul mondo atomico-molecolare. In chimica analitica, un reattivo è un composto o una miscela utilizzata per rilevare la presenza o l'assenza di un'altra sostanza, ad es. da un cambiamento di colore. Premesso che il numero di reattivi con nome è molto minore di quello delle reazioni

[3] Si veda ad es. URL: https://www.compoundchem.com/2020/02/21/functional-groups/.

[4] Si veda ad es. URL: http://www.phschool.com/science/biology_place/biocoach/biokit/ function.html

con nome, i reattivi che portano il nome di un italiano sono un paio. I 'reagenti di Amadori' furono messi in luce da Mario Amadori negli anni 1920-1930, nel contesto di ricerche sugli zuccheri. Malgrado si presti molta attenzione ai reagenti/composti di Amadori che compaiono in molti processi di cottura dei cibi, dal punto di vista storico è più interessante il 'reattivo di Schiff'. Hugo Schiff era giunto in Italia nel 1863, con un'ottima 'presentazione' scientifica, essendo stato allievo di Friedrich Wöhler. Immediatamente Schiff entrò a far parte integrante della comunità degli scienziati italiani, condividendo il fervore patriotico seguito alla raggiunta Unità del Paese. Nel 1864 confermò la sua fede socialista partecipando alla fondazione a Londra dell'Associazione Internazionale dei Lavoratori, ovviamente in contatto con Karl Marx e Friedrich Engels, i promotori dell'Associazione (Jaenicke 2007). Il reattivo di Schiff è tuttora largamente usato, e la sua utilità per il riconoscimento delle aldeidi fu annunciata sia su un giornale tedesco (il famoso *Justus Liebigs Annalen der Chemie*) sia su un giornale italiano (il già citato *Giornale di scienze naturali ed economiche*). L'articolo sul giornale tedesco fu firmato 'Hugo Schiff' (Schiff 1866a) e quello sulla rivista italiana 'Ugo Schiff' (Schiff 1866b), a testimonianza della completa 'italianizzazione' dell'autore. Il reattivo di Schiff funziona segnalando con un cambiamento di colore la presenza nella soluzione in esame di aldeidi, ha quindi il comportamento classico di un reattivo analitico:

> «Il solfito di rosanilina non si combina direttamente colle aldeidi. Quando si agita una soluzione solforosa di idrato o di acetato di rosanilina con un'aldeide qualunque, allora la soluzione gialla assume subito un colore rosso che poco a poco si trasforma in un bel violetto più o meno intenso a secondo l'aldeide applicata» (Schiff 1866 b).

Come si vede dall'elenco che segue, Schiff ha anche contribuito alle pratiche di laboratorio con apparecchi che hanno portato il suo nome:

1857 Cannello a flusso continuo di De Luca
1884 Essiccatore di Schiff
1891 Regolatore di pressione di Schiff
1891 Tubo di Anderlini per la distillazione frazionata
1914 Nitrometro di Schiff (introdotto nel 1868)

L'anno in corsivo indica che i dati corrispondenti sono stati tratti da cataloghi di vetreria e apparecchi di laboratorio pubblicati alla data indicata. In effetti dalla metà dell'Ottocento ai primi decenni del Novecento i cataloghi riportano centinaia di apparecchi di laboratorio associati al nome dello scienziato che per primo li ha proposti/descritti. Da questo punto di vista il contributo italiano appare abbastanza ridotto, ma i dati che abbiamo appena riportato nell'elenco ci dicono anche un'altra cosa: tre contributi su cinque sono intestati a Schiff e costituiscono un segno (quasi un *imprinting*) dell'addestramento di Schiff nelle Università tedesche. Ancora in riferimento all'elenco, il cannello a flusso continuo di Sebastiano De Luca (Fig. 1) costituisce un caso a sé, in quanto nel 1856 De Luca, allora esule a Parigi, aveva sottoposto il suo apparato al giudizio della Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, ottenendone una valutazione entusiastica (Chevallier 1857). Il cannello ferruminatorio era usato per saggi analitici soffiando sulla sostanza da analizzare la parte ossidante o riducente della fiamma di un becco Bunsen. Il cannello di De Luca era quindi atto a risparmiare la fatica dell'operatore in operazioni particolarmente protratte nel tempo.

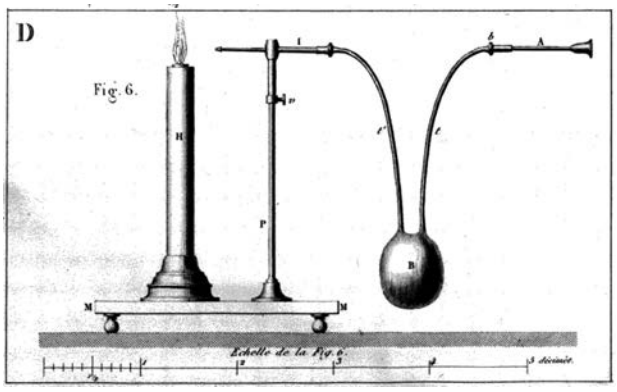

Fig. 1. Cannello a flusso continuo di Sebastiano De Luca, *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, **56**, pl. 98, fig. 6 (1857).

L'immagine di Fig. 1 ci induce a qualche considerazione sugli apparecchi di laboratorio dei chimici. Nell'immagine compare la scala del disegno, e se ne deduce che il cannello di De Luca aveva una dimensione lineare di una cinquantina di centimetri, compreso il becco Bunsen da cui doveva trarre calore e potere ossidante o riducente. In alcuni casi la base materiale della ricerca è ben visibile, specialmente in fisica e in astronomia. Coeva all'apparecchio di De Luca fu l'esibizione del primo pendolo di Foucault (1851), presentato del Pantheon di Parigi e costituito da una sfera di 28 kg sospesa alla cupola con un filo lungo 68 m. Nel caso della chimica la base materiale della ricerca è molto meno visibile. Le numerose operazioni di laboratorio sono tuttora eseguite con apparecchi che stanno su un tavolo o ricoprono una parete; spesso sono il risultato di progettazioni loca-

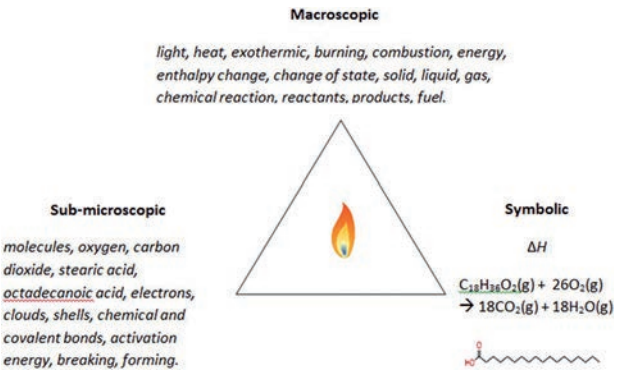

Fig. 2. Riportiamo la didascalia originale: "Vocabulary and symbols generated by potential undergraduates about a candle flame" (Rees *et al*., 2018).

li, *ad hoc*, raramente rese pubbliche. Gli strumenti chimico-fisici attualmente in uso possono raggiungere dimensioni e costi notevoli, ma la loro costruzione è *extra moenia*, appannaggio quasi al 100% di grandi imprese tecnologiche. Gli apparecchi citati nell'elenco appartengono ad un'epoca ormai lontana; la loro scomparsa dai laboratori corrisponde ad una analoga scomparsa dal lessico chimico.

