

ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE
detta dei XL

Atti del VII Convegno Nazionale di

**STORIA E FONDAMENTI
DELLA CHIMICA**

Organizzato da:

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELL'AQUILA
DIPARTIMENTO DI CHIMICA, INGEGNERIA CHIMICA E MATERIALI
GRUPPO NAZIONALE DI FONDAMENTI E STORIA DELLA CHIMICA
ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE DETTA DEI XL

Atti pubblicati a cura di
FRANCO CALASCIBETTA



L'Aquila, 8-11 Ottobre 1997

INTRODUZIONE

Nello scrivere una breve introduzione a questo Volume, in cui sono riportati i contributi presentati al VII Convegno Nazionale del nostro Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica, permettetemi di volgermi per un attimo indietro per valutare il cammino percorso a partire dal I Convegno tenuto a Torino nel 1985.

Nelle ben note condizioni di difficoltà in cui la ricerca in storia della Scienza ed in particolare della Chimica si trova ad operare nel nostro paese, l'essere tuttavia riusciti a mantenere con puntualità la cadenza biennale dei nostri incontri, l'aver mantenuto unito e solidale il nostro gruppo di ricercatori provenienti da aree culturali e professionali diverse è un titolo di merito che va certamente sottolineato.

Riporto qui di seguito, dal saluto di presentazione rivolto dal nuovo Presidente, Prof. Gianlorenzo Marino ai Soci del gruppo all'interno di uno dei numeri del nostro Bollettino, alcuni stralci che a mio parere ben sintetizzano il lavoro sin qui svolto dal nostro gruppo:

«Credo che, nell'affrontare il nostro compito, noi dovremo evitare di commettere due errori.

Il primo è quello di sopravvalutarci. Non si può nascondere la realtà: siamo un gruppo piccolo, contiamo poco o niente all'interno del mondo accademico; disponiamo di limitatissimi mezzi finanziari. In queste condizioni è pertanto velleitario ed illusorio pensare di poter portare avanti progetti grandiosi.

L'altro errore che però dobbiamo evitare è quello opposto di sottovalutarci. Siamo pochi, è vero, però siamo gente seria e facciamo seriamente il nostro lavoro, che è un lavoro necessario ed importante. Verso questo lavoro c'è forse oggi un'attenzione da parte della comunità chimica nazionale che solo pochi anni fa mancava.

I Convegni che il Gruppo ha organizzato con puntuale cadenza biennale sono stati eventi scientifici significativi ed importanti nel panorama

della cultura italiana. Gli Atti di questi Convegni sono stati recensiti sempre molto positivamente dalla stampa specializzata internazionale».

A quanto detto sopra possiamo ancora aggiungere come, soprattutto grazie all'opera del precedente Presidente Prof. L. Paoloni, il gruppo si sia dato recentemente una strutturazione più stabile, che ha permesso di avviare anche altre iniziative sistematiche a fianco ai nostri Convegni biennali. Mi riferisco in particolare alla pubblicazione del Bollettino periodico, che può costruire un utile mezzo per lo scambio di informazioni tra tutti i Soci, oltre che uno strumento per far conoscere meglio il gruppo e le sue attività e permetterne l'espansione.

Passiamo ora a ringraziare sinceramente quanti hanno aiutato e reso possibile il nostro VII Convegno e la pubblicazione dei presenti Atti.

La prima citazione spetta di diritto ai colleghi dell'Aquila ed innanzi tutto ai professori Giorgio Corradini e Roberto Volpe che hanno curato in ogni particolare l'organizzazione del Convegno, assicurandone uno svolgimento inappuntabile sotto tutti gli aspetti. Dal punto di vista pratico ciò è stato reso possibile anche grazie all'ottimo lavoro svolto dalla Omnia Congressi Eventi dell'Aquila e al sostegno che hanno offerto la Behring s.p.a., la Banca di Credito Cooperativo di Montereale, la B.N.L. e la Provincia dell'Aquila. Per tutto ciò siamo ben lieti di ringraziarli ancora una volta.

Desidero poi rivolgere all'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL e al suo Presidente Prof. Gian Tommaso Scarascia Mugnozza un ringraziamento profondo e sentito per la sensibilità sempre dimostrata verso gli studi di storia della Chimica, per l'attenzione continua verso l'attività del nostro Gruppo e per avere assicurato anche questa volta la pubblicazione degli Atti del Convegno dell'Aquila nella forma di un volume dei prestigiosi Rendiconti dell'Accademia.

Per mio conto sento il bisogno infine di esprimere, anche a nome del gruppo, tutta la mia riconoscenza alla dottoressa Antonella Grandolini dell'Accademia delle Scienze detta dei XL, per la competenza, la prontezza e la disponibilità con cui mi ha aiutato nella edizione di tale volume.

Un pensiero commosso va alla memoria del prof. Giovanni Battista Marini Bettolo, fondatore e primo Presidente: senza la sua passione inesausta, senza il suo impegno, senza la sua determinazione, il nostro Gruppo non ci sarebbe stato. Tutto questo noi non lo dimenticheremo mai.

Nelle pagine seguenti troverete la lista dei partecipanti al Convegno,

il suo programma completo e di seguito il testo di quasi tutte le comunicazioni presentate in tale occasione. In fondo sono riportati infine alcuni contributi che non poterono essere inserite nei lavori del Convegno per motivi organizzativi.

Nella convinzione che questo volume darà piena testimonianza ancora una volta della validità delle ricerche in Storia della Chimica che si svolgono nel nostro paese, rivolgo in conclusione a tutti i lettori un caloroso arrivederci al nostro prossimo Convegno.

Anna P. Tassi

Ambrosio M.

Amendola E., Napoli

Bianchi G., Roma

Bonanni A., Venezia

Bonvicini G., L'Aquila

Bonvicini G., Genova

Bonvicini G., Napoli

Caro V., Firenze

Castellani F., Roma

Cavallotti N.

Cavallotti N., Napoli

Cavalli P., Roma

Cavallotti L., Venezia

Cavalli L., Roma

Cavallotti N.

Cavalli M., Venezia

Castellani A., Genova

Castellani A., Napoli

Cavalli M., Roma

Cavallotti A., Venezia

Cavallotti G., L'Aquila

Cavalli M. G., Firenze

Cavallotti G., Roma

Cavalli G., Venezia

Castellani G., Napoli

Castellani G., Venezia

Castellani G.

Castellani F., Roma

Castellani F., Roma

Castellani M., Venezