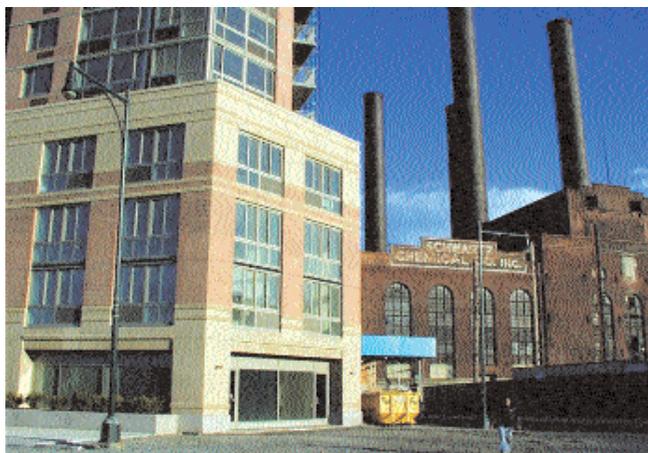


Sergio Carrà
Dipartimento di Chimica, Materiali
e Ingegneria Chimica "G. Natta"
Politecnico di Milano
sergio.carra@polimi.it

IL CONTRIBUTO DELLA CHIMICA ALLO SVILUPPO SCIENTIFICO E AL PROGRESSO



La chimica moderna, affermatasi come scienza nuova nel XIX secolo, sia pure fruendo dell'eredità di esperienze precedentemente maturate, ha contribuito in modo significativo allo sviluppo industriale che ha avuto luogo nell'Ottocento.

I fertilizzanti, gli antiparassitari e i farmaci sintetici hanno avuto un ruolo determinante nel miglioramento del benessere e quindi nello sviluppo della popolazione mondiale. L'influenza della diffusione di nuove sostanze sull'ambiente pone attualmente una sfida, intesa controllare evoluzioni indesiderate, alla quale la chimica contemporanea non può sottrarsi.

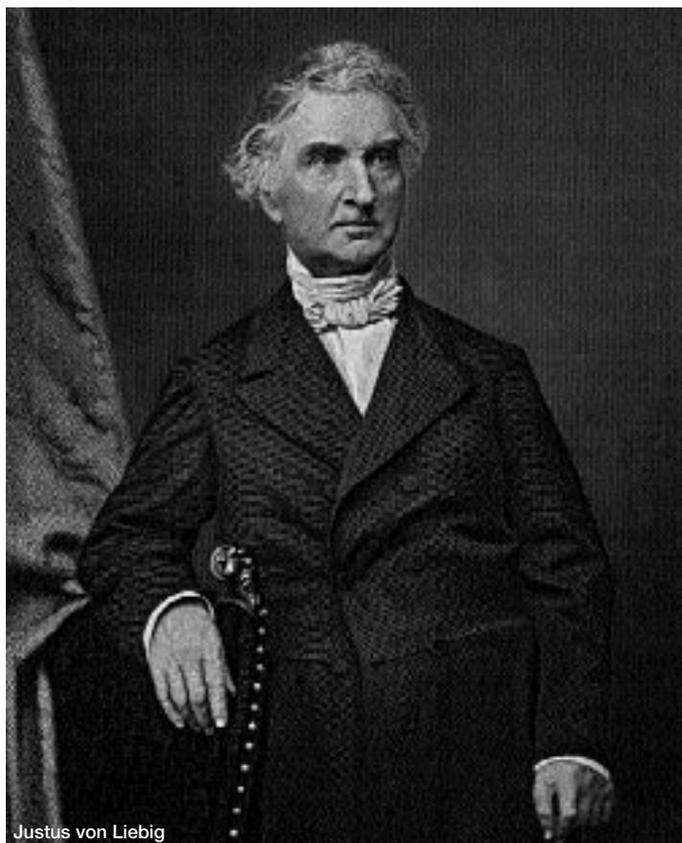
Nell'ottavo volume della Storia della Scienza dell'Istituto Treccani, dedicato all'Ottocento, il capitolo sulla chimica esordisce con la seguente frase: "Se per scienza si intende un *corpus* di conoscenze empiriche regolato e ordinato dalla teoria, allora si può affermare che la chimica del XIX secolo fu sin dall'inizio una nuova scienza." Infatti essa raccoglieva il retaggio di un insieme di esperienze ed attività pratiche e sperimentali accumulate nei secoli precedenti, perché potessero essere ampliate, approfondite e soprattutto opportunamente interpretate. Alcune di esse stavano contribuendo allo sviluppo industriale che ha avuto il suo esordio proprio nell'Ottocento. Precedentemente infatti le operazioni pratiche di tipo chimico svolgevano essenzialmente un ruolo ausiliario ad altre attività produttive. In questo quadro merita di essere menzionata l'industria dei tessuti, che necessitava di prodotti

