

## Il futuro della chimica

Pietro Greco

*È vero che la scienza chimica non è stata mai omologa dell'industria chimica. Ma è anche vero che, nel riaffermare la loro autonomia, i chimici non possono perdere di vista le ricadute della loro attività nel sistema produttivo. La sfida fu lanciata nel 1912 da Ciamician: «Fare come le piante». Da allora, l'idea di un'industria chimica sostenibile per l'uomo e per l'ambiente ha fatto molti passi avanti*

Nel 1963, cinquant'anni fa, il premio Nobel per la Chimica venne assegnato all'italiano Giulio Natta, oltre che allo svizzero Karl Ziegler, per aver scoperto i catalizzatori che consentono la sintesi del polipropilene isotattico, aver contribuito in maniera significativa a portare avanti la «rivoluzione della plastica» e aver dato una nuova dimostrazione delle capacità d'innovazione della chimica.

A distanza di mezzo secolo dal trionfo di Natta possiamo (dobbiamo) porci due domande. Una, per così dire, locale: perché nessun altro italiano in tutto questo tempo ha vinto un Nobel per la Chimica? Un'altra del tutto generale: la chimica conserva la sua capacità di innovazione, ovvero di produrre nuove idee e nuovi oggetti? Torneremo un'altra volta sulla prima domanda. Ricordiamo solo che, per singolare coincidenza, Giulio Natta vince il Nobel proprio quando l'Italia «sceglie» (si veda il libro di Marco Pivato, *Il miracolo scippato*) di perseguire un «modello di sviluppo senza ricerca». Il suo è un canto del cigno della capacità d'innovare del nostro paese. Cerchiamo invece di rispondere alla seconda domanda. La scienza chimica è ancora in grado di produrre novità effettive, sia dal punto di vista concettuale che sostanziale? O, detta in altro modo, la chimica ha ancora un futuro? La chimica è, certamente, una scienza matura. Alcuni sostengono che sia anche una scienza finita. Che ha ancora ben poco da scoprire. Ed è destinata a «sciogliersi» in altre discipline. Ai chimici, dunque, non resterebbe che vivere perennemente in una condizione che lo storico Thomas S. Kuhn definiva, proprio l'anno prima che Natta vincessesse il Nobel, di «scienza normale» e limitarsi ad applicare nei più vasti campi possibili le conoscenze di fondo già acquisite. Non

sarebbe previsto alcun «cambio di paradigma» kuhniano in chimica. Potremmo, dunque, intitolare questo articolo *la fine della chimica*. Qualcuno, però, potrebbe ricordarci le ultime parole famose del fisico inglese William Thomson, noto anche come Lord Kelvin, che in prossimità dell'anno 1900 annunciava soddisfatto la fine della fisica. Nulla più di importante c'è da scoprire. Solo un paio di dettagli sfuggono alla totale comprensione di noi fisici: la strana orbita intorno al Sole del pianeta Mercurio e la radiazione di corpo nero. Passano pochi anni e quei due dettagli si rivelano altrettanti cavalli di Troia per due rivoluzioni – quella della relatività e quella della quantistica – che generano una «nuova fisica».

Non è affatto improbabile, dunque – come ha scritto John W. Moore, direttore sia del *Journal of Chemical Education* sia dell'*Institute for Chemical Education* presso la *University of Wisconsin*, ove è anche W. T. Lippincott *Professor of Chemistry* – che il futuro ci riservi «nuova chimica». Anche se oggi è difficile individuare, ammesso che ci siano, quei minuscoli dettagli attraverso cui potrebbe passare la rivoluzione che rimodellerà la chimica. Quello che possiamo fare in questa sede è indicare alcuni dei settori di punta o, come dicono gli inglesi, gli *challenging problems*, i problemi che più sfidano i chimici. E, quindi, discutere i mutamenti concettuali – o, persino epistemologici – che possono portare i chimici a indossare nuovi occhiali per vedere il mondo.

### LE TRE SFIDE DI GIACOMO CIAMICIAN

Prima di noi, e in maniera infinitamente più autorevole, un altro chimico italiano



ha discusso il problema del “futuro della chimica”. È stato il triestino Giacomo Ciamician chiamato, l'11 settembre 1912, a tenere una relazione sull'argomento nell'assemblea plenaria dell'VIII Congresso Internazionale di Chimica Applicata.

Il “*challenging problem*” indicato da Giacomo Ciamician ai chimici di tutto il mondo fu: dobbiamo imparare a “fare come le piante”. Il chimico bolognese lanciò così una sfida che, con gli occhi di oggi, ha tre aspetti che non sono stati risolti e che devono essere affrontati. Il primo aspetto è la creazione di aggregati molecolari che – come la clorofilla – sono di notevoli dimensioni, facilmente deformabili, elastici, flessibili e assolvono a una funzione precisa anche in un ambiente non completamente controllato. Insomma, si tratta di creare grandi molecole analoghe a quelle esistenti nel mondo biologico. Questa sfida è stata accolta dai chi-

**Natta vince il premio Nobel proprio quando l'Italia sceglie di perseguire un “modello di sviluppo senza ricerca”**

mici una trentina di anni fa e ha dato luogo alla nascita di una nuova disciplina, la chimica supramolecolare, che ancora oggi è sulla cresta dell'onda. La seconda sfida lanciata da Ciamician è quella di mettere a punto “macchine molecolari” in grado di trasformare l'energia luminosa in energia biochimica o, addirittura, direttamente in energia elettrica. Oggi può essere considerato il più grande obiettivo della fotosintesi organica. Quello che impegnerà molti chimici negli anni a venire. La terza sfida implicita nella proposta dello scienziato italiano è di realizzare una chimica che aiuti l'uomo e la sua economia a diminuire l'impatto sull'ambiente, per esempio mettendo a disposizione una fonte rinnovabile di energia.

Oggi – come *Micron* ha già avuto modo di rilevare – molti indicano nella “*green chemistry*”, la chimica verde, uno dei grandi, se non il più grande, settore di sviluppo della chimica. Non c'è dubbio, in definitiva, che per la chimica del futuro sarà ampiamente modellata dalle tre sfide lanciate con straordinaria preveggenza da Giacomo Ciamician esattamente un secolo fa. Naturalmente la chimica ha anche altri obiettivi. Molti gruppi, per esempio, sono impe-

gnati nel campo di nuove sintesi inorganiche e organiche. Dopo la scoperta del fullerene, nel 1985, da parte di Harold Kroto e Richard Smalley non solo di una nuova molecola ( $C_{60}$ , dalla caratteristica forma a “pallone di calcio”), ma di un nuovo stato allotropico del carbonio, molti chimici hanno indirizzato i loro studi verso la scoperta di nuovi fullereni: sono state identificate molecole stabili di  $C_{70}$ ,  $C_{76}$ ,  $C_{78}$  e  $C_{84}$ , oltre che di strutture più ramificate e di nanotubi. Ora molti sono alla ricerca di “fullereni giganti”, composti sferoidali costituiti da 240, 540, 1500 e persino 2160 atomi di carbonio. Ma anche lo gli strati monoatomici di carbonio – chiamati grafene – hanno suscitato di recente notevole interesse e sono oggetto di progetti di ricerca miliardari. In definitiva: fullereni, nanotubi, fullereni giganti e grafene hanno caratteristiche chimiche e fisiche molto particolari, tanto da dare lavoro sia ai chimici teorici che ai chimici industriali. Molto promettente sembra essere anche la cosiddetta “chimica combinatoria”, che potremmo definire un metodo utilizzato sia negli studi di base sia nei laboratori di chimica applicata per ridurre i tempi e i costi nella sintesi e nella produzione di nuove molecole soprattutto in campo farmaceutico, agrochimico e biotecnologico. In pratica il chimico combinatorio, grazie a tecniche automatiche e di miniaturizzazione, oltre che attraverso la simulazione al computer, cerca di creare grandi popolazioni o, se si vuole, intere biblioteche di molecole diverse (*libraries*, in inglese) che possano essere studiate “in massa”. L’obiettivo è di trovare più facilmente, attraverso lo studio statistico ma non del tutto casuale, sostanze



**Oggi non basta più una “semplice cultura chimica”, i chimici devono assumere una “cultura interdisciplinare”**

e composti di interesse terapeutico e commerciale. Non ha smesso di suscitare interesse la chimica di Natta, quella dei polimeri.

