

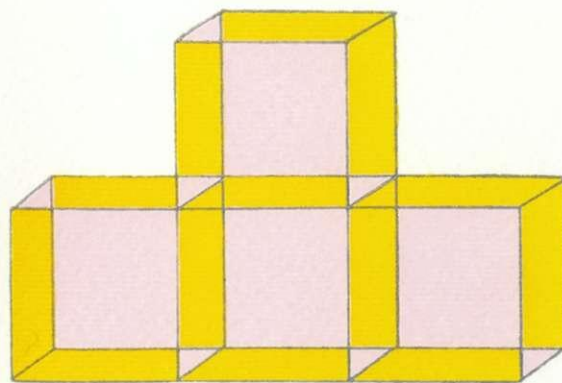
Per una didattica di riforma

Questa collana, dedicata soprattutto a chi opera nella scuola nella prospettiva di riforma, si inserisce in un momento cruciale della lotta per il rinnovamento della cultura e delle istituzioni educative. Il suo scopo è quello di accogliere la richiesta di alta divulgazione che proviene dal mondo della scuola: che non significa in nessun modo semplificazione e appiattimento ma al contrario invito alla chiarezza, capacità di rendere le discussioni scientifiche momenti di battaglia democratica, nella consapevolezza che la ricerca progredisce proprio quando i suoi risultati vengono prontamente percepiti, raccolti, divulgati, quando diventano oggetto di discussioni ampie e non improvvisate.

In questa prospettiva, la proposta di un'ottica interdisciplinare viene a significare non una convergenza imposta a priori, un invito a confondere o a ridurre lo specifico di ogni approccio scientifico, ma piuttosto ricerca rigorosa e insieme aperta e problematica sui temi che impegnano la società contemporanea e che proprio per la loro complessità, si pongono immediatamente come multidisciplinari, tali cioè che non possono essere trattati unicamente nei termini della tradizionale ripartizione delle competenze.

M. Buiatti
S. Califano
P. Dolara

CHIMICA E BIOLOGIA NEL SECOLO XX



Per una didattica di riforma - 6
GUARALDI

Per una didattica di riforma

6

GUARALDI ARCHIVE

Marcello Buiatti
Salvatore Califano
Piero Dolara

PER UNA DIDATTICA DI RIFORMA

Comitato di redazione: Valentino Baldacci, Scipione Guaracino, Alessandro Savorelli, Gigliola Sbordonì, Giampaolo Taurini, Mario Vezzani.

CHIMICA E BIOLOGIA
NEL SECOLO XX

Guaraldi Editore

Prima edizione: aprile 1978

Indice

| | |
|--|----|
| SALVATORE CALIFANO, <i>La storia della chimica dall'800 ai giorni nostri</i> | 7 |
| MARCELLO BUIATTI, <i>Meccanicismo e vitalismo nella biologia del XX secolo (I)</i> | 31 |
| PIERO DOLARA, <i>Meccanicismo e vitalismo nella biologia del XX secolo (II)</i> | 52 |

SALVATORE CALIFANO

La storia della chimica
dall'800 ai giorni nostri

GLI AUTORI

Marcello Buiatti insegna Genetica all'Università di Firenze. È autore di numerosi articoli di mutagenesi, genetica di caratteri quantitativi, biologia molecolare, ecc. È intervenuto più volte nel dibattito sulle implicazioni sociali e ideologiche delle conoscenze della nuova biologia.

Si veda, ad esempio, *Biologia e materialismo dialettico. Ancora su Monod*, in «Critica marxista», 1972; un simposio organizzato insieme a B. Fantini, nell'ambito dell'Associazione Genetica Italiana su *Genetica e determinismo; la relazione su Diversità genetica e uguaglianza umana* tenuta al recente convegno dell'Istituto Gramsci su *L'uomo oggi fra natura e storia* (Roma, febbraio 1978).

Salvatore Califano è ordinario di Chimica fisica presso la facoltà di Scienze dell'Università di Firenze. Dopo aver studiato a Napoli ed essersi perfezionato in Germania e negli Stati Uniti, ha insegnato a Padova, negli Stati Uniti e in Francia.

È autore di un centinaio di pubblicazioni scientifiche ed è membro dell'Editorial Board di numerose riviste scientifiche internazionali. È anche autore di un libro di teoria degli spettri vibrazionali delle molecole, dal titolo *Vibrational States*, London, J. Wiley, 1976.

Piero Dolara è assistente presso l'Istituto di Farmacologia e Tossicologia dell'Università di Firenze. Attualmente si trova presso il Center for the Biology of Natural Systems della Washington University di St. Louis, diretto da B. Commoner. Ha pubblicato saggi su riviste scientifiche quali «Biochemical Pharmacology», «European Journal of Pharmacology», «Clinical Toxicology», ecc. Recentemente ha pubblicato alcuni articoli su «L'unità» relativi alle modificazioni indotte nell'ambiente ed ha portato il suo contributo al recente convegno dell'Istituto Gramsci sui problemi dell'energia.

Introduzione

La storia della chimica è, sotto molti aspetti, la storia di gran parte del progresso scientifico, tecnologico e sociale del genere umano. Gli sviluppi della chimica sono infatti alla base della nascita e della crescita della struttura industriale della società moderna e sono quindi direttamente collegati alle profonde trasformazioni sociali che hanno caratterizzato il periodo del grande sviluppo industriale.

Sarebbe però un errore interpretare gli sviluppi della chimica moderna nella sola chiave applicativa e tecnologica, perdendo di vista il grande contributo conoscitivo che la chimica ha dato alla cultura moderna. In effetti, nel corpo delle scienze chimiche si sono accumulate problematiche e metodologie tra le più diverse e si sono saldate insieme strutture teoriche e tecniche sperimentali estremamente eterogenee e differen-

ziate. Si è sviluppata così una scienza che ha mirabilmente fuso il rigore quantitativo e l'architettura teorica della fisica alle necessità di sistematizzazione e di classificazione delle scienze naturali. Proprio a causa di questa sua natura composita, la chimica ha ben presto assunto il ruolo di ponte di collegamento tra la fisica e le scienze naturali, dalla biologia alla botanica, dalla geologia alla mineralogia. Così ad esempio, mentre lo sviluppo della meccanica quantistica ha reso possibile la formulazione di una teoria moderna del legame chimico, le conoscenze accumulate dai chimici sulla struttura molecolare e sulla reattività dei composti chimici hanno aperto la strada ai progressi della biologia molecolare.

La difficoltà che si presenta nel condensare in poche pagine tutto lo sviluppo della chimica moderna è dovuta alla vastità della materia. Basta pensare al fatto che la chimica va dalle teorie della struttura molecolare alla sintesi dei polimeri, dallo studio dei meccanismi di reazione alla progettazione di processi industriali, dagli acciai speciali ai fertilizzanti, dai chemioterapici ai coloranti, per rendersi conto che una esposizione anche sommaria della materia *in toto* è impossibile. Conviene quindi individuare alcune linee importanti di sviluppo che meglio di altre ne caratterizzino il processo evolutivo e ne evidenzino gli stadi essenziali.

Per queste ragioni concentrerò l'attenzione, in questa breve rassegna, solo su due aspetti dello sviluppo delle discipline chimiche, l'evoluzione delle teorie del legame chimico e la nascita della moderna chimica organica. Questi due argomenti sono, a mio avviso, largamente rappresentativi

del processo globale e permettono di cogliere facilmente le connessioni più importanti esistenti con la fisica da una parte e con lo sviluppo industriale della società moderna dall'altra.

Lo sviluppo delle teorie del legame chimico

Già agli inizi del 1800 molti chimici erano convinti che la materia fosse fatta di atomi e che gli atomi potessero combinarsi in maniera diversa fra di loro dando origine alle più svariate sostanze. In realtà l'ipotesi atomica, a livello di pura speculazione filosofica, si può far risalire alla cultura greca (Leucippo e Democrito) e nel Rinascimento era già stata in parte incorporata nella concezione meccanicistica del mondo fisico, tanto che nel 1738 Daniel Bernoulli l'aveva utilizzata per spiegare in termini meccanici la legge di Boyle sui gas.

L'ipotesi atomica entra però a far parte della chimica ufficiale solo nel 1803 con la pubblicazione di una famosa memoria che John Dalton aveva presentato alla *Philosophical Society* di Manchester sulla natura dei gas e dei liquidi. La teoria di Dalton, malgrado la vivace opposizione dei sostenitori delle teorie del continuo, che, come Berthollet, pensavano che la composizione delle sostanze potesse variare all'infinito, si affermò definitivamente nel periodo dal 1807 al 1827 con la pubblicazione del *New System of Chemical Philosophy* di Dalton. Questi dimostrò come l'ipotesi atomica, cioè l'ipotesi dell'esistenza di mattoni fondamentali della materia, permettesse di interpretare in maniera semplice e coerente

tutti i risultati accumulati dai chimici fino a quel momento. In particolare Dalton dimostrò come ogni atomo si potesse unire solo ad un numero limitato e piccolo di altri atomi, ponendo così le basi di tutta la chimica moderna.

Il periodo successivo vide concentrata l'attenzione dei chimici sulla determinazione del numero e del tipo di atomi che entravano a far parte di un composto chimico e sulla loro caratterizzazione. Pian piano cominciò a farsi strada il concetto di molecola come aggregato stabile di atomi, grazie ai lavori di Avogadro e di Cannizzaro, ed i nuovi chimici cominciarono seriamente a porsi il problema del perché gli atomi si unissero tra di loro nelle varie molecole nel rapporto di numeri semplici. Un gran numero di ipotesi e di congetture si alternarono e si contrapposero per tutto il XIX secolo su questo problema. In questo travagliato periodo di sviluppo della chimica le concezioni vitalistiche che avevano dominato nella filosofia naturale ed in particolare nella biologia e nella medicina del XVIII secolo continuarono a giocare un ruolo di primo piano nei tentativi di interpretazione della costituzione molecolare. Nel 1700 era nata e si era sviluppata una teoria della «affinità chimica» attraverso i lavori di Geoffroy, di Boerhave, di Bergman, di Wentzel e di molti altri importanti chimici dell'epoca. La affinità chimica rappresentava una valutazione della tendenza di un elemento a combinarsi a preferenza con altri per i quali si sentisse maggiormente attratto. Erano state così elaborate tabelle di affinità reciproca degli elementi tra le quali diventarono abbastanza famose quelle preparate da Boerhave.

Fu solo verso la metà del XIX secolo che il concetto di valenza e quello di legame chimico cominciarono ad affermarsi nel mondo dei chimici. La nozione di valenza, come numero di legami che ogni atomo può formare con altri atomi, fu intravista per la prima volta da Frankland, che era riuscito ad unire metalli a gruppi organici, e fu poi precisata dai lavori di Wurtz, di Kekulè e di Couper. Nel 1857 Kekulè formulò l'ipotesi della tetravalenza dell'atomo di carbonio, il costituente fondamentale, insieme all'idrogeno, di tutti i composti organici. A breve scadenza, nel 1865, lo stesso Kekulè propose il concetto di legame non-saturo per spiegare la composizione delle molecole aromatiche come ad esempio il benzolo e la naftalina. La tetravalenza del carbonio ed il concetto di legame non-saturo rappresentarono le due grandi chiavi interpretative della composizione molecolare e permisero in breve tempo di sviluppare la chimica dei composti del carbonio in termini di formule strutturali.

Il problema del legame chimico si mantenne però per tutti questi anni su basi puramente qualitative e ad un livello descrittivo e classificatorio.

Nel 1874 ci fu però una svolta importante. Le Bell e Van't Hoff indipendentemente formularono l'idea che le quattro valenze del carbonio fossero dirette verso i vertici di un tetraedro. Da quel momento il problema del legame chimico assume una dimensione nuova e diventa il problema dell'architettura molecolare, cioè della distribuzione spaziale degli atomi nella molecola.

L'ipotesi di Le Bell e Van't Hoff si dimostrò

estremamente importante e permise subito di spiegare il fenomeno dell'isomeria ottica, cioè l'esistenza di molecole identiche dal punto di vista della composizione chimica e dei tipi di legame chimico esistenti tra gli atomi, ma diverse nelle proprietà fisiche ed in particolare nella capacità di ruotare il piano della luce polarizzata. Ci vollero però molti anni prima che l'ipotesi di Le Bell e Van't Hoff fosse verificata sperimentalmente. Fu infatti solo nel 1914 che due fisici inglesi, i Bragg padre e figlio riuscirono a determinare con un metodo fisico, la diffrazione dei raggi X, la struttura del diamante che è composto di carbonio puro. Essi trovarono che nel cristallo di diamante ogni atomo di carbonio è circondato da altri quattro atomi disposti ai vertici di un tetraedro. Con il lavoro dei Bragg la struttura spaziale delle molecole usciva dal campo delle ipotesi e delle supposizioni e diventava determinabile sperimentalmente. Da quel momento la struttura di una molecola diventava «misurabile», poteva cioè essere definita precisando non solo la distribuzione spaziale degli atomi, ma anche le distanze tra di essi. L'ipotesi di Le Bell e Van't Hoff e la successiva conferma sperimentale dei Bragg aprirono quindi la strada alla moderna strutturistica chimica.

Restava però sempre sconosciuta la natura del legame chimico, la ragione profonda di queste forze che tenevano insieme gli atomi nelle molecole. Fu solo con la scoperta dell'elettrone, la cui esistenza fu dimostrata definitivamente da Perrin nel 1895, che avvenne la prima grande unificazione dei fenomeni fisici e chimici. In breve tempo la struttura dell'atomo venne definiti-

vamente chiarita nei suoi aspetti fondamentali. Alla scoperta dell'elettrone si aggiunse quella del protone, della radioattività, dei raggi X etc. Fu ben presto chiaro che l'atomo indivisibile, la cui esistenza come componente ultimo della materia aveva dato luogo a tante polemiche e discussioni filosofiche, era in realtà un sistema estremamente complesso e conteneva particelle di dimensioni molto minori delle dimensioni atomiche e per di più cariche elettricamente. L'elettricità, considerata a lungo un fluido continuo, assumeva anch'essa una struttura particellare e l'attrazione *tre* cariche elettriche diventava inevitabilmente l'interazione fondamentale nell'interpretazione della struttura della materia. Nel 1911 con una famosa esperienza di bombardamento di sottili fogli di alluminio con particelle α , cioè con particelle cariche di elettricità positiva, Rutherford riuscì a dimostrare che la carica positiva in un atomo è concentrata in una zona di spazio estremamente ridotta (il nucleo atomico) e che le reali dimensioni degli atomi sono determinate dagli elettroni carichi negativamente. Nacque così un modello planetario dell'atomo secondo il quale gli elettroni ruotano su orbite intorno al nucleo allo stesso modo in cui i pianeti ruotano intorno al sole.

Il modello atomico di Rutherford stabiliva un affascinante parallelismo tra il mondo dell'infinitamente grande e quello dell'infinitamente piccolo. Questa estensione al livello atomico delle leggi fisiche che regolano il comportamento degli oggetti del mondo macroscopico urtava però contro difficoltà insormontabili. Ruotando intorno al nucleo un elettrone è sottoposto all'accelerazio-

ne centrifuga e, secondo le leggi dell'elettromagnetismo classico, deve emettere energia continuamente. In questo modo dopo un tempo brevissimo l'elettrone precipiterebbe sul nucleo e l'atomo si distruggerebbe. Questa non era in realtà che una delle tante contraddizioni in cui si dibatteva la fisica classica agli inizi del '900, contraddizioni che derivavano tutte dalla impossibilità di utilizzare al livello atomico il formalismo deterministico della meccanica classica, in cui il moto di un corpo materiale è descritto in termini di traiettorie perfettamente determinate dalle coordinate iniziali del corpo, dalla sua massa e dalle forze che su di esso agiscono.

Un importante tentativo di salvare le leggi della meccanica classica al livello delle particelle elementari fu fatto da Niels Bohr introducendo alcune ipotesi *ad hoc* nel trattamento del moto degli elettroni.

Nel trattamento di Bohr le orbite elettroniche conservavano la stessa realtà fisica che avevano nel modello classico di Rutherford. La differenza importante consisteva nel fatto che gli elettroni potevano avere solo valori ben definiti (quantizzati) dell'energia nell'atomo, energia collegata ad un numero limitato di orbite possibili. La scelta di un numero ristretto di orbite elettroniche tra le infinite possibili del trattamento classico, veniva realizzata nel modello di Bohr con opportune condizioni di «quantizzazione». Variazioni di energia, collegate ad assorbimento o emissione di radiazione elettromagnetica, erano possibili solo attraverso salti da un'orbita all'altra.

Il modello di Bohr fornì per la prima volta una convincente spiegazione della valenza degli

atomi in termini di struttura elettronica. Gli elettroni venivano classificati ed organizzati in strati intorno al nucleo ed ogni strato poteva ospitare un numero pari di elettroni, determinato da opportuni «numeri quantici».

Sulla base del modello atomico di Bohr, Gilbert Lewis, riprendendo e rielaborando precedenti idee di W. Ramsay, J. J. Thomson, A. L. Parson e J. Stark, formulò la prima importante teoria del legame chimico in una famosa nota pubblicata nel 1916 sul «Journal of American Chemical Society». Lewis propose che gli atomi si unissero tra di loro in modo da completare lo strato elettronico esterno mettendo a comune un certo numero di coppie di elettroni. Un legame chimico semplice veniva così a corrispondere ad una coppia di elettroni condivisa da due atomi, un legame doppio a due coppie di elettroni condivise, un legame triplo a tre coppie etc. Lewis formulò anche la famosa regola dell'ottetto elettronico che assegnava una particolare stabilità ad uno strato esterno di otto elettroni, condivisi o no, intorno a ciascun nucleo leggero. La regola dell'ottetto non solo interveniva nella teoria del legame chimico, ma serviva anche a spiegare la formazione di ioni stabili in soluzione. Gli ioni erano atomi che, perdendo o acquistando elettroni, raggiungevano una configurazione elettronica con otto elettroni nello strato esterno, configurazione caratteristica dei gas inerti.

La teoria di Lewis del doppietto elettronico e la regola dell'ottetto furono ampiamente sviluppate nel decennio successivo da numerosi chimico-fisici che elaborarono poi in forma definitiva la teoria elettronica della valenza. Particolarmente

larmente importanti in questo campo furono i lavori di Irvin Langmuir che per primo formulò in forma moderna il concetto di legame covalente.

La scoperta dello spin dell'elettrone (Uhlenbeck e Goudsmit) e la formulazione del principio di esclusione di Pauli (1925) completarono il quadro della vecchia teoria dei quanti e permisero una soddisfacente organizzazione del sistema periodico degli elementi, sulla base della loro struttura elettronica.

La teoria elettronica della valenza aveva chiarito il ruolo fondamentale degli elettroni nella formazione del legame chimico ed aveva permesso di interpretare le formule di struttura dei chimici in termini di coppie elettroniche condivise. Essa restava però pur sempre una teoria puramente fenomenologica del legame, incapace di offrire una valutazione quantitativa delle proprietà fisiche delle molecole in termini di struttura elettronica.

Nel frattempo si venivano chiarendo e precisando i limiti della vecchia teoria dei quanti di Bohr e le difficoltà connesse con il trattamento classico del moto degli elettroni.

Nel breve periodo che va dal 1926 al 1930 si sviluppò la meccanica quantistica che produsse una profonda rivoluzione della fisica delle particelle elementari e che cambiò radicalmente molte delle idee dei fisici sulla struttura della materia.

In meccanica quantistica il concetto classico di orbita elettronica sparisce completamente. Alla descrizione deterministica della fisica classica si sostituisce una descrizione probabilistica del mo-

to dell'elettrone fatta in termini di una funzione di stato (funzione d'onda) dal cui quadrato si ottiene la probabilità di trovare l'elettrone in una certa porzione di spazio. La funzione d'onda viene ottenuta come soluzione dell'equazione di Schroedinger che è l'equazione centrale della meccanica quantistica.

La teoria del legame chimico, ormai indissolubilmente legata alle teorie fisiche sulla natura dell'elettrone, non poteva non seguire l'evoluzione della meccanica quantistica. Il trattamento quantistico del legame chimico nella molecola d'idrogeno venne affrontato, ad appena un anno di distanza dalla nascita della meccanica quantistica, in un famoso lavoro che Heitler e London pubblicarono nel 1927.

Nella teoria di Heitler, che prende oggi il nome di teoria del legame di valenza, gli elettroni di valenza, cioè quelli che prendono parte al legame chimico, vengono assegnati ai singoli atomi ed il legame chimico nasce dallo scambio di elettroni tra gli atomi.

Quasi contemporaneamente si sviluppa, ad opera di Hund, Mulliken, Lennard-Jones ed altri ricercatori, la teoria degli orbitali molecolari, un trattamento del legame chimico abbastanza differente dalla teoria del legame di valenza. Nel metodo degli orbitali molecolari vengono costruite funzioni d'onda molecolari (orbitali molecolari) che descrivono direttamente il moto degli elettroni nella molecola. Particolarmente importante si rivelerà, per il metodo degli orbitali molecolari la cosiddetta approssimazione LCAO (*Linear Combination of Atomic Orbitals*) in cui la funzione d'onda molecolare viene costruita come

combinazione lineare di funzioni d'onda atomiche.

Per un lungo periodo il metodo degli orbitali molecolari ed il metodo del legame di valenza si svilupparono parallelamente. Tra il 1930 ed il 1931 Hückel estese la teoria degli orbitali molecolari alle molecole aromatiche. Nel 1933 Linus Pauling fornì la corrispondente interpretazione dei sistemi aromatici in termini della teoria del legame di valenza, introducendo il concetto di risonanza che riformulava in termini quantomeccanici le idee che Kekulé aveva enunciato circa cento anni prima.

Allo sviluppo della teoria degli orbitali molecolari contribuì in maniera determinante il lavoro svolto per lunghi anni da Mulliken e dalla sua scuola, nel *Laboratory of Molecular Structure and Spectra* dell'Università di Chicago. Proprio ad un allievo di Mulliken, C. C. J. Roothaan si devono negli anni Cinquanta gli sviluppi più significativi della teoria degli orbitali molecolari, sviluppi che hanno portato al metodo noto come LCAO SCF (*Self Consistent Field*), che oggi rappresenta, nelle sue diverse accezioni ed approssimazioni, lo strumento migliore nelle mani dei chimico-fisici per il calcolo delle proprietà molecolari.

La massa di calcolo numerico necessaria per una corretta applicazione di metodi SCF è purtroppo molto alta e calcoli del genere sono stati resi possibili solo dall'enorme sviluppo dei calcolatori elettronici.

In molti laboratori di ricerca di chimica esistono oggi programmi per calcolatori elettronici capaci di calcolare, a vari livelli di sofisticazio-

ne, le grandezze fisiche rappresentative della struttura molecolare quali energie di legame, distanze ed angoli di legame, proprietà elettriche e magnetiche delle molecole etc. Calcoli SCF completi, anche disponendo di calcolatori elettronici di grandi dimensioni, sono per ora possibili solo per molecole relativamente piccole. Con opportune semplificazioni ed approssimazioni questi calcoli possono essere estesi anche a molecole di dimensioni maggiori, purché non sia richiesta una grande precisione nelle grandezze da calcolare.

Negli sviluppi futuri della teoria quantomeccanica del legame chimico è senz'altro da prevedere la possibilità di effettuare calcoli precisi e significativi per molecole di grandi dimensioni, soprattutto per molecole di interesse biologico. È però certamente da augurarsi che negli anni a venire sia non solo possibile calcolare, dalla distribuzione elettronica, le proprietà fisiche delle molecole, ma anche prevedere in maniera completa e soddisfacente, la reattività molecolare di sistemi complessi. Il gran numero di ricerche attualmente in corso in queste direzioni e gli importanti risultati già ottenuti in diversi casi, lasciano sperare che questo futuro non sia molto lontano.

Lo sviluppo della chimica organica

All'inizio del XIX secolo il numero delle sostanze organiche note era appena dell'ordine di poche centinaia. Si trattava essenzialmente di prodotti del mondo vegetale che servivano alla vita di ogni giorno come la cera, lo spirito di

vino, gli olii vegetali, essenze medicinali, droghe etc.

Ai chimici di questo periodo si poneva non solo il problema di chiarire la composizione e la struttura chimica delle sostanze naturali, ma anche quello di sintetizzarne di nuove. Queste esigenze nascevano, oltre che dal processo interno di sviluppo della chimica, dalle richieste che venivano dalla nascente struttura industriale e da branche collaterali della scienza naturale, dalla biologia alla medicina, dalla botanica alla fisiologia. Si trattava di scoprire le regole di un gioco quanto mai affascinante, di un enorme puzzle di cui bisognava individuare i pezzi separati ed incastrarli nel posto giusto.

I metodi di questa ricerca erano non molto diversi da quelli che guidavano Sherlock Holmes alla soluzione dei suoi misteri: stabilire tutta una rete di correlazioni tra fatti diversi ed individuare in questo modo simiglianze e diversità; inferire da questo substrato di connessioni empiriche semplici regole di classificazione e di caratterizzazione; organizzare queste regole in una sistematica generale e collegarla a schemi teorici generali; isolare le variabili strutturali responsabili del comportamento chimico delle sostanze e localizzare in ogni aggregato molecolare i raggruppamenti atomici con specifiche proprietà chimiche; trovare infine condizioni sperimentali ben riproducibili per tagliare e ricucire insieme questi raggruppamenti per ottenere i composti desiderati.

Sfruttando la facilità a reagire ed a trasformarsi dei composti nelle più diverse condizioni fisiche, i chimici misero a punto nella prima metà

del XIX secolo i due strumenti fondamentali di questo laborioso processo interpretativo: l'analisi e la sintesi.

Il primo stadio importante dello sviluppo della chimica organica fu quello realizzato con l'analisi elementare, che permetteva di ridurre le più svariate sostanze agli elementi chimici costitutivi e di precisarne quantitativamente i rapporti ponderali. Il metodo dell'analisi elementare, introdotto nella chimica da Lavoisier, fu perfezionato nella prima metà dell'800 da grandi chimici come Gay-Lussac e Berzelius e soprattutto da Julius von Liebig e dalla sua scuola. L'analisi elementare permise di chiarire, in tempo relativamente breve, che le sostanze organiche erano in realtà composte da un numero estremamente limitato di elementi e cioè da carbonio, idrogeno e spesso anche ossigeno ed azoto. Fu quindi chiaro che le diverse proprietà chimiche e fisiche di queste sostanze non erano riducibili alle proprietà degli elementi costituenti, ma dipendevano dal come questi elementi fossero collegati tra di loro e dalla loro relativa abbondanza in seno ad ogni composto.

Lo stadio successivo fu quello della identificazione di specifici raggruppamenti di atomi, costantemente presenti in molecole con proprietà chimiche e fisiche simili. Nacque così la teoria dei «radicali organici» che, nel decennio 1830-40, fu al centro di vaste polemiche che coinvolsero i maggiori chimici di quell'epoca, da Berzelius a Liebig, a Laurent, a Gay-Lussac ed a Dumas. Quest'ultimo, insieme a Laurent, sviluppò la teoria delle sostituzioni, in base alla quale il cloro poteva sostituire l'idrogeno nei radicali

degli idrocarburi. Questa teoria era in netto contrasto con il sistema dualistico del grande chimico svedese Berzelius che la combatté accanitamente e ne accettò le importanti conseguenze solo dopo molti anni. La teoria delle sostituzioni fu rapidamente estesa ad altri radicali e venne ben presto affiancata da una teoria dell'«omologia», nella quale si riconosceva l'esistenza di serie omologhe di composti, come quelle degli idrocarburi, degli alcoli, degli acidi monobasici etc.

Con lo sviluppo della teoria della sostituzione dei radicali organici e con l'identificazione di serie omologhe, la chimica organica aveva raggiunto un notevole livello di maturità e di complessità e si rendeva quindi necessario un grosso lavoro di sistematizzazione dei composti organici ed una loro efficiente classificazione. Questa esigenza condusse Gerhardt nel 1852 a formulare la sua famosa teoria dei «tipi» che rappresentò il passo fondamentale verso la moderna nomenclatura della chimica organica. Gerhardt ricondusse tutti i composti organici a quattro tipi fondamentali: l'idrogeno FL, l'acqua H₂O, l'acido cloridrico HCl, l'ammoniaca NFL. Per sostituzione degli atomi di idrogeno con radicali organici si ottenevano per ogni tipo serie omologhe di composti. La teoria di Gerhardt non solo forniva uno schema generale di sistematizzazione dei composti noti, ma offriva anche una chiara indicazione per la sintesi di composti nuovi. Il lato debole della teoria dei tipi consisteva nel fatto che sia i radicali che i tipi di Gerhardt non erano ancora interpretati in termini di composizione atomica. Non appena questo collegamento fu realizzato attraverso la teoria della valenza e l'introduzione di formule

strutturali, la nomenclatura della chimica si avviò al suo assetto definitivo.

Il lavoro di sistematizzazione di Gerhardt fu continuato da Laurent e soprattutto da Kekulé che, con l'ipotesi della tetravalenza del carbonio e con la definizione di legame non-saturo, realizzò tra il 1857 ed il 1865 gran parte della transizione dalla teoria dei tipi alle formule di struttura.

La seconda metà del XIX secolo vedeva i laboratori chimici ormai in grado di affrontare problemi di analisi strutturale e di sintesi di elevata complessità. Le tappe fondamentali del processo di messa a punto della sintesi di nuovi composti organici coincidono in realtà con i momenti decisivi dello sviluppo della grande industria chimica in Inghilterra, in Francia e soprattutto in Germania che, attraverso la creazione di una imponente struttura industriale, si avviava a diventare una grande potenza economica. Enumerare tutte le sintesi di composti nuovi che da quel momento furono realizzate, sarebbe impresa disperata. Ci limiteremo a segnalare pertanto solo alcune tappe importanti di questo sviluppo che ha portato oggi il numero di prodotti chimici noti al livello di alcuni milioni.

Già nel 1828 Wöhler era riuscito a sintetizzare l'urea dal cianato di ammonio, dimostrando per la prima volta che un composto organico come l'urea, che si trova nell'urina degli esseri viventi, può essere ottenuto a partire da una sostanza che fa parte del mondo minerale. Nel 1834 Runge identificò nel catrame di carbon fossile l'anilina ed aprì così la strada alla grande industria dei coloranti. Nel 1846 Sobrero sinte-

tizzo la nitroglicerina e nel 1862 Nobel ottenne da essa la dinamite, dando così origine alla nuova industria degli esplosivi. Nel 1853 Berthelot realizzò la prima sintesi dei grassi. Nel 1850 Hofmann, un allievo di Liebig che si era trasferito in Inghilterra, preparò le prime aniline sostituite e nel 1863 produsse un'altra gamma di coloranti, noti come i viola di Hofmann. Ritornato nel 1865 in Germania a dirigere la famosa industria *Badische Anilin und Soda Fabrik*, appena fondata, diede un impulso decisivo alla creazione di nuovi laboratori di ricerca sia nell'industria che nell'Università. Da questi laboratori vennero fuori i chimici che fecero poi la fortuna scientifica ed industriale della Germania.

Nel frattempo si venivano differenziando e sviluppando altre branche della scienza direttamente collegate alla chimica, come la microbiologia, la farmacologia, la chimica agraria etc. Il chimico francese Pasteur, dopo aver scoperto il lievito nella birra in fermentazione, identificò nel 1863 i microrganismi che producono l'inacidimento del vino e, entro due anni, quelli responsabili delle malattie del baco da seta. Nel periodo tra il 1840 e il 1850 furono introdotti nell'uso medico i primi anestetici come il protossido d'azoto, l'etere ed il cloroformio. Tra il 1878 ed il 1885 venne chiarito, nei suoi aspetti essenziali, il ciclo dell'azoto nel terreno e iniziò su larga base l'industria dei fertilizzanti. Nel 1886 fu realizzata la prima sintesi di un alcaloide, la coniina, ad opera di Ladenburg e nel 1891 Cross, Bevan e Beadle misero a punto il procedimento per preparare la seta artificiale alla viscosa.