chimici per svolgere i lavori di lisciviazione, sbiancamento, tintura, stampa, fabbricazione dei saponi e così via. Le corrispondenti attività chimiche produttive si riconducevano a tre ben definiti processi concernenti rispettivamente la fabbricazione dell'acido solforico, quella della soda artificiale e quella degli agenti decoloranti al cloro.

Tanto che già nel 1819 Jean-Antoine Chaptal, scienziato ed economista, in un saggio intitolato "De l'industrie française", affermava che "la chimica ha compiuto progressi talmente notevoli che non può porsi il problema della natura delle proprie operazioni e contemporaneamente non avere il controllo di quella delle arti: la sua utilità è riconosciuta da tutti e le sue applicazioni talmente numerose da diventare uno dei capisaldi della pubblica istruzione: per gli studenti di oggi essa rappresenta una professione; e non si vede già più una sola fabbrica la cui direzione non

sia affidata ad un uomo istruito in questa scienza". E con ciò venivano riconosciuti il contenuto scientifico e il ruolo sociale della disciplina che stava decollando. Per quanto riguarda il primo aspetto si può osservare che la chimica si stava emancipando da quell'impostazione statica che gli era stata conferita dai suoi cultori del secolo precedente, primo fra tutti Lavoisier che poneva l'accento sull'importanza dei bilanci materiali per interpretare i problemi sulle trasformazioni della materia. Infatti anche se i libri di chimica del Settecento esordivano con un capitolo sulle forze di aggregazione e coesione agenti sulle particelle, in realtà si riteneva che ciò facesse parte della metafisica.

Nel 1812 veniva pubblicato da John Dalton il "New System of Chemical Philosophy" nel quale era presente una classificazione degli elementi chimici conosciuti a quei tempi, a ciascuno dei quali veniva associato un particolare atomo. Anche se tale proposta sembrava una rispolveratura dell'ipotesi di Lucrezio, in realtà gli atomi di Dalton non erano semplicemente dei corpuscoli indivisibili ma costituivano le più piccole particelle delle sostanze



Justus von Liebig

semplici in grado di riflettere la capacità a combinarsi fra di loro per formare degli atomi composti, che in realtà non erano altro che le molecole. In quegli stessi anni Humphry Davy e Jacob Berzelius ritenevano di aver identificato nell'elettricità la forza responsabile dell'affinità chimica.

A dire il vero sui concetti di atomo e molecola si sarebbero ancora consumate discussioni e diatribe, in particolare fra chimici e fisici; solo all'inizio del Novecento, grazie ai lavori teorici di Einstein e sperimentali di Perrin sui moti browniani, i dubbi si sarebbero definitivamente dissipati. In sostanza c'era molto lavoro da svolgere per individuare tutte le sostanze elementari della chimica, determinarne le proprietà e classificarle in uno schema tassonomico. Tutto ciò avrebbe offerto sul piano applicativo la possibilità di stabilire delle regole operative in grado di avvicinare la semplice pratica di formulare ricette.