1.4. *Simboli e classi di sostanze*

In riferimento al linguaggio scientifico possiamo – con una certa semplificazione – definire come simbolo ogni segno grafico assunto convenzionalmente a indicare determinati enti (ad es. H_2O), grandezze (mol) o strumenti (NMR). La convenzionalità dei simboli è molto importante ed è stata sottolineata dal filosofo americano Charles Peirce, uno dei fondatori della semiotica contemporanea:

> «Un ***Simbolo*** è un segno che si riferisce all'oggetto che denota in virtù di una legge (*law*) che opera per far sì che il Simbolo sia interpretato come riferentesi a quell'Oggetto» (enfasi nel testo originale; Peirce CP 2.249)[5].

Peirce usa spesso il termine |Law|, intendendo con questo termine non una legge statale con potere coercitivo, quanto piuttosto «una regola che definisce la procedura corretta o un comportamento in uno sport» (*Oxford Dictionary of English*, alla voce *law*). Le regole di uno sport sono molto simili a quelle che anonimamente agiscono nel parlare comune, come nel parlare scientifico: nelle lingue vigono regole convenzionali, mutevoli nel tempo e obbligatorie se si vuole essere compresi.

Negli ultimi due secoli i chimici hanno elaborato un sistema simbolico di descrizione/comunicazione alquanto complesso, la cui adeguatezza ad interpretare la fenomenologia pertinente è sempre *in progress*.

L'immagine di Fig. 2 illustra bene la complessità del linguaggio chimico elencando termini, concetti e simboli che dovrebbero essere presenti nel discorso di uno studente dei primi anni di corso, quando allo studente sia stato chiesto di descrivere/interpretare una fenomenologia relativamente semplice: quella di una fiamma di candela. Consideriamo le scritte indicate come simboliche. ΔH è un simbolo 'meticcio' in quanto indica la variazione di entalpia (un termine fisico) per una mole (un termine chimico) di sostanza. Si noti subito che una mole di sostanza è una quantità macroscopica; gli autori fissano le idee sull'acido ottadecanoico (*alias* acido stearico, da cui 'candele steariche'), e in questo caso la mole pesa 284,48 g. La seconda scritta descrive l'ossidazione totale dell'acido ottadecanoico in fase gassosa; qui l'acido è rappresentato con la formula bruta $C_{18}H_{36}O_2$. È in questo tipo di simboli che si cela una delle difficoltà nell'apprendimento del linguaggio chimico, in quanto il simbolo $C_{18}H_{36}O_2$ rappresenta *contemporaneamente* un ente submicroscopico (una molecola di acido ottadecanoico) ed un ente macroscopico (una mole di acido ottadecanoico). Meno complessa è la terza scrittura (quella specie di lungo bruco), che secondo una serie di convenzioni descrive *una singola molecola dell'acido*, e quindi un ente submicroscopico.

Si è detto che ΔH è un simbolo che connette due grandezze, una fisica e una chimica, ma va anche sottolineato che ogni disciplina attribuisce un proprio significato – per altro non sempre univoco – a ciascun proprio simbolo. Il caso del simbolo R è particolarmente significativo. In matematica R indica sia il tensore di Riemann, sia il tensore di Ricci; in fisica R può indicare a seconda dei contesti enti assai diversi: resistenza, radianza, costante molare dei gas (un altro simbolo 'meticcio'), roentgen (unità di misura dell'esposizione alle radiazioni). In chimica il simbolo R ha un significato univoco e riveste una particolare importanza: indica la parte idrocarburica, alifatica o aromatica, di una molecola organica che rimane inalterata nelle reazioni non distruttive e non demolitive[6]. Il suo uso è evidente in Fig. 3.

[5] Qui e più oltre si è seguita la convenzione di indicare i testi di Peirce con scritture del tipo CP 2.249, dove CP si riferisce ai *Collected Papers* (Peirce, 1931-1958), la cifra 2 indica il volume dei Collected Papers, e la cifra 249 indica il paragrafo.

[6] Definizione tratta dall'URL: https://www.treccani.it/enciclopedia/radicale/.

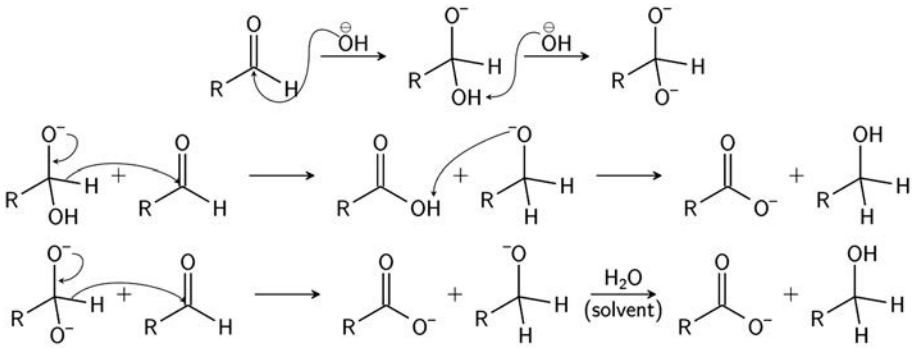

Fig. 3. Due possibili 'meccanismi di reazione' per la reazione di Cannizzaro (Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Cannizzaro_reaction).

A stabilire in modo formale il significato del simbolo R è stato Stanislao Cannizzaro nel suo *Sunto di un corso di filosofia chimica*:

«Indico col simbolo R^{I}_{m} qualsiasi radicale metallico monoatomico sia semplice sia composto: e col simbolo R^{II}_{m} qualsiasi radicale metallico biatomico» (Cannizzaro 1858).

Dobbiamo allo storico William Jensen l'analisi storica che ci permette di dire che Cannizzaro è stato il primo a definire esplicitamente R (Jensen 2010). Si ha un piccolo arricchimento al lavoro di Jensen quando si nota che Cannizzaro usa il termine |simbolo| per indicare il carattere generale, astratto e convenzionale del segno grafico |R|.

Le stesse caratteristiche epistemiche di generalità, astrattezza e convenzionalità si ritrovano nell'espressione |classe di sostanze|. Come capita talvolta nella terminologia specialistica in uso, nel caso di |classe di sostanze| non è stato facile trovare una definizione formale e ufficiale. Quella che segue è una definizione tratta dalla legislazione ambientale canadese:

«Per classe di sostanze si intendono due o più sostanze che:
(a) contengono la stessa porzione di struttura chimica;
(b) hanno simili proprietà chimico-fisiche o tossicologiche;
(c) hanno tipi d'uso simili» (Minister of Justice, 2020).

I contributi italiani alle classi di sostanze di tipo (a) sono almeno due: quello già ricordato a proposito della reazione di Cannizzaro, con la scoperta della nuova classe degli alcoli aromatici, e quello delle 'basi di Schiff', di cui è il momento di parlare.