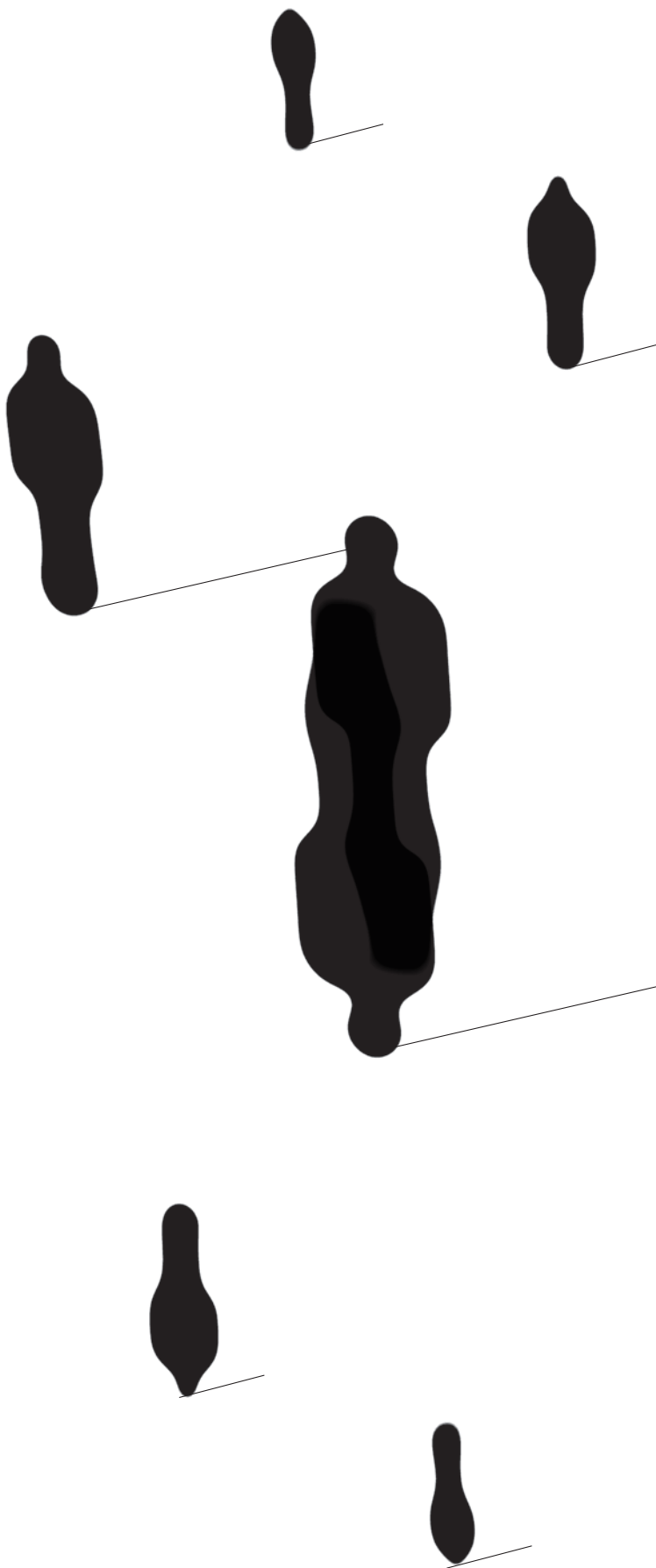
Oggi l’obiettivo è di trovare “materiali intelligenti”, in grado di modificare le proprie caratteristiche

al mutare delle condizioni ambientali. In notevole sviluppo è la nanochimica, ovvero quella parte delle nanoscienze e delle nanotecnologie, che si occupa di sintesi e di analisi alle dimensioni nano. Per cambiare completamente ambito, molti sono impegnati nell’astrochimica: la chimica delle sostanze presenti nello spazio fuori dall’atmosfera terrestre. Un tipo di ricerca che si salda con quello, antico ma non risolto, sull’origine della vita. Ancora, è un settore che suscita notevole interesse lo sviluppo delle capacità di analisi delle sostanze in tracce. E, naturalmente, continuerà a dominare il futuro dei chimici il grande comparto della chimica biologica.

## UNA NUOVA CULTURA CHIMICA

Ma, più che analizzare in dettaglio i campi promettenti della chimica, conviene passare brevemente in rassegna le nuove richieste che vengono rivolte alla chimica e i nuovi approcci di cui hanno bisogno i chimici per rispondere. In altri termini, conviene delineare i contorni della nuova cultura chimica necessaria per affrontare i problemi del XXI secolo.

Ora, come rileva il chimico giapponese Nryoji Noyori dell’Università di Nagoya, la chimica storicamente ha studiato sia le strutture che le caratteristiche delle sostanze a livello atomico e molecolare (problema su cui torneremo), con lo scopo di creare nuovi composti con proprietà e funzioni desiderabili. Oggi in ciascun settore – da quello nano a quello bio fino a quello astro – non basta più una “semplice cultura chimica”, ma occorre mettere insieme e ibridare diverse culture. In altri termini i chimici (ma anche altri scienziati) devono assumere sempre più una “cultura interdisciplinare”. Facile a dirsi, difficile a realizzarsi. L’interdisciplinarità è la grande sfida che il futuro lancia non solo alla chimica, ma a tutte le scienze. Già, l’interdisciplinarità. Ma per risolvere, in linea prioritaria, quali problemi? George M. Whitesides e John Deutch non hanno dubbi: i chimici devono porsi nella prospettiva di risolvere i “problemi che interessano i cittadini (e per cui i contribuenti pagano)”. Questi problemi «sono troppo complessi



per essere risolti da un insieme di diverse discipline conservative». Anche per i due americani, dunque, la strada è quella della rifondazione disciplinare. Occorre assumere la cultura della “complessità dei fenomeni” che interessano i cittadini. E non bisogna temere che la soluzione di “problemi pratici” determini una volgarizzazione della chimica. Al contrario, sostengono Whitesides e Deutch, la storia dimostra che molte scoperte fondamentali – anche nel settore in cui ha trionfato Natta, quello dei catalizzatori o dei polimeri – sono state realizzate nel tentativo di risolvere problemi pratici. Che in genere sono problemi più intriganti di quelli che si pongono i chimici accademici, guidati come sono più che da un’indomabile curiosità da un sistema conservativo di *peer-review*. La provocazione dei due chimici americani è intelligente, anche se, probabilmente, non deve essere presa alla lettera.

La storia dimostra sì che la chimica si è sviluppata anche per rispondere a problemi pratici. Ma non solo per rispondere a problemi pratici. La curiosità senza finalità immediate resta un *driver* molto potente della scienza e anche della chimica.

Anche perché tra i “problemi pratici” da risolvere possiamo includere lo studio della vita come rete di reazioni (e di relazioni) chimiche. Questa rete si estende soprattutto nel mezzo acquoso. E l’acqua è tra i composti chimici più interessanti che si conoscano. Questo tipo di studi, che richiede un approccio interdisciplinare, interessa sia il chimico mosso da curiosità sia il chimico spinto dalla necessità di risolvere “problemi pratici”. Altrettanto si può dire per

**Non bisogna temere che la soluzione di “problemi pratici” determini una volgarizzazione della chimica**

il contributo della chimica alla comprensione delle basi molecolari delle malattie; alla gestione globale delle risorse naturali; alla produzione, stoccaggio e conservazione dell’energia (solare e non); alla gestione dell’acqua potabile; allo studio, alla preven-

zione e all'adattamento ai cambiamenti del clima. Quello che tuttavia va colto nella provocazione di George M. Whitesides e John Deutch è l'invito a "ripensare" la chimica e il lavoro dei chimici. Un po' come fece Robert Boyle quando, nel 1661, pubblicò *The Sceptical Chymist* e accelerò la transizione dalla chimica aristotelica e dall'alchimia alla chimica moderna.

### **C'E' BISOGNO DI CREARE LA "FILOSOFIA CHIMICA"**

Il rapporto tra scienza e tecnologia è strutturale. Non c'è scienza senza tecnologia. E, ormai, non c'è innovazione tecnologica sistematica senza conoscenza scientifica profonda. Tuttavia questo rapporto inestricabile non deve avere un dominatore assoluto. La scienza può farsi guidare dall'esigenza di risolvere "problemi pratici", ma non deve essere e non deve sentirsi subalterna alla tecnologia fino al punto da negare a se stessa ogni altro valore se non quello di generatrice di tecnologia. Ciò vale anche per la chimica. Anzi, soprattutto per la chimica.