Il rapporto con le altre scienze

Per quanto riguarda il rapporto della chimica con le altre scienze si deve osservare che con l'approfondimento delle conoscenze sulle regole che determinano le combinazioni fra i diversi elementi, unitamente all'impiego di metodi analitici basati su operazioni fisiche, in particolare spettroscopiche, e soprattutto con l'emergenza del ruolo della termodinamica sull'energetica delle reazioni chimiche, a partire della fine del XIX secolo la chimica si sarebbe sempre più avvicinata alla fisica, anche se i fisici erano propensi ad assimilare i chimici a cuochi scientifici. I chimici a loro volta li tacciavano di eccessiva indulgenza verso la formulazione di modelli astratti, scollati dalle concrete proprietà della materia a loro tanto cara, con una indiscutibile abilità nell'evitare aspetti spinosi come quelli dovuti agli effetti nonlineari, alla presenza dell'attrito e dell'irreversibilità. Tanto da sconfinare talora in digressioni metafisiche come quelle concernenti un possibile contenuto teleologico della formulazione variazionale delle leggi fisiche. Ma soprattutto i chimici cercavano di rivendicare un'autonomia creativa che rischiava di risultare soffocata da un eccessivo formalismo.

Diversi erano i rapporti con la biologia poiché a quei tempi dominava la convinzione che gli organismi viventi fossero animati da una qualche forza vitale che veniva ritenuta responsabile anche dei processi di sviluppo. In sostanza la materia degli organismi viventi sembrava obbedire a leggi differenti da quelle del mondo inorganico, anche se Lavoisier aveva dimostrato che la respira-



Il laboratorio di Liebig

zione era del tutto simile ad una combustione che si svolgeva però a temperatura più bassa.

In questo scenario operavano quegli scienziati che avrebbero edificato la chimica moderna e fra di loro Justus von Liebig occupava in Germania una posizione centrale simile a quella che veniva conferita in Francia al suo rivale Jean-Baptiste Dumas. Tanto da far nascere un “fenomeno Liebig” caratterizzato da diversi elementi originali, primo fra tutti quello di coinvolgere gli studenti in attività di ricerca sperimentali. Il successo del suo approccio all’insegnamento, unitamente ad una febbrile attività editoriale e all’interesse verso i problemi industriali stimolarono in tutta Europa uno spirito di emulazione che favorì lo sviluppo istituzionale della chimica stessa.

Gli interessi di Liebig inizialmente orientati verso la chimica dei composti del carbonio che in quegli anni era in una fase di sviluppo esplosivo, dopo il 1840 si orientarono verso l’applicazione della chimica organica allo studio della composizione della materia animale e vegetale e alla comprensione dei processi fisiologici. Mutuando le idee di Lavoisier egli sosteneva che il metabolismo animale dipendesse dalle ossidazioni che avevano luogo nei polmoni, con formazione di anidride carbonica ed acqua, anche se misure accurate avevano rivelato che l’ossigeno assunto non era sufficiente per produrre tutta l’energia richiesta da un organismo. Sebbene queste idee non fossero corrette, la sua influenza come docente fu notevole, come testimoniato dal numero di allievi di alta qualità che ha avuto.

L’affermazione della chimica industriale

Anche lo sviluppo applicativo e industriale della chimica tedesca è dovuto in gran parte a Liebig, che avviò importanti settori pro-

duttivi che andavano dai coloranti sintetici alla chimica farmaceutica. A partire dal 1840 egli si dedicò ai problemi posti dall’agricoltura, e con questa scelta avrebbe condizionato il futuro del genere umano. Specialista nella chimica dell’azoto egli ne studiò il ciclo nelle piante aprendo così la strada alla nascita dell’agricoltura scientifica, unitamente al francese Jean-Baptiste Boussingault.

Attribuendo formule empiriche alle sostanze costitutive dei tessuti e dei loro prodotti riuscì a descrivere i processi metabolici mediante opportune equazioni algebriche che esprimevano con notevole precisione le trasformazioni globali, anche se alcuni suoi detrattori sostenevano che tale approccio fosse troppo speculativo. Queste ricerche sull’azoto lo portarono ad approfondire il ruolo dei concimi, valutando la possibilità di fruire delle conoscenze chimiche per il loro miglioramento e soprattutto per una loro produzione intensiva per via industriale. A partire dal 1845 egli fu in grado di fornire suggerimenti per la produzione di fertilizzanti artificiali utilizzando sali minerali di ammonio, nitrati e fosfati, saldando così quelli che a quel tempo erano i principali fattori dello sviluppo economico: l’agricoltura e l’industria.

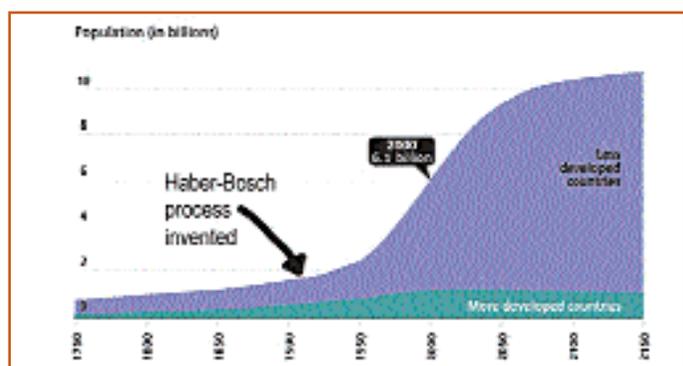
L’interesse di Liebig sulla connessione fra processi naturali e attività industriali si manifestò anche nei riguardi della fermentazione alcolica di cui riuscì a migliorarne l’efficienza. In questo settore si trovò in competizione con Louis Pasteur, il quale sosteneva che essa fosse un processo vitale e non puramente chimico, mentre Liebig, viceversa, riteneva che forze che determinano la fermentazione fossero di natura fisica facendo un parallelo fra fermenti e catalizzatori, senza però riconoscerne la natura specifica.

I rapporti fra chimica e agricoltura esordiscono quindi con i lavori di Liebig che diedero inizio alla prima grande rivoluzione agricola grazie all’impiego di fertilizzanti chimici, in particolare il nitrato di sodio proveniente dal Cile, il solfato ammonico che era un sottoprodotto delle centrali del gas e i fosfati naturali che venivano resi solubili trattandoli con acido solforico. Successivamente i progressi conseguiti nella genetica, avrebbero contribuito ulteriormente allo straordinario sviluppo dell’agricoltura, con altrettanto straordinarie ricadute sull’au-



Impianto di Haber di laboratorio

mento della popolazione umana che, a partire da 12 mila anni fa, ovvero da quando è nata l'agricoltura, è aumentata di circa 400 volte. Alla nascita di Cristo la popolazione era costituita da 250 milioni di uomini che, grazie ai miglioramenti subiti dall'agricoltura, è aumentata ad un miliardo nel 1850 quando Liebig rendeva operativi i risultati delle sue ricerche. Attualmente la popolazione umana sfiora gli 8 miliardi e la curva della crescita globale continua ad impennarsi.



L'aumento nella produzione di beni alimentari è una delle cause (o delle conseguenze) dell'elevato incremento demografico unitamente al miglioramento delle condizioni di vita, delle condizioni igieniche e delle scoperte della chimica farmaceutica, che, come menzionato, ha avuto in Liebig uno dei suoi promotori. In seguito questa situazione avrebbe fatto sorgere un inquietante dilemma, poiché se da un canto si sarebbe invocata la diffusione di mezzi e l'adozione di atteggiamenti culturali che ponessero un limite a tale sviluppo senza freni della popolazione, dall'altro si chiedeva alla chimica e alle sue tecnologie di contribuire ulteriormente alla richiesta del cibo necessario per alimentare la stessa popolazione in crescita.

L'avvento di nuovi concetti e tecnologie

Agli inizi del ventesimo secolo le scienze chimiche subirono una trasformazione profonda grazie ad importanti scoperte sperimentali e all'avvento della meccanica quantistica. Richard Feynman ha affermato che se si volesse sintetizzare in poche parole un messaggio ricco di contenuto scientifico si dovrebbe semplicemente sancire l'esistenza degli atomi quali costituenti di noi stessi e della materia che ci circonda. Questo è sicuramente il più bell'elogio che un fisico abbia fatto alla chimica, la quale ha utilizzato il concetto di atomo sin dai suoi esordi resistendo alle

critiche di chi, come il fisico filosofo Mach, ne negava l'esistenza affermando che nessuno li aveva mai visti. Purtroppo questi dubbi hanno resistito sino all'inizio del Novecento quando la scoperta degli elettroni e dei nuclei avrebbe definitivamente riconosciuto l'esistenza degli atomi e delle molecole riscattandoli così dal ruolo di semplici modelli impiegati per pura convenienza da cuochi scientifici.

Un nuovo importante appuntamento della chimica con l'agricoltura ha avuto luogo proprio in quegli anni, nella Germania che, grazie alla tradizione scientifica ereditata da Liebig e al fiorire delle menzionate idee innovative, occupava nelle scienze chimiche una posizione di primo piano. L'obiettivo era quello di riuscire a preparare i composti azotati, quali i sali di ammonio e l'urea, dall'azoto contenuto in quantità praticamente illimitata nell'aria, tenendo conto che la molecola biatomica di azoto è tenacemente tetragonale a reagire con gli altri composti chimici. In natura esiste una sola famiglia di piante, le leguminose, che ospitano nelle loro radici dei batteri in grado di fissare l'azoto, ed in grado quindi di inserirlo nei cicli biochimici degli organismi viventi. La fissazione dell'azoto atmosferico mediante un processo non biologico costituiva pertanto un obiettivo scientificamente prestigioso e stimolante, poiché si trattava di scalzare un monopolio della natura. Il merito di avere realizzato la sintesi diretta dell'ammoniaca da idrogeno e azoto spetta a Fritz Haber operante presso l'Istituto di Chimica Fisica di Berlino, e la sua attuazione rappresentò un autentico salto di qualità nella tecnologia chimica. Anzitutto fu necessario individuarne le opportune condizioni operative, che risultarono caratterizzate da pressione e temperatura relativamente elevate, fruendo dei risultati teorici che erano stati conseguiti nell'applicazione della termodinamica alla chimica. Inoltre fu necessario individuare un opportuno catalizzatore sulla cui superficie l'idrogeno e l'azoto potessero combinarsi velocemente, ovvero con una velocità compatibile con la produttività che si voleva conferire agli impianti. Furono esaminati molti metalli sino a riscontrare che con la polvere di osmio, un metallo raro, tale velocità aumentava in modo spettacolare. Con il supporto economico della BASF (Badische Anilin und Soda Fabriken) le ricerche vennero intensificate sino a scoprire che l'economico ferro con piccole quantità di allumina e potassio rivelava ottime proprietà catalitiche e quindi si diede il via alla realizzazione del processo industriale. La costruzione di reattori in grado di operare alla pressione, a quei tempi molto

elevata di 250 atmosfere in un impianto in grado di utilizzare il calore sviluppato dalla reazione stessa per riscaldare la miscela dei reagenti, richiese la messa a punto di soluzioni tecnologiche innovative che ebbero una significativa ricaduta su tutta la chimica industriale. Sul piano sociale si trattava di un'autentica svolta poiché le miniere di salnitro cilene si sarebbero esaurite in poche decine di anni.

Anche se gli è stato conferito il premio Nobel poche persone oggi sanno chi fu e che cosa fece Fritz Haber, ignorando che le sue ricerche hanno contribuito in modo significativo all'alimentazione della popolazione umana. In realtà per una terribile ironia della sorte la scoperta benefica di Haber ha arrecato al mondo anche gravi danni perché ha permesso alla Germania di produrre quegli esplosivi che gli hanno dato la possibilità di procrasti-



nare la fine della seconda guerra mondiale, confermando in modo drammatico che la scienza ha spesso due volti, uno benefico e uno malefico.