Le basi di Schiff sono caratterizzate dal gruppo $R_1R_2C{=}N{-}R_3$ (dove $R_3{\neq}H$) e hanno importanti applicazioni, sia nel campo della sintesi di nuovi composti, sia in ambito medico e biologico. Abbiamo già considerato gli articoli di Schiff che annunciavano la scoperta di questa classe di composti, perché in essi è anche descritto il 'reattivo di Schiff'. Per quanto riguarda le nuove basi, Schiff non colloca la sua ricerca in un ambito meramente sperimentale, ma ne sottolinea il significato disciplinare, epistemologico, e teorico:

«La Chimica organica si trova oggi in uno stato di sviluppo tale, che essa non dà più tanta importanza a qualche nuovo composto o a fatti staccati; essa *richiede serie di fatti*, dalle quali possa tirarsi una conclusione più o meno generale. L'interesse che destano i composti nuovi in Chimica organica viene misurato dall'applicazione che questi composti possono trovare nella *discussione della cosi detta costituzione dei corpi organici* e dal *metodo* col quale questi composti sono stati ottenuti» (Schiff 1866 b, corsivi nostri).

In poche righe Schiff afferma che lo 'stato dell'arte' in chimica organica (come disciplina) richiede (secondo una propria valutazione epistemologica) che si forniscano delle serie di fatti, da cui si possa trarre un qualche conclusione, tale che (a livello teorico) essa possa trovare spazio nella «discussione della cosi detta costituzione dei corpi organici». Per Schiff il compito più avanzato nella disciplina è di contribuire, fatti alla mano, a rendere il concetto di 'costituzione' molecolare in grado di orientare le pratiche di laboratorio. Schiff usa il termine |costituzione| in un periodo in cui era considerato (quasi) un sinonimo di |struttura|. A dimostrazione che questa incertezza semantica durò a lungo si possono citare i risultati di una analisi lessicale condotta su uno dei più importanti testi di chimica teorica dell'Ottocento, le *Modernen Theorien der Chemie und ihre Bedeutung für die chemische Mechanik*, pubblicate dal chimico tedesco Lothar Meyer nel 1894. La sezione 109 del testo è intitolata *Terminologie*, e in essa Meyer prende posizione a favore del termine |Constitution| rispetto al termine |Structur| proposto dal chimico russo Butlerov; Meyer avverte comunque che «nel seguito queste espressioni

saranno trattate più o meno come sinonimi» (Meyer 1894, p. 232). Per un controllo di questa affermazione, l'analisi lessicale di un 'seguito' di una cinquantina di pagine ha conteggiato 34 occorrenze in tutto, 29 di |Constitution| o |Constitutionformel| e 5 sole di | Structur| o |Structurformel|. La preferenza di Meyer era quindi chiara, anche se temperata da una modica dose dei termini proposti dal chimico russo (Cerruti 1992). Al di là degli spogli lessicali e del caso particolare, dall'analisi presentata in Cerruti (1992) emergono due fatti: i nuovi concetti scientifici con un contenuto semantico importante hanno difficoltà a 'stabilizzarsi' in un singolo lemma; gli scienziati, anche quelli del calibro di Meyer, non hanno un completo controllo della semantica dei termini che usano (|Constitution| ha tratti semantici diversi da quelli di |Structur|).

Al di là delle preferenze lessicali (ogni tanto venate da sfumature nazionalistiche), il 'battesimo' di una nuova classe di sostanze è un evento significativo, di cui gli autori sono ovviamenti consapevoli. Dopo i casi di Cannizzaro e Schiff, compare nel nostro racconto il caso dei polimeri isotattici, 'creature' di Giulio Natta. In realtà Natta propose una famiglia di termini, delineando così un intero campo semantico:

> «Poiché attribuiamo al fenomeno osservato una fondamentale importanza per la conoscenza di una vasta categoria di macromolecole sintetiche, di cui si è iniziata una produzione destinata a larghi sviluppi, abbiamo voluto, per facilitarne la descrizione, assegnare agli atomi di carbonio asimmetrici aventi eguale configurazione, appartenenti ad una catena, l'attributo "isotattici" di etimologia greca da ἴσος = eguale e τάττω = disporre in ordine. Inoltre chiameremo «isotattiche» le catene e le molecole che contengono atomi di carbonio isotattici, chiameremo «isotattici» i polimeri che contengono molecole isotattiche, ed «isotassia» il fenomeno qui descritto» (Natta 1955).

Oltre ad aver delineato i tratti essenziali del nuovo campo semantico, Natta richiama il «fenomeno osservato» (una particolare regolarità nei dati cristallografici) e l'*esistenza* di «una *vasta* categoria di macromolecole sintetiche» (corsivo nostro). Quest'ultima valutazione potrebbe essere addirittura definita 'socio-ontologica' in quanto è seguita da una previsione dell'incidenza sociale dei nuovi polimeri: «si è iniziata una produzione destinata a *larghi* sviluppi».

Come nel caso delle reazioni con nome, una trattazione logico-matematica può approfondire la nostra conoscenza semantica del termine |classe di sostanze|. Quanto segue è stato pubblicato in parte in un precedente lavoro (Ghibaudi e Cerruti, 2017).

Abbiamo visto che molte sostanze sono caratterizzate dalla presenza di gruppi funzionali, ed è a questa presenza che si riferisce il punto (a) della definizione canadese di 'classe di sostanze': «due o più sostanze che contengono la stessa porzione di struttura chimica» (ad es. il gruppo aldeidico -CHO). Introduciamo x come simbolo di un campione di una sostanza qualunque; per i nostri scopi dobbiamo precisare la natura dei campioni che ci interessano, e quindi scriviamo x_{ia} è un campione della i-esima sostanza le cui molecole hanno il gruppo funzionale a (ad es. il solito gruppo aldeidico) Consideriamo ora l'insieme di tutti campioni x_{ia}, e secondo l'usuale definizione di insieme scriviamo:

$$\mathbf{S}_{ia} = \{x: x_{ia}\} \quad (1)$$

Ad una sostanza di *nome* S_{ia} (ad es. l'aldeide benzoica), caratterizzata dagli indici i,a, corrisponde l'*insieme* $\mathbf{S}_{ia}$ di tutti i suoi campioni, ma un insieme è *una entità matematica*, qualunque sia la natura dei suoi elementi. In effetti la (1) è una versione del primo assioma della logica mereologica (Needham 2012). Utilizzando la (1), la classe di sostanze di *nome* C_a, caratterizzate dal gruppo funzionale a, può essere descritta come *un insieme di insiemi* $\mathbf{C}_a$, un insieme di sostanze che a loro volta sono insiemi di campioni:

$$\mathbf{C}_a = \{\mathbf{S}: \mathbf{S}_{ia}\} \quad (2)$$

La (1) e la (2) definiscono 'sostanza' e 'classe di sostanze' come concetti formali, a conferma dell'astrattezza di buona parte del linguaggio chimico.

1.5. *Gli elementi*

Nelle pagine che seguono si vedrà che si è dato ampio spazio al tema 'elementi'. Vi sono due motivi per questa scelta: il primo motivo è che il termine |Elemento| è avvolto da una specie di nebbia semantica, che merita di essere dissolta (sia pure in piccola parte) con un trattamento logico-matematico (v. oltre). Il secondo motivo è che la scoperta del tecnezio da parte di Emilio Segrè e Carlo Perrier costituisce un *unicum* nella storia della scienza italiana, e quindi merita di essere raccontata con qualche dettaglio. Incidentalmente, i lavori di Perrier e Segrè confermano sia la validità dell'analisi epistemologica di chi combatte da tempo la nebbia di cui sopra (Ghibaudi *et al.*, 2013), sia l'efficacia della trattazione formale del concetto di elemento.

Quando si considera lo stato epistemologico del termine |Elemento| nel linguaggio chimico viene in mente la rubrica della *Settimana enigmistica* "Strano ma vero!". Probabilmente |Elemento| è il lessema più importante del lessico chimico, ma intorno ad esso vi è una perdu-

rante confusione. Si tratta di una 'confusione' che ha gravi conseguenze, specie nella didattica, e che ha diverse cause. Una di queste è l'uso di |Elemento| al posto di |Atomo|. Ad esempio nel *Vocabolario on line* della *Treccani* alla voce "deidroalogenazióne" si legge: «In chimica, l'eliminazione da un composto organico degli elementi di una molecola di idracido alogenico», mentre in un sito universitario si legge «in uno ione la somma dei numeri di ossidazione dei suoi elementi deve essere uguale alla carica dello ione stesso», «la somma dei numeri di ossidazione degli elementi di una molecola neutra è zero», e via di questo passo.

Certamente la causa principale della confusione è la mancata e inavvertita distinzione fra |Elemento| e il lessema composto |Corpo semplice|. Su questo problema Elena Ghibaudi, Alberto Regis ed Ezio Roletto hanno pubblicato un articolo importante per la *documentazione* offerta alla lettura e significativo per l'*analisi epistemologica* condotta dagli autori (Ghibaudi *et al*., 2013). I tre autori argomentano a lungo (e giustamente) contro la confusione semantica ed epistemologica che nasce dell'uso inappropriato dei termini |Elemento| e |Corpo semplice|. Qui il dato più rilevante della documentazione riguarda la definizione ufficiale – per la comunità dei chimici – di elemento, tratta dal Gold Book della IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry). Per la IUPAC un elemento è:

«1. A species of atoms; all atoms with the same number of protons in the atomic nucleus.

2. A pure chemical substance composed of atoms with the same number of protons in the atomic nucleus. Sometimes this concept is called elementary substance as distinct from the chemical element as defined under 1, but mostly the term chemical element is used for both concepts» (Cit. in Ghibaudi *et al*., 2013)[7].

L'analisi dei tre autori che stiamo citando è severa: «Queste definizioni suggeriscono due distinti significati per lo stesso termine […]. Così non è abolita la confusione concettuale fra sostanza semplice, atomo ed elemento; nemmeno riconoscono il valore formale del concetto di elemento, a dispetto del fatto che fu già invocato da Mendeleev». Nelle conclusioni dell'articolo leggiamo: «Un'altra fonte di ambiguità nasce dalla consuetudine di assegnare uno stato di concretezza al concetto di elemento, invece di specificare il suo carattere formale categoriale». Con le parole dei tre autori "Un elemento è un nome, un simbolo, un numero atomico, una posizione nella tavola periodica" (Ghibaudi *et al*., 2013).

[7] Trattandosi di un testo normativo abbiamo preferito non tradurlo.

Il riferimento al numero atomico permette di dare un piccolo contributo logico-formale al concetto di elemento. Seguendo la falsariga di quanto già detto a proposito del termine |Sostanza| introduciamo una notazione opportuna: x è un campione di sostanza e x_n è un campione di sostanza i cui atomi hanno lo stesso numero atomico n. E_n è il *nome* che diamo ad un elemento che può essere descritto dall'*insieme* $\mathbf{E}_n$, definito nella forma matematica usuale per gli insiemi:

$$\mathbf{E}_n = (x: x_n) \qquad (3)$$

La (3) ci garantisce il carattere puramente formale del concetto di elemento, in quanto al nome dell'elemento corrisponde (ontologicamente) un insieme matematico. Per il riconoscimento di un elemento chimico la (3) può essere generalizzata attribuendo al pedice di **E** un significato diverso da quello di essere i campioni costituiti da atomi con un certo numero atomico. Il nuovo significato potrebbe essere quello che gli atomi dei campioni si identificano da una riga spettroscopica, da una energia di ionizzazione, ecc.. Possiamo allora indicare con P_i una generica proprietà atomica, con la condizione che P_i appartenga all'insieme $\boldsymbol{P}$ delle proprietà atomiche conosciute al tempo t, in formula: $P_i \in \boldsymbol{P}$.[8] Così $\mathbf{E}_{ni}$ indica un insieme i cui elementi sono campioni di sostanza costituiti da atomi che hanno lo stesso numero atomico e godono della i-esima proprietà atomica. Ad esclusione degli elementi mononuclidi è poco realistico che per ogni elemento esista un campione di sostanza costituito esclusivamente da atomi con lo stesso numero atomico. Con qualche piccola complicazione formale possiamo dare in termini logico-matematici una interpretazione di come si 'costruisce' l'insieme $\mathbf{E}_{ni}$. A questo scopo richiamiamo le logica mereologica che usa un predicato diadico che traduce la *forma linguistica* "y è una parte propria di x" nella *forma mereologica PP*yx; in mereologia x e y possono essere oggetti qualunque (il cassetto y è parte propria del mobile x), e quindi anche i nostri campioni di sostanza. Dalla usuale logica del primo ordine introduciamo il quantificatore universale ∀ (Per ogni ..), il quantificatore esistenziale ∋ (esiste almeno un), e due connettivi logici: la freccia → che indica il condizionale materiale e il segno ∧ che indica la congiunzione logica. Ciò premesso possiamo scrivere:

[8] Abbiamo vincolato le proprietà atomiche all'appartenenza ad un insieme ben definito nel numero delle proprietà atomiche che ne fanno parte (quelle conosciute al tempo t). Abbiamo fatto questa precisazione perché siamo stati messi in guardia dall'avversione di Willard Van Orman Quine alla quantificazione sulle proprietà, che il grande logico americano riteneva non ben definibili.

$$\forall x \forall P_i \{(P_i(x) \rightarrow (\exists (PP_{yx} = P_i(y)) \wedge y \in \mathbf{E}_{ni})\} \quad (4)$$

La (4) si legge: "***Per ogni*** campione x e ***per ogni*** proprietà P_i ***se*** il campione x gode della proprietà P_i ***allora esiste*** almeno ***una parte*** y del campione x che gode della proprietà P_i ***e*** appartiene all'insieme $\mathbf{E}_{ni}$. Vedremo più avanti l'utilità della (4).