Notevole importanza teorica ebbe la sintesi to-

tale dell'acetilene realizzata nel 1860 da Berthelot sotto l'azione dell'arco voltaico. In questo modo Berthelot cancellò per sempre dalla scienza concetti vitalistici ed animistici che ancora persistevano nella chimica e che avevano portato menti illuminate ed aperte, come quella di Gerhardt, a sostenere che la sintesi di prodotti organici richiedesse inevitabilmente l'intervento della forza vitale.

Nel XX secolo i progressi della chimica organica vennero fortemente accelerati dallo sviluppo della chimica fisica e delle tecniche chimico-fisiche d'indagine molecolare, che permettono di ottenere informazioni rapide ed estremamente precise sulla struttura molecolare. Contemporaneamente l'industria chimica, nata come industria metallurgica, tessile e dei fertilizzanti, veniva rapidamente differenziandosi e strutturandosi in forme moderne. Il potere politico ed economico, che già nel XIX secolo aveva mostrato interesse per gli sviluppi delle scienze chimiche, concentrò i suoi sforzi sulla creazione di grandi laboratori di ricerca industriali ed universitari. Il finanziamento della ricerca diventò uno dei grossi capitoli di bilancio degli stati industriali. Nel 1911 furono creati in Germania, con il finanziamento degli industriali tedeschi, gli istituti di ricerca della *Kaiser Wilhelm Gesellschaft* a Berlin-Dahlem ed entro pochi anni nacquero enti di ricerca corrispondenti in molti altri paesi.

L'alto grado di specializzazione raggiunto dalla scienza e dall'industria e la richiesta di materiali speciali per le nuove tecnologie industriali, ebbero un peso decisivo sugli indirizzi di ricerca della chimica organica.

La scoperta della catalisi eterogenea fu determinante per la messa a punto di nuovi processi di sintesi di interesse industriale. Nel 1926 Fischer e Tropsch realizzarono la sintesi di idrocarburi superiori in presenza di catalizzatori al cobalto, rendendo così possibile la sintesi industriale di combustibili liquidi. Nel 1928 Diels e Alder scoprono l'importantissima sintesi diene. La chimica delle macromolecole, sorta negli anni Venti grazie alle ricerche di Staudinger, si affermò rapidamente come una delle branche più importanti della chimica moderna. Staudinger e la sua scuola, sfruttando appieno le potenzialità delle tecniche chimico-fisiche, determinarono le dimensioni di molte macromolecole naturali e chiarirono i concetti base della chimica colloidale. Nel 1932 Hill e Carothers ottennero il nylon negli Stati Uniti e a breve distanza fu preparato in Germania il perlon. Negli anni Trenta si sviluppò l'industria delle resine sintetiche e della gomma sintetica, dopo la scoperta del neoprene e fu chiarita la natura macromolecolare di molte sostanze naturali come il caucciù, la cellulosa, l'amido, la seta e la lana. Dopo la seconda guerra mondiale le ricerche nel campo delle macromolecole si estesero e si moltiplicarono. Nel 1953 Ziegler mise a punto in Germania la polimerizzazione catalitica dell'etilene e dal 1955 al 1960 Natta e i suoi collaboratori al Politecnico di Milano, determinando la struttura ai raggi X di polimeri prodotti usando i catalizzatori di Ziegler, scoprirono strutture ordinate di polipropilene, introdussero il concetto di tatticità dei polimeri e misero a punto la sintesi stereospecifica di macromolecole sintetiche.

Accanto allo sviluppo della chimica organica sintetica e della chimica macromolecolare, conviene accennare brevemente a quello delle ricerche di farmacologia e di biochimica nel XX secolo. Ricordiamo alcune tappe importanti che contribuirono in maniera determinante allo sviluppo della medicina moderna e della chemioterapia. Nel 1903 Aldrich e Takamine isolarono l'adrenalina, il primo ormone conosciuto. Nel 1910, a conclusione di un enorme lavoro di ricerca, Ehrlich realizzò la sintesi del primo anti-tubercolico, il salvarsan. Nel 1928 Szent-Gyorgyi isolò la vitamina C e nel 1935 Reichstein ne realizzò la sintesi. Nello stesso anno veniva preparato, nei laboratori dell'industria tedesca, il primo sulfamidico, il prontossil. Di grande importanza furono le ricerche condotte negli anni dal 1920 al 1940 da Ruzicka e da Butenand sugli ormoni sessuali, ricerche che nel 1935 culminarono nella sintesi degli ormoni maschili androsterone e testosterone. Lo sviluppo di queste ricerche fu alla base della creazione della grande industria farmaceutica moderna.

Come accennato precedentemente, i progressi della chimica organica nel XX secolo sono strettamente legati allo sviluppo di tecniche chimico-fisiche d'indagine strutturale. La spettroscopia molecolare nelle regioni dell'ultravioletto e dell'infrarosso furono, insieme alla diffrazione dei raggi X, le tecniche chimico-fisiche che si svilupparono per prime. Già nel 1860 Kirchhoff aveva utilizzato la spettroscopia come metodo di indagine chimica ed in breve tempo essa divenne un potente metodo di analisi chimica. Ai primi del Novecento erano disponibili in laboratori spe-

cializzati i primi spettrografi per la misura di spettri d'assorbimento. Nel 1905 Coblenz pubblicò una serie di spettri infrarossi di sostanze organiche, ma una diffusione effettiva di questa tecnica in chimica organica non si ebbe che circa trenta anni più tardi, grazie all'enorme lavoro di catalogazione e di interpretazione di spettri fatto da J. Lecomte a Parigi. Nel 1928 Raman scoprì l'effetto che porta il suo nome e che, grazie al lavoro interpretativo di Kohlrausch, venne presto ad aggiungersi alle spettroscopie tradizionali come metodo d'indagine strutturale. Dopo la seconda guerra mondiale furono sviluppate la risonanza magnetica nucleare e la risonanza di spin elettronico, tecniche estremamente sofisticate e potenti per l'individuazione di gruppi organici caratteristici in molecole complesse. A queste tecniche si affiancò presto la spettroscopia di massa che, anche se nota fin dal 1913, divenne un metodo efficiente per l'analisi della composizione molecolare solo con la produzione di strumenti commerciali.

L'uso di tecniche chimico-fisiche per l'identificazione di strutture molecolari si è tanto diffuso dopo la seconda guerra mondiale, da far nascere una grossa industria, estremamente specializzata e con altissimo contenuto tecnologico, per la produzione commerciale di apparecchiature scientifiche. La determinazione della struttura di una molecola complessa, che prima richiedeva anni di paziente lavoro di laboratorio, è ora un procedimento rapido e sicuro, spesso al livello di pura routine.