Il contributo della chimica a favore dell'agricoltura si manifestò, oltre che nella produzione dei fertilizzanti, anche in quella degli anticrittogamici e degli insetticidi con i quali veniva perseguita la lotta contro i parassiti, e le erbe infestanti. Questo aspetto ha avuto profonde ricadute sulla salute umana poiché alcune specie di insetti agiscono come vettori di malattie infettive quali la malaria, il tracoma, il tifo e la peste.

In realtà proprio nella prima metà del secolo scorso anche le ricerche nel settore farmaceutico stavano registrando alcuni notevoli successi, fra i quali si possono ricordare i sulfamidici, gli antibiotici, l'isoniazide che ha debellato la tubercolosi, gli antistaminici ed altri che gradualmente hanno avvicinato i medicinali di origine naturale.

Sfide agli albori del millennio

Con la sintesi e l'impiego di prodotti chimici che agiscono quali insetticidi si sono ottenuti grandi vantaggi, ma sono anche iniziate le inquietudini sui rapporti fra l'uomo e l'ambiente. Questo aspetto può essere illustrato considerando il primo vistoso caso in cui si sono manifestati effetti collaterali a quelli preposti, ovvero quello del dicloro-difenil-tricloroetano o più concisamente il DDT. Scoperto nel 1944 da P.H. Muller della Ciba di Basilea e premio Nobel per la medicina, si comportò come un insetticida di grande efficienza. I vantaggi derivanti dalla sua applicazione furono enormi, tanto che venne definito un autentico salvatore dell'umanità. Per fare alcuni esempi il suo impiego nel nostro Paese ha debellato definitivamente la malaria in Sardegna e ha bloccato sul nascere, nel 1944 a Napoli, un'epidemia di tifo petecchiale. Purtroppo ci si rese conto successivamente che agisce in modo non selettivo uccidendo anche insetti utili all'uomo ed inoltre come per tutte le sostanze ricche di cloro sono nati i sospetti che a lungo termine potesse avere effetti negativi sui sistemi riproduttivo e immunitario dell'uomo stesso. Poiché un loro impiego massiccio può provocarne un accumulo nella biosfera, a partire dagli anni Settanta esso, sia pure con opinioni discordi, venne limitato. La necessità di conciliare la lotta ai parassiti con la salvaguardia dell'ambiente e della salute umana ha stimolato le ricerche in modo da poterlo avvicinare con altri prodotti di sintesi a base di fosforo quali il parathion, il malathion, o di carbammati, quale il carbofuran e i piretroidi aventi scarsa o nulla tossicità per l'uomo.

Questi successi nella sintesi di nuove molecole con proprietà particolari, opportunamente progettate, e di materiali con caratteristiche strutturali e funzionali sempre più rispondenti ai bisogni e alle velleità dell'uomo testimoniano il grado di maturità che ha raggiunto la chimica e l'elevato livello di sofisticazione delle sue metodologie teoriche e sperimentali che sembrano dare piena conferma all'affermazione di Leonardo: "Dove la natura finisce di produrre le sue proprie specie, comincia l'uomo, in armonia con le leggi della natura, a creare una infinità di specie". Tutto ciò contribuendo allo sviluppo di produzioni più intimamente connesse con le attività sociali, di servizio e di intrattenimento, in un panorama nel quale le capacità tecniche devono sapere colloquiare con la sensibilità nel riguardo dei desideri umani, le pulsioni artistiche provenienti dal design e nel tempo devono essere strettamente osservanti dei vincoli che ci ven-

gono imposti dalla tutela dell'ambiente nel quale viviamo. Tutto ciò con la consapevolezza che la diffusione incontrollata di prodotti chimici può purtroppo generare effetti con retroazione negativa. Si potrebbero portare molteplici esempi di tali effetti, concernenti non solo l'impiego dei prodotti chimici di varia natura, ma derivanti da un uso massiccio e acritico dei risultati della ricerca. Un esempio significativo riguarda l'accumulo nell'atmosfera dell'anidride carbonica prodotta nei processi di combustione, che viene ritenuta colpevole dei cambiamenti climatici dovuti all'effetto serra. In realtà esso è una conseguenza dell'incremento della domanda di energia che viene prodotta dai combustibili fossili, la quale a sua volta è indotta dall'aumento vertiginoso della popolazione.

Questi argomenti occupano un ruolo centrale in gran parte dei dibattiti in corso e non si può negare che le difficoltà di ottenere talora risposte del tutto esaurienti sui problemi da essi sollevati generi una legittima ansietà, intaccando la fiducia, affiorata nell'Ottocento e consolidata nel secondo dopoguerra, nella convinzione che esista una relazione diretta fra ricerca e progresso economico, e quindi benessere. Il timore dei pericoli dovuti ad alcuni ritrovati scientifici, anche se ad un'analisi accurata basata su dati oggettivi si è spesso rivelato esagerato, ha alimentato a partire dagli anni Sessanta un movimento di rifiuto dei prodotti chimici. In questo scenario la chimica si è trovata quindi esposta a critiche ed attacchi in gran parte dei casi ingiustificati e per molti aspetti controproducenti.

In realtà la seconda metà del secolo scorso ha visto emergere un movimento antiscientifico postmoderno che assimila la scienza ad una costruzione sociale, con posizioni curiose e decisamente stravaganti, quale ad esempio l'affermazione che la teoria della gravitazione sarebbe stata diversa se Newton fosse stato una donna. Purtroppo la tendenza della cultura scientifica verso un'eccessiva specializzazione ha finito per allontanare il coinvolgimento dell'opinione pubblica che si è sentita così esclusa da ogni decisione connessa con gli sviluppi della ricerca.

A questa inquietante situazione si deve contrapporre un atteggiamento costruttivo inteso a rilanciare il ruolo della ricerca scientifica in un quadro rinnovato che tenga conto della complessità che si è istituita nel sistema mondiale. Già dalla seconda metà del secolo scorso cominciò infatti ad affiorare la sensazione che i problemi semplici fossero già stati risolti e che fosse necessario affrontare problemi nei quali le interazioni umane e le interazioni



con l'ambiente occupassero un ruolo centrale. Si è cominciato così a riconoscere che i successi precedentemente raggiunti dalle scienze fisiche erano soprattutto dovuti all'aver saputo cogliere le cose più semplici dell'Universo, evitando però i problemi sostanziali del mondo reale. Nel contempo l'efficacia della chimica nell'individuare, caratterizzare e riprodurre le sostanze esistenti in natura, e soprattutto creandone delle nuove, aveva trascurato l'influenza che la loro diffusione potesse esercitare sui complessi equilibri naturali.

La capacità di saper descrivere e soprattutto dominare il comportamento di sistemi complessi nei quali convergono fenomenologie diversificate, con interazioni non lineari che possono fare emergere evoluzioni imprevedibili al limite caotiche, costituisce ovviamente un problema di grande difficoltà. La scienza contemporanea non può però esimersi dall'accettare questa sfida, affrontando i problemi nei quali le singole parti di un sistema sono collegate fra di loro per evidenziare come, agendo assieme, determinano il comportamento della totalità, ed individuare quindi le tecnologie adeguate per controllare le eventuali evoluzioni indesiderate. La chimica industriale è in grado di offrire esempi significativi di processi nei quali l'applicazione oculata di metodologie di sicurezza è ormai in grado di minimizzare eventi catastrofici.

Forse è amaro per uno scienziato doverlo riconoscere, ma tutto ciò era già stato anticipato da un filosofo contemporaneo a Liebig, Friedrich Hegel, quando affermava che i sistemi non sono comprensibili se le parti vengono investigate separatamente.

In questo quadro si inserisce lo studio e l'analisi dell'evoluzione delle comunità ecologiche e dell'economia, il cui esito attuale è stato significativamente influenzato dalle ricerche che hanno avuto inizio un secolo e mezzo fa nei laboratori dell'Università di Giessen, sotto la direzione di Justus von Liebig.