Si è già detto che l'unico elemento scoperto da italiani è il tecnezio, ad opera del fisico Emilio Segrè e del chimico Carlo Perrier. Era l'anno 1937 e i due scienziati lavoravano a Palermo. Sulla scoperta del tecnezio e sul suo contesto scientifico possiamo fare affidamento ad un approfondito contributo di Roberto Zingales (Zingales 2005). La vicenda ebbe inizio nell'estate del 1936 quando Segrè su consiglio di Otto Stern si era recato in visita nel Radiation Laboratory di Berkeley, in particolare per osservare da vicino il ciclotrone costruito da Ernest Lawrence. Al momento il fisico americano era più interessato a perfezionare la sua macchina che a valutare i suoi esiti, anche se appena due anni dopo ebbe il premio Nobel per la fisica per il suo strumento e per i suoi risultati "specialmente riguardo agli elementi radioattivi artificiali"[9]. Come tutti i laboratori operativi, anche quello di Lawrence era ingombro di 'pezzi' fuori uso. Certi 'pezzi' del ciclotrone attirarono l'attenzione di Segrè: erano stati scartati perché danneggiati dai lunghi bombardamenti con deuteroni D^+, e fortemente radioattivi. Quando Segrè aveva lasciato il gruppo di Fermi aveva portato con sé da Roma un preciso programma di ricerca: l'ottenimento di nuclidi radioattivi a partire da campioni non radioattivi. Quindi gli scarti di Laurence erano promettenti oggetti di ricerca per il fisico italiano. Segrè ebbe il permesso di portare con sé qualche ritaglio di rame e ottone.

Tornato a Palermo, per procedere alla separazione delle sostanze radioattive presenti nei ritagli Segrè chiese l'aiuto del chimico Carlo Perrier. Il 6 gennaio 1937 la loro ricerca ebbe una svolta decisiva quando giunse per posta (!) una piccola lastra di molibdeno che era stata a lungo il bersaglio dei deuteroni all'interno della macchina di Lawrence. Dopo una serie di ragionamenti sulle possibili reazioni nucleari, Segrè decise che doveva essere presente l'elemento con numero atomico 43, ancora sconosciuto. Per l'indagine il punto teorico di partenza fu la collocazione dell'elemento ignoto nella casella n. 43 della tavola periodica. In questo modo si utilizzava una delle proprietà essenziali di ogni elemento (si veda il già citato lavoro di Ghibaudi *et al.* (2013)), e si aveva una guida sicura per articolare le tappe della separazione di un campione del nuovo elemento. La ricerca analitica fu condotta con grande perizia da Perrier, e la radioattività misurata ad ogni passo da Segrè. L'esito fu un campione, minuscolo ma sufficiente per argomentare con ragionamenti chimici che si trattava dell'elemento 43. Il 13 luglio 1937, sei mesi dopo aver ricevuto la lastra di molibdeno, i due scienziati inviarono a *Nature* una lettera intitolata "Radioactive Isotopes of Element 43", in cui descrivevano brevemente le caratteristiche chimiche dell'elemento 43. I due autori esitano a proclamare la scoperta di un nuovo elemento e scrivono: «Una indagine chimica della attività [radioattiva] dimostra che molto probabilmente l'attività è dovuta a isotopi di numero atomico 43 (masurio di I. e W. Noddack)» (Perrier e Segrè, 1937a). Il masurio era il nome della sostanza che nel 1925 era stata identificata erroneamente come l'elemento 43 da Walter Noddack ed Ida Tacke (che poi sposò Walter, diventando più nota come Ida Noddack). Perrier e Segrè avevano qualche buon motivo per la loro esitazione, perché era difficile confrontare i loro dati chimici con quelli fisici – pur esilissimi – avanzati dagli scienziati tedeschi. In ogni caso avevano già deciso di pubblicare *in extenso* i loro dati. Il 4 giugno Nicola Parravano, allora dominus della chimica italiana, leggeva all'Accademia dei Lincei un contributo di Perrier e Segrè intitolato "Alcune proprietà chimiche dell'elemento 43", successivamente pubblicato negli *Atti della Reale Accademia Nazionale dei Lincei* (Perrier e Segrè, 1937b). Nel settembre 1937 il *Journal of Chemical Physics* pubblicava una nota analoga a quella letta da Parravano e dedicata al pubblico scientifico internazionale (Perrier e Segrè, 1937c).

Intanto Segrè aveva ricevuto una lettera dal chimico ungherese Georg von Hevesy che metteva in dubbio che i due Noddack avessero veramente scoperto l'elemento 43. Ovviamente Segrè divenne più sospettoso sul lavoro dei Noddak e decise di verificare di persona la validità dei loro dati sperimentali. Nel settembre del 1937 Segrè, che era di ritorno dalla Conferenza che Niels Bohr teneva annualmente a Copenhagen, si fermò a Friburgo e visitò il laboratorio di Walter Noddack (Segrè 1993, p. 117). Il padrone di casa fu assai reticente e rispose in modo evasivo ad ogni domanda di Segrè; in particolare affermò che erano andate perdute le lastre che avrebbero rilevato la presenza di un picco riferibile ad un nucleo con 43 protoni. Si trattava dell'emissione di raggi X da campioni di columbite bombardati con elettroni, ed era il dato sperimentale più importante tra quelli ottenuti nel laboratorio di Noddack.

[9] URL: https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1939/summary/.

Solo nel marzo del 1939 Segrè poté vantare su *Nature* di avere un dato sperimentale fisico che dimostrava in modo ineccepibile la scoperta dell'elemento 43. Il dato sperimentale proveniva dagli spettri di emissione nelle frequenze dei raggi X dei campioni in esame, e così Segrè concludeva l'articolo: «Questa è la prima volta che è stata osservata direttamente la linea dei raggi X di un nuovo elemento, sintetizzato artificialmente» (Segrè 1939). A margine della citazione del testo di Segrè possiamo osservare che essa rispecchia a livello storico e fattuale quanto asserito a livello logico-matematico dalla (4).

Finalmente nel 1947, in una nota minuscola (Fig. 4), Perrier e Segrè si decisero a dare un nome all'elemento 43, e la loro scelta cadde su tecnezio, una parola che doveva ricordare in modo imperituro la scoperta del primo elemento artificiale. Secondo le regole usuali, dal nome dell'elemento i due scienziati italiani trassero il simbolo Tc (Perrier e Segrè, 1947).

Technetium: the Element of Atomic Number 43

IN 1937, Perrier and Segrè showed that radioactive isotopes of element 43 could be formed by neutron or deuteron bombardment of molybdenum[1]. Several chemical properties of element 43 were established at that time, and some nuclear properties of the spectral isotopes. These isotopes were found after nuclear bombardments by the 37-in. cyclotron of the Radiation Laboratory of the University of California.

Later on, Wu and Segre found also element 43 among the fission products of uranium, a source from which relatively large amounts of 43 can be isolated[2].

It seems appropriate now to give a name to this element, as suggested by Paneth[3]; and we would like to propose the name of 'technetium', from the Greek τεχνητος, artificial, in recognition of the fact that technetium is the first artificially made element. The corresponding chemical symbol should be 'Tc'.

C. PERRIER

University of Genoa, Italy.

E. SEGRÈ

University of California, Berkeley, California. Nov. 29.

[1] Perrier, C., and Segrè, E., *J. Chem. Phys.*, **5**, 712 (1937); **6** (1938).
[2] Segrè, E., and Wu, C. S., *Phys. Rev.*, **57**, 552 (1940).
[3] Paneth, F. A., p. 8 of this issue of *Nature*.

Fig. 4. Il testo integrale dell'atto di battesimo del tecnezio (Perrier & Segrè 1947).

2. Il contributo italiano al lessico chimico: una analisi semantica

I lessemi che gli scienziati italiani hanno contribuito al linguaggio chimico sono molto eterogenei fra di loro. È evidente quanto sia diversa la semantica dei termini |Elemento| e |Reattivo di Schiff|. La ricerca didattica – in particolare – ci ha fornito un metodo potente e flessibile per confrontare gli aspetti semantici dei termini in uso in vari campi della conoscenza. Ci riferiamo in particolare ai contributi di Karl Maton; il pensiero di Maton è in continua evoluzione, così nella presente comunicazione ci atterremo a quanto esposto in un recente contributo dal titolo "Onde semantiche: contesto, complessità e discorso accademico" (Maton 2020).

Il tipo di analisi semantica proposto da Maton è particolarmente efficace perché si avvale di una rappresentazione visiva identificando il 'piano semantico' con un piano cartesiano, su cui si posizionano i termini di interesse. La posizione dei termini è determinata mediante il valore (qualitativo) di due parametri semantici. Il primo parametro è denominato da Maton *semantic gravity* (SG):

«L'attrazione semantica (*semantic gravity*, SG) si riferisce al grado in cui il significato è in relazione con il suo contesto. Più forte è l'attrazione semantica (SG)+, più il significato dipende dal suo contesto; più debole è l'attrazione semantica (SG–) meno il significato dipende dal suo contesto» (Maton 2020).

Il secondo parametro utilizzato da Maton è la *semantic density* (SD), così definita:

«La densità semantica (SD) si riferisce al grado di condensazione di significato all'interno di pratiche [conoscitive]. Più forte è la densità semantica (SD+), più significati sono condensati nelle pratiche; più debole è la densità semantica (SD–), meno sono i significati condensati» (Maton 2020).

Il piano semantico (vuoto) è rappresentato in Fig. 5, dove si deve notare che l'andamento sull'asse verticale dei valori dell'attrazione semantica è contrario all'usuale convenzione. Infatti andando verso l'alto sull'asse delle ordinate, il valore dell'attrazione semantica diminuisce, invece di crescere. Maton ha affermato di aver fatto questa scelta a ragion veduta:

«SG– è posto in modo euristico in cima all'asse verticale (dove ci si sarebbe potuto aspettare un segno +) per riflettere

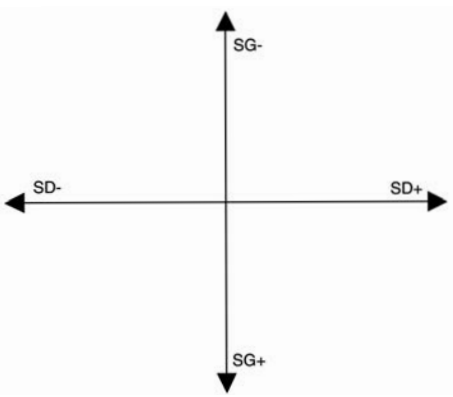

Fig. 5. Il piano semantico di Karl Maton.

la tendenza a raffigurarsi nozioni 'astratte' o 'decontestualizzate' come superiori di quelle 'concrete' o 'contestualizzate'. La collocazione non è un giudizio di valore» (Maton 2011).

L'utilità delle proposte di Maton si vede immediatamente quando mettiamo a confronto il linguaggio disciplinare con il linguaggio della quotidianità (Fig. 6).

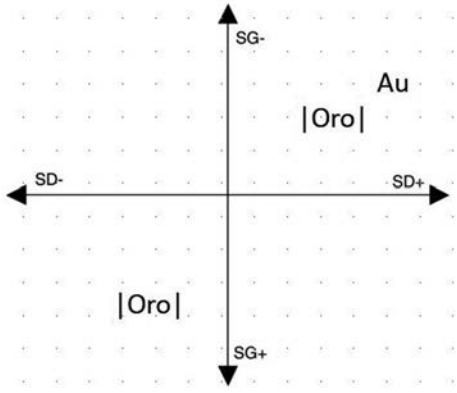

Fig. 6. Analisi semantica. Linguaggio disciplinare vs. Linguaggio della quotidianità.

La parola |Oro| ha diversa attrazione e densità semantica a seconda del tipo di comunicazione in cui è coinvolta. Nell'uso disciplinare, |Oro| è il nome di una sostanza e, come abbiamo visto, questo tipo di nomi ha un alto grado di astrazione e quindi di indipendenza dal contesto. |Oro| ha anche un'alta densità semantica, perché 'condensa' molti significati, cioè tutte le proprietà chimico-fisiche riferibili alla sostanza indicata con |Oro|, dalla malleabilità alla resistenza agli acidi e alle proprietà termodinamiche. Il simbolo Au accentua le caratteristiche semantiche di |Oro|. Intanto è il simbolo di un elemento, e abbiamo visto quanto sia astratto il concetto di elemento, ma possiamo 'vedere' quanto sia praticamente nulla l'attrazione semantica del simbolo Au quando fa parte della rappresentazione grafica di una sostanza.

Per rendere evidente la forte indipendenza dal contesto del significato del simbolo Au abbiamo scelto di collocarlo nel più disciplinare dei contesti del linguaggio chimico: la rappresentazione in formule e simboli del mondo atomico-molecolare. Abbiamo ripreso due contesti molecolari molto diversi (Fig. 7). In entrambe le formule, con il simbolo Au è indicata la presenza di un atomo dell'elemento oro; in Fig. 7, a sinistra, è rappresentata la struttura di un complesso antitumorale (Andrejevi *et al.*, 2020), a destra c'è l'usuale formula minima del cloruro aurico. Il contrasto fra la complessità dei due composti è evidente, come è chiara la permanenza del significato del simbolo Au.

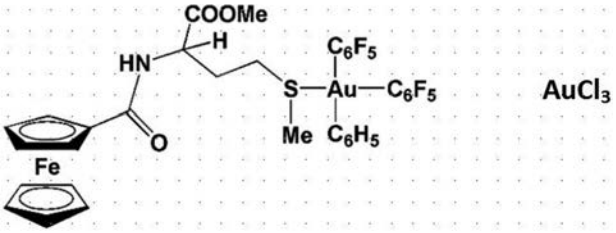

Fig. 7. Due 'contesti molecolari' per il simbolo Au (v. testo).

Tornando alla Fig. 6, nell'uso quotidiano il significato di |Oro| dipende molto dal contesto. I tratti semantici messi in gioco sono molto diversi quando si discute l'acquisto di un gioiello (valore commerciale, estetica, moda), rispetto a quando si parla di oro in termini economici (bene rifugio, quotazione di borsa). La bassa densità semantica nasce dalla 'povertà', nel parlare di ogni giorno, delle proprietà attribuite alla sostanza indicata con |Oro|, rispetto alla 'ricchezza' delle proprietà che un chimico sa attribuire alla stessa sostanza oro.