Questa drastica riduzione dei tempi necessari per ottenere la struttura e la composizione di una

molecola complessa, ha aperto frontiere illimitate alla moderna chimica organica. Il numero di composti nuovi sintetizzati o identificati ogni anno è attualmente dell'ordine delle centinaia di migliaia e tende a crescere di anno in anno. In linea di principio non c'è limite alle possibilità di nuove sintesi se non nel costo dei materiali di partenza e nelle possibilità di applicazione pratica di quelli finali.

Negli ultimi venti anni si sono ampiamente sviluppati nuovi indirizzi di ricerca in seno alla chimica organica. Accanto alla sintesi di nuovi prodotti di interesse industriale o farmacologico, alla produzione di materiali speciali per le nuove industrie aeronautiche e spaziali, alla sintesi di macromolecole termoresistenti e chimicamente inerti, si è fortemente sviluppata la chimica di composti metallo-organici e quella delle sostanze di interesse biologico. Progressi enormi ha anche compiuto la chimica organica teorica, sulla scia dei progressi della chimica-fisica, mentre lo studio dei meccanismi di reazione si è definitivamente affermato come uno dei più promettenti campi di ricerca per il futuro. In effetti la chimica organica classica si trova oggi di fronte ad una svolta importante, sia sul piano metodologico che su quello degli indirizzi di ricerca. Questi ultimi sembrano sempre più orientarsi verso una maggiore comprensione della reattività chimica e verso una più profonda incidenza nella interpretazione chimica dei complessi fenomeni che avvengono nei sistemi biologici.

Bibliografia

Anche se esiste una bibliografia molto vasta sulla storia della chimica, poche sono le opere scritte o tradotte in italiano, soprattutto negli ultimi anni. Per chi volesse approfondire l'argomento esiste in italiano un'eccellente opera di JURIJ SOLOV'EV recentemente tradotta dal russo, dal titolo *L'evoluzione del pensiero chimico dal '600 ai nostri giorni*, Milano, Ed. Est, Mondadori, 1976. Molte pagine sono dedicate alla storia della chimica anche nella *Storia della Scienza* a cura di MAURICE DAUMAS, Bari, Laterza, 1969 e nella *Storia delle Scienze della Natura* di S. F. MASON, Milano, Feltrinelli, 1971.

Per un'approfondita bibliografia sulla storia della chimica, soprattutto in inglese e tedesco, consigliamo il libro di Solov'ev.

MARCELLO BUIATTI

Meccanicismo e vitalismo
nella biologia del XX secolo (I)

È necessario premettere che una discussione, anche per grandi linee, delle correnti ideologiche presenti nella biologia del nostro secolo in termini di meccanicismo e vitalismo sarebbe limitativa e sbagliata. In realtà, sia le teorie rigidamente deterministiche di alcuni meccanicisti sia quelle che ipotizzavano l'esistenza di uno spirito vitale come unica spiegazione «scientifica» dei fenomeni biologici, sono state superate, almeno in questi termini, dopo i primi tre decenni del secolo, aprendo la strada ad un dibattito molto più articolato e chiaro. Questo fenomeno è stato determinato dal rapido progresso scientifico in campo biologico e dalla utilizzazione di metodologie di tipo nuovo (biochimica, statistica, matematica) che hanno fatto giustizia di alcune visioni puramente aprioristiche e non confortate da dati sperimentali, direttamente mutate dalle principali correnti filosofiche dell'ultima parte del XIX secolo. Con questo non vo-

gliamo commettere l'errore di attribuire un eccessivo valore liberatorio al dato sperimentale in biologia, ritenendo il dibattito teorico non ancora concluso solo a causa di carenze temporanee di natura empirica. Va invece sottolineato che l'aumento delle conoscenze scientifiche in campo biologico è servito soprattutto a portare il dibattito nei suoi giusti termini, costringendo sempre più i vitalisti a scoprirsi rifugiandosi nella dichiarazione di fede (che del resto non può e non chiede di essere contestata) e rinunciando ad una pseudo-copertura scientifica. Anche in biologia quindi, si va chiarificando e prende forma un dibattito che è molto più fra interpretazione storica e materialista da una parte e spiritualista o spesso teologica dall'altra, che non fra meccanicismo e vitalismo, dibattito che sta allargandosi ad altre discipline (vedi ad esempio la psicologia) per investire il problema fondamentale del rapporto fra uomo e natura.

Per chiarire fino in fondo questo concetto riteniamo utile, invece di procedere da una storia delle scoperte e del dibattito teorico nella biologia del nostro secolo, per arrivare ad una esposizione delle conoscenze sperimentali attuali, partire da queste per vedere come con esse (col fatto biologico) si siano scontrate ed incontrate le linee di pensiero teorico più importanti.

In particolare, fonte ed oggetto di dibattito nel XX secolo, sono stati i due fenomeni «storici» più importanti in biologia, e cioè lo sviluppo degli organismi superiori e l'evoluzione. Sono questi i processi la cui interpretazione e spiegazione sono state alla base del dibattito fra organicismo ed olismo da una parte e ridu-

zionismo dall'altra, tra determinismo e casualismo, tra finalismo e non finalismo. Sono infine questi due processi che ci forniscono la base biologica per interpretare correttamente (o scorrettamente) i rapporti esistenti fra il biologico ed il sociale. Cercheremo quindi innanzitutto di schematizzare molto rapidamente alcuni dei dati sperimentali più importanti esistenti a questo proposito.

La struttura di un organismo superiore può essere considerata come il risultato di un complesso di interazioni che si sviluppano con il tempo secondo una traiettoria canalizzata ma elastica, cioè secondo un progetto che però indica soltanto i limiti estremi di un altissimo numero di variazioni possibili. Questo tipo di struttura in movimento è stato definito da Waddington con il termine appropriato di *creode* ed il suo risultato come *epigenotipo totale*.