Il discorso si va facendo filosofico. E vedo già molti chimici scappare. Ma questo è uno dei punti fondamentali in questione. Per troppo tempo è mancata – e per troppo tempo questa condizione è stata accettata dai chimici come naturale – una "filosofia chimica". Mentre al contrario esistono da tempo una filosofia della fisica o una filosofia della biologia. Una filosofia della matematica (fra poco cercheremo di spiegare perché mettiamo la matematica a parte, rispetto alla fisica e alla biologia). Gli storici delle idee scientifiche ci dicono che in passato i chimici hanno cercato di definirla, una dimensione filosofica propria della loro disciplina. Nel Seicento, per esempio, esisteva una vera e propria "filosofia chimica" distinta e per certi versi contrapposta alla "filosofia fisica". Jan Baptist van Helmont o Robert Fludd pensavano, come Galileo, che il grande libro della natura è scritto in un linguaggio attingibile alla ragione. Ma pensavano che la lingua universale non fosse quella matematica proposta da Galileo, ma fosse appunto

la lingua della chimica. L'affermazione della visione meccanicistica del mondo – cui Robert Boyle ha fornito un notevole contributo – ha attenuato la ricerca di una autonoma filosofia chimica. Ricerca che sembra quasi terminare quando, poi, nel XX secolo viene elaborata la meccanica quantistica e molti iniziano a considerare la chimica, per dirla con il fisico Paul Dirac, "fisica quantistica applicata". Ovviamente oggi non è possibile in alcun modo pensare i fondamenti della chimica al di fuori del quadro quantistico. Tuttavia – come sostengono in molti, anche non chimici, per esempio il filosofo Karl Popper o il biologo Jacques Monod – non è possibile ridurre la chimica alla fisica.

La chimica, proprio come la biologia, ha una dimensione propria. Con uno statuto epistemologico autonomo (ma non separato) rispetto alla fisica. Solo che mentre alcuni biologi – si pensi a Ernst Mayr – si sono impegnati (riuscendoci) nella ricerca di una filosofia autonoma della biologia, non altrettanto è avvenuto in ambito chimico. In tempi recenti i chimici non hanno cercato – non abbastanza, almeno – di definire una filosofia autonoma del proprio ambito di studi. Tutto ciò ha avuto conseguenze pratiche. Una di queste è che nuove frontiere di ricerca a cavallo tra le discipline vengono ormai attribuite alla fisica (si pensi alle nanoscienze) o alla biologia (si pensi alla biologia molecolare), mentre i fondamenti sono tipicamente chimici. Non è solo un problema di terminologia o di equilibrio tra poteri accademici. È anche una questione di contenuto. Capita che nell'ambito degli studi di nanoscienze o di biologia molecolare l'approccio dei chimici, pur essendo talvolta più penetrante, sia trascurato o non abbastanza valorizzato.

Sia detto per inciso, una delle conseguenze della mancata ricerca di una propria forte identità epistemica ha favorito il processo di sovrapposizione di immagine tra industria chimica e scienza chimica. Spesso, anche tra gli stessi chimici. Inoltre non ha favorito la capacità della comunità chimica di dialogare con il grande pubblico. Una capacità decisamente inferiore a quella di fisici, biologi e matematici. Un esempio:

il bisogno di riscattare l'immagine della fisica nucleare dopo Hiroshima e la corsa al riarmo atomico ha portato un fisico, Frank Oppenheimer, a realizzare l'*Exploratorium* di San Francisco e a inaugurare la fe-



**Secondo Paul Anastas, la chimica deve diventare più efficace, più efficiente, più elegante**

lice stagione della comunicazione della scienza, quella degli *science centres*, i musei di nuova generazione in cui è “vietato non toccare”. Non è un caso che in Italia siano stati dei fisici – Paolo Budinich a Trieste, Vittorio Silvestrini a Napoli – a creare *science centres*. Analoghe esperienze sono state fatte dai matematici e, più di recente, dai biologici. Quasi mai da chimici. Si dirà: la comunità chimica non ha cercato di elaborare con forza una propria autonoma filosofia perché la chimica ha una dimensione culturale diversa dalla fisica e dalla biologia, i cui ambiti sono più chiaramente definiti. Molti chimici sostengono – il compianto Alfonso Maria Liquori, per esempio – che la chimica somiglia più alla matematica che alla fisica e alla biologia. È una scienza trans, uno strumento utile in ogni ambito di studio della natura. È dunque – come la matematica – serva e nel medesimo tempo padrona di tutte le scienze naturali.