L'appartenenza ad un quadrante del campo semantico è stata interpretata da Maton secondo 'codici semantici' riferiti a ciascun quadrante. Un aspetto rilevante di questi codici è che sono applicabili sia a singoli termini (è in gran parte il nostro caso), sia ad interi curricula, scolastici o professionali. In Fig. 8 abbiamo posizionato nei quadranti i risultati della presente ricerca. I numeri tra parentesi indicano quanti lessemi sono stati inseriti nel linguaggio chimico da ricercatori italiani: il quadrante I è il più ricco di risultati, seguono il quadrante II e il quadrante III. Al quadrante I corrisponde il *codice teorico* (SG-, SD+); sotto questo codice ricadono termini il cui significato è indipendente dal contesto (SG-) ed è denso di tratti conoscitivi (SD+). In evidente opposizione con il codice teorico si pone il codice del quadrante III. (SG+, SD-) è il *codice pratico*, e i termini che appar-

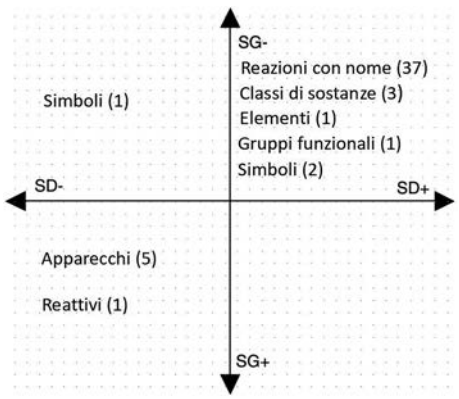

Fig. 8. Analisi semantica. Teoria vs. pratica.

tengono a questo codice dipendono molto dal contesto d'uso (SG+), ed hanno una debole densità semantica (SD-). Infine, le coordinate del quadrante II definiscono il codice (SG-, SD-), che Maton chiama *codice generico*. I termini che seguono il codice generico mantengono un certo livello di astrazione (SG-), ma hanno una scarsa densità semantica (SG-) – vedremo fra poco un caso rilevante. Si tenga anche conto che in Fig. 8 è indicata esclusivamente l'appartenenza ad uno specifico quadrante/codice semantico, senza alcuna intenzione di stabilire una gerarchia fra i termini che compaiono nei quadranti I e III.

La Fig 8 è ricca di informazioni che almeno in parte vanno esplicitate. Il carattere teorico dei campi semantici presenti nel quadrante I è già stato discusso, ma la prensenza del campo semantico dei simboli può diventare discutibile quando si vede che lo stesso campo semantico compare anche nel quadrante II. La spiegazione della duplice assegnazione di codice è data in Fig. 9, dove sono presenti i segni corrispondenti ai simboli.

I tre simboli introdotti da scienziati italiani sono differenziati sia nell'attrazione semantica (SG) sia nella densità semantica (SD). Il simbolo Tc mantiene *un solo significato* in tutti i contesti chimici, e quindi ha la minima attrazione semantica; come sappiamo, Tc ha una grande densità semantica (SD+). Anche il simbolo -R mantiene un solo significato in tutti i contesti chimici, e quindi ha una densità semantica (SD-) minima (la sua definizione); di qui la collocazione nel quadrante II. La collocazione del simbolo -OH dipende dal fatto che ha tre significati distinti, dipendenti dal contesto molecolare, e quindi una attrazione semantica maggiore degli altri due simboli; possiede comunque una valida densità semantica.

Riferiamoci ancora alla Fig. 8, dove anche la collocazione nel quadrante III dei campi semantici 'apparecchi' e 'reattivi' richiede qualche spiegazione. Gli apparecchi

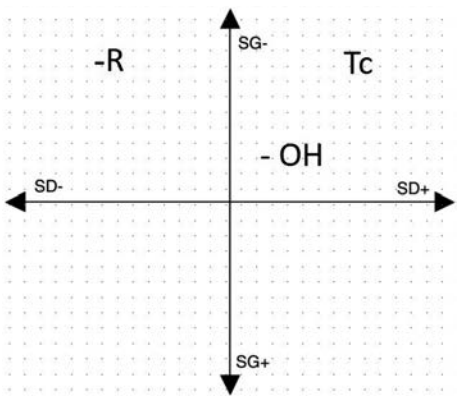

Fig. 9. Simboli e densità semantica.

sono oggetti materiali, e si può persino discutere se esista una *semantica degli oggetti* che ci circondano. In realtà si può essere certi che tutti noi usiamo un approccio semantico agli oggetti. Basta pensare ad una poltrona Luigi Filippo collocata in cucina, accanto ai fornelli … diremmo subito: "È fuori posto!".[10] È perciò lecito collocare il campo semantico degli oggetti materiali sul piano di Matton. La giustificazione per la collocazione nel quadrante III del campo semantico dei reattivi è immediata; le sostanze che si usano in un laboratorio chimico sono veri e propri strumenti che ci permettono di agire sul mondo sub-microscopico a partire dal mondo macroscopico a cui apparteniamo (Cerruti 1998).

Prima delle conclusioni, dobbiamo mettere in evidenza che la Fig. 8 e i relativi codici forniscono il risultato più importante della nostra analisi semantica: la prevalenza dei contributi italiani nel primo quadrante rispetto al terzo quadrante indica che *la maggioranza dei contributi ha un rilevante significato teorico*.

3. Riflessioni conclusive

La presente ricerca può essere intesa come una 'visita guidata' all'interno della storia del linguaggio chimico. L'articolazione del linguaggio chimico è estrema. La Fig. 2 ci ricorda che il linguaggio della chimica opera sempre a tre livelli ontologicamente distinti: il macroscopico, il sub-microscopico e il simbolico. È quindi impraticabile qualsiasi progetto di narrare la storia del linguaggio chimico, meglio seguire una singola traccia. Nel caso del presente contributo, la traccia proposta dall'Accademia dei XL ha portato a qualche risultato interessante, sia a proposito della natura del linguaggio chimico, sia a proposito della comunità dei chimici italiani. In realtà, sul linguaggio chimico l'esito più evidente non è stato inaspettato: il linguaggio della chimica è molto astratto e ricco di aspetti prettamente teorici. Questi aspetti astratti e teorici si devono ritenere inevitabili per una scienza che descrive e trasforma qualcosa che non si vede. Ma nelle sezioni precedenti l'astrattezza è stata convalidata con un metodo innovativo, quando è stata eseguita una analisi logico-matematica del significato dei lemmi |Sostanza| e |Elemento|. Una conferma più ampia si è avuta con l'analisi semantica condotta con il metodo proposto da Karl Matton. In effetti, l'astrattezza del linguaggio

[10] Putroppo esiste una malattia neuro-fisiologica che impedisce al malato di riconoscere gli oggetti , come tali e/o nel loro uso. La malattia è nota come 'agnosia'; fu individuata da Sigmund Freud nel 1891 (URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Agnosie).

chimico è condivisa dalle altre discipline scientifiche. Come buona parte dei chimici, anche i praticanti di tutte le discipline (di solito) si 'accorgono' dell'astrattezza del loro linguaggio professionale quando iniziano ad interessarsi di didattica.

Per quanto riguarda la comunità dei chimici italiani, va notato che quasi tutti i contributi italiani al linguaggio della chimica provengono da chimici organici. L'eccezione più netta è quella della scoperta del tecnezio, dovuta da un fisico nucleare e a un chimico analitico. Un altro caso importante è quello della scoperta dei polimeri isotattici: essi, in effetti, risultarono dalla collaborazione fra un chimico fisico straordinario come Giulio Natta ed un eccellente chimico organico come Piero Pino. Questo aspetto di avanguardia in Italia della chimica organica sembra confermato dal fatto che anche recentemente *name reactions* italiane si sono affermate in ambito internazionale.