In termini più concreti, si sa ormai con certezza che il progetto elastico di cui abbiamo accennato sopra è scritto in un codice di tipo chimico con parole di tre lettere nel nucleo di ogni cellula e precisamente nell'acido desossiribonucleico (DNA); l'insieme di informazioni che costituiscono il progetto è il risultato della evoluzione e lascia comunque aperte un numero notevole di vie alternative nella sua espressione. L'informazione deve, durante lo sviluppo, essere trascritta e tradotta in termini attuali e cioè in prodotti finali e ciò avviene attraverso una serie di passaggi e di interazioni fra nucleo e citoplasma o meglio fra il DNA e il microambiente cellulare che è poi quello che determina di momento in momento quali nuove informazioni deb-

bano venire utilizzate. La direzione del passaggio di informazione è solo in larga parte irreversibile, in quanto in certi casi è nota ormai la possibilità di integrazione di nuova informazione proveniente dall'esterno (ad esempio in alcuni tipi di trasformazione cancerosa) o la modificazione permanente o semipermanente del numero di copie di singole porzioni di codice.

Oltre comunque alle interazioni ora descritte fra componenti o porzioni delle cellule singole, negli organismi superiori si hanno anche interazioni fra cellule (una cellula isolata non si sviluppa mai nello stesso modo di quando è integrata in un tessuto e quindi sottoposta alle limitazioni ed agli stimoli derivanti dalla presenza di cellule contigue) e interazioni di ordine superiore fra le variazioni dello sviluppo dell'organismo e le variazioni dell'ambiente. È evidente infatti che variabili quali la luce, la temperatura, la disponibilità di nutrimento, ecc. possono alterare sensibilmente lo sviluppo dell'individuo, scegliendo, nel largo spettro di vie possibili di sviluppo quelle più adatte e determinandone poi il successo o l'insuccesso in termini di efficienza riproduttiva dell'individuo. Come abbiamo detto precedentemente l'informazione potenziale (informazione genetica) non varia durante lo sviluppo in modo da dirigerlo secondo strade nuove, fatta eccezione per alcuni casi particolari di cui si comincia a saggiare l'importanza solo negli ultimi anni; meglio ancora, l'informazione genetica non varia con un meccanismo immediato di causa ed effetto in rispondenza alle variazioni ambientali. Varia invece in modo casuale per l'insorgere delle mutazioni

e per la ricombinazione (rimescolamento della informazione) che si determina al momento della formazione dei gameti maschili e femminili. Questo insieme di fenomeni determina l'esistenza e la permanenza di generazione in generazione di una quantità notevole di variabilità ereditaria, fra individuo ed individuo, che si rinnova continuamente (variabilità genetica). Si può dire quindi che un numero molto elevato di *creodi*, secondo la terminologia di Waddington sono in competizione di generazione in generazione e costituiscono la base reale delle variazioni evolutive. La scelta fra di essi avviene anch'essa in modo dinamico e cioè in funzione della ricerca continua di una interazione ottimale tra genotipo ed ambiente, interazione che varierà col tempo perché col tempo variano sia il genotipo che l'ambiente; tenderanno quindi a fissarsi i tipi (genotipi) di volta in volta più adatti agli ambienti specifici ed insieme più adattabili alle variazioni ambientali, mediante l'attribuzione di un premio riproduttivo da parte dell'ambiente (i). Questo a prescindere da altri meccanismi di fissazione quale ad esempio l'isolamento casuale di mutazioni in piccole popolazioni al quale alcuni autori attribuiscono recentemente una importanza maggiore che nel passato.

Abbiamo cercato così di tratteggiare molto brevemente alcuni dei fatti fondamentali della moderna embriologia e scienza della evoluzione perché è soprattutto su questi fatti che si è articolato il dibattito filosofico della biologia del nostro secolo.

Il primo punto che risulta chiaro da quanto

sopra esposto è che lo sviluppo degli organismi presenta aspetti di estrema complessità e soprattutto di interazioni a livelli diversi secondo leggi a svolgimento temporale. Questa situazione rende difficile, e rendeva molto più difficile agli inizi del secolo, una sistemazione dei fatti noti in una teoria organica ed onnicomprensiva, ed anche una conoscenza approfondita dei singoli fenomeni. È stato questo fatto in realtà, che ha spinto alcuni scienziati e filosofi della fine del secolo scorso a muovere profonde critiche ad una impostazione (quella meccanicistica) che diceva di poter spiegare tutti i fenomeni del vivente in base a leggi fisico-chimiche ed aggiungeva a questo discorso una forte coloritura deterministica che non rendeva conto della esistenza della forte variabilità ed «indeterminazione» fra individui e nel corso dello sviluppo di cui abbiamo parlato. Queste critiche, in parte almeno giuste, in mancanza di metodologie adeguate in biologia e di dati sperimentali sufficientemente ampi ed esaurienti, portarono alcuni a rifugiarsi semplicemente nella affermazione della non riducibilità del biologico al chimico-fisico, e nella attribuzione della causa di questo fatto alla esistenza di un non meglio definito spirito vitale che avrebbe costituito il principio informatore del progetto base dello sviluppo e della evoluzione. Almeno nella sua formulazione più lineare questa linea di pensiero partiva grosso modo da enunciazioni simili alle due leggi di E. S. Russell il quale osservava che nel vivente l'attività del tutto (dell'organismo) non può essere studiata attraverso una analisi (fisico-chimica) delle parti, mentre d'altra parte nessuna porzione di nes-

sun organismo vivente può essere compresa completamente se isolata dal tutto.

Da questa proposizione discendeva che le leggi chimico-fisiche (applicabili alle parti) non erano sufficienti per la spiegazione degli organismi e che, inoltre, era formulabile una scala di valori fra le scienze che poneva sui gradini più alti quelle discipline che studiavano gradi di totalità o di organizzazione maggiori. Si sancisce così una non comunicabilità oggettiva delle diverse discipline dovuta, dalla biologia in su, a una impossibilità di conoscere a fondo i livelli di organizzazione superiori. In questo contesto si giunge quindi ad affermare (Abich) che le leggi della biologia sono deducibili da quelle della psicologia, quella della fisica da quelle della biologia, in quanto il livello della coscienza umana è il livello massimo sotto il quale sta il biologico e poi il chimico, il fisico e così via.

Risulta chiaro a questo punto che la critica antimeccanicista utilizza alcune reali lacune di quella corrente di pensiero per giustificare affermazioni chiaramente antimaterialiste basate sulla affermata prevalenza del livello superiore della coscienza e dello spirito su quello della materia, del biologico, del chimico-fisico. Le difficoltà oggettive e la mancanza di tecniche capaci di risolvere sperimentalmente i problemi posti dalla complessità del vivente diventano l'impossibilità di conoscere l'inconoscibile, l'intima essenza metafisica del «progetto» (l'entelechia del Driesch, la psiche di Abich e di tutta la corrente psico-vitalista, lo spirito di J. S. Haldane). Si giunge quindi inevitabilmente a ricercare più o meno apertamente un Autore del progetto, attaccando quindi