Tuttavia proprio questa somiglianza con la matematica rafforza i precedenti argomenti e consente di superare la contraddizione, solo apparente, tra la necessità di soddisfare una domanda di interdisciplinarietà e quella di affermare una propria autonoma identità, un proprio modo di vedere il mondo naturale. I matematici – rappresentanti di una scienza “trans” – hanno coltivato con forza e profondità di pensiero la ricerca di una “filosofia matematica”. Questo ha consentito alla matematica sia di conservare uno statuto epistemologico proprio sia di affermare un'immagine forte e solida della “scienza dei numeri” presso il grande pubblico dei non esperti. Basta dare uno sguardo agli scaffali dei libri di divulgazione della scienza in una qualsiasi libreria per verificare che la



matematica è presente almeno quanto la fisica e la biologia, al contrario della chimica, che occupa spazi decisamente inferiori.

Questa scarsa propensione filosofica dei chimici nel corso del XX secolo – o, detta in altro modo, la scarsa capacità dei chimici del XX secolo di proporre una “lettura del mondo con gli occhiali della chimica” – sembra volgere al termine. Sta, infatti, aumentando la capacità dei chimici di elaborare una propria matura filosofia della natura. Un esempio per tutti, tra quelli che hanno avuto un impatto presso il grande pubblico. Il premio Nobel per la Chimica Paul Crutzen ha proposto dieci anni fa il termine e il concetto di “antropocene”. La proposta ha avuto successo. Il concetto e anche il termine sono diventati cultura diffusa. Elaborando la sua proposta, Paul Crutzen non ha solo fornito un quadro teorico solido per spiegare come l’uomo sia diventato un attore ecologico globale, capace di interferire nei grandi sistemi biogeochimici globali, come il clima. Ma ha anche dato una chiara dimostrazione di quanto profonda possa essere la visione chimica del mondo non in contrapposizione, ma in sinergia con la visione fisica e/o biologica e/o matematica. Ecco, dunque, un mandato per i chimici del futuro (prossimo): approfondire il tema della loro autonomia, anche epistemologica, della loro disciplina. Leggere il mondo con gli occhiali della chimica. Ci sono, disponibili, diverse lenti. Tra le prime c’è quella delle molecole. Se è vero, infatti, che alla base di tutti i processi chimici c’è la fisica quantistica, è anche vero che le principali unità di riferimento della chimica, le molecole, presentano “emergenze” che non possono essere interamente spiegate in termini quantistici. Possiamo leggere il mondo, in particolare il mondo biologico, come una rete di reazioni e di relazioni tra molecole? Un altro insieme di lenti è quello relativo al ruolo della chimica nello “spazio delle scienze”.

La chimica non deve essere più considerata come il cuscinetto tra la fisica e la biologia. Ma deve essere considerata un po’ come la matematica: scienza trans, dunque serve e padrona di tutte le scienze. Uno strumento utile e spesso indispensabile in ogni

ambito dello studio della natura. Un insieme di ponti ciascuno dei quali consente di connettere la dimensione non biologica, la dimensione biologica e anche la dimensione cognitiva del mondo.

Un terzo paio di occhiali è quello che riguarda il rapporto tra la chimica (tra la visione chimica del mondo) e la società. Forti di una loro “filosofia della natura”, i chimici non devono perdere i loro contatti con il sistema produttivo. Ma, al contrario, devono assumere un ruolo di guida e porsi sempre più il problema di cambiarlo. Mettendo a punto, tra l’altro, prodotti e processi che mirino a realizzare il bene generale dell’intera umanità e non solo il bene locale dell’industria. In fondo quella che propone Paul Anastas, una chimica «più efficace, più efficiente e più elegante» è, semplicemente, una chimica più avanzata.