Un'ultima osservazione riguarda il contributo italiano agli 'apparecchi con nome'. In un confronto internazionale, condotto per gli anni 1850-1920 sui cataloghi delle maggiori case produttrici, l'apporto dei chimici italiani agli apparecchi di laboratorio appare esiguo. E d'altra parte negli ultimi decenni dell'Ottocento la comunità dei chimici italiani era veramente esigua. Nel Novecento la produzione industriale degli apparecchi di laboratorio e della strumentazione chimico-fisica erose man mano la necessità di innovazioni *intra moenia*, con la relativa scomparsa di 'apparecchi' con nome.

BIBLIOGRAFIA

Andrejevi T., Gliši B. & Djuran M. (2020) Amino acids and peptides as versatile ligands in the synthesis of antiproliferative gold complexes. *Chemistry* **2**: 203-218.

Butlerov A.M. (1861) Einiges über die chemische Structur der Körper. *Zeitschrift für Chemie und Pharmacie* **4**: 549-560.

Cannizzaro S. (1853) Ueber den der Benzoësäure entsprechenden Alkohol. *Annalen der Chemie und Pharmacie* **88**: 129-130.

Cannizzaro S. (1855) Sull'alcole benzoico. *Il Nuovo Cimento* **1**: 84-99.

Cannizzaro S. (1865) Intorno agli alcaloidi derivati dall'alcool benzilico. *Giornale di scienze naturali ed economiche* **1**: 77-91.

Carnap R. (1958) *Introduction to Symbolic Logic and its Application*. New York, Dover.

Cerruti L. (1992) Le parole / preferiscono il sonno. Analisi linguistica e pratica storiografica. *Rendiconti Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. Memorie di Scienze Fisiche e Naturali*, (Ser. V) **16**: 333-360.

Cerruti L. (1998) Chemicals as instruments. A language game. *HYLE-International Journal for Philosophy of Chemistry* **4**: 39-61.

Cerruti L. & Ieluzzi G. (2011) Il giovane Cannizzaro e l'istruzione tecnica, 1851-1860. *Rendiconti Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. Memorie di Scienze Fisiche e Naturali*, (Ser. V), **35**, Parte II, T. II: 109-121.

Chevallier A. (1857) Chalumeau à jet continu, par M. S. de Luca. *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale* **56**: 80-81.

Drahl C. (2010) In names, history and legacy. *Chemical & Engineering News*, 88 (n. 20): 31-33.

Ghibaudi E., Regis A. & Roletto E. (2013) What do chemists mean when they talk about elements? *Journal of Chemical Education* **90**: 1626-1631.

Ghibaudi E. & Cerruti L. (2017) Chemical substance, material, product, goods, waste: a changing ontology. *Foundations of Chemistry* **19**: 97-123.

Ghibaudi E. & Cerruti L., *in progress. The Theoretical Status of Name Reactions*.

Ghibaudi E., Cerruti L. & Villani G. (2020) Structure, shape, topology: entangled concepts in molecular chemistry. *Foundations of Chemistry* **22**: 279-307.

Hassner A. & Namboothiri I. (2012) *Organic Syntheses Based on Name Reactions. A Practical Guide to 750 Transformations*. Amsterdam, Elsevier.

Jaenicke L. (2007) Hugo (Ugo) Josef Schiff - Teil 1. *BIOspecktrum* **13**: 578-580.

Jensen W.B. (2010) Why is R used for hydrocarbon substituents? *Journal of Chemical Education* **87**: 360-361.

Kürti L. & Czakó B. (2005) *Strategic Applications of Named Reactions in Organic Synthesis*. Burlington, MA, Elsevier.

Li J.J. (2009) *Name Reactions. A Collection of Detailed Mechanisms and Synthetic Applications*. Berlin, Springer.

Maton K. (2011) Theories and things: The semantics of disciplinarity, in Christie F. & Maton, K. (eds.), *Disciplinarity: Functional linguistic and sociological perspectives*. London, Continuum, pp. 62-84.

Maton K. (2020), Semantic waves: Context, complexity and academic discourse, in Martin J.R., Maton K., & Doran, Y.J. (eds.) *Accessing Academic Discourse: Systemic functional linguistics and Legitimation Code Theory*. London, Routledge, pp. 59-85.

Meyer L. (1884) *Die modernen Theorien der Chemie und ihre Bedeutung für die chemische Mechanik*. Breslau, Maruschke & Berendt.

Minister of Justice (2020) *Canadian Environmental Protection Act*, *1999*, Current to September 9, 2020, p. 6. URL: http://laws-lois.justice.gc.ca.

Natta G. (1955) Una nuova classe di polimeri di alfa-olefine aventi eccezionale regolarità di struttura. *Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Memorie*, (Ser. 8) **4**: 61-71.

Needham P. (2012) Modality, mereology and substance, *in* Woody A., Hendry R. & Needham P. (eds.) *Philosophy of Chemistry*. Oxford, North Holland, pp. 230-246.

Papeo G. & Pulici M. (2013) Italian chemists' contributions to named reactions in organic synthesis: An historical perspective. *Molecules* **18**: 10870-10900.

Peirce C. (1931-1935; 1958) *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, voll. 1-6 (1931-1935), voll. 7-8 (1958). Cambridge, MA, Harvard University Press.

Perrier C. & Segrè E. (1937a) Radioactive isotopes of element 43. *Nature* **140**: 193-194.

Perrier C. & Segrè E. (1937b) Alcune proprietà chimiche dell'elemento 43. *Atti della Reale Accademia Nazionale dei Lincei*, Serie VI, pp. 723-730.

Perrier C. & Segrè E. (1937c) Some chemical properties of element 43. *Journal of Chemical Physics* **5**: 712-716.

Perrier C. & Segrè E. (1947) Technetium: The element of atomic number 43. *Nature* **159**: 24.

Rees S., Kind V. & Newton D. (2018) Meeting the challenge of chemical language Barriers in university level chemistry education. *Israel Journal of Chemistry* **58**: 1-9.

Schiff H. (1866a) Eine neue Reihe organischer Diaminen. Zweite Abteilung. *Justus Liebigs Annalen der Chemie* **140**: 92-137.

Schiff U. (1866b) Sopra una nova serie di basi organiche. *Giornale di scienze naturali ed economiche* **2**: 201-257.

Segrè E. (1939) Radioactive isotopes of element 43. *Nature* **140**: 193-194.

Segrè E. (1993) *A Mind Always in Motion: The Autobiography of Emilio Segre*. Berkeley, University of California Press.

Trifirò F. (2014) Le più recenti sintesi organiche con nome di un italiano. *La Chimica e l'Industria* **96** (2): 4-5.

Zingales R. (2005) Chemists and physicists searching for element 43, in Cerruti Luigi, Turco Francesca (a cura di), *Atti del XI Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica*. Roma, Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL: 515-530.

Zingales R. (2013) Stanislao Cannizzaro: vita e opere nel contesto palermitano, *in Annuario 2012-2013, Atti dei Seminari I.T.G. "Filippo Parlatore", 150 anni di Attività tra passato e futuro 1862-2012*. Palermo, Istituto Tecnico Statale per Geometri "Filippo Parlatore" di Palermo: 71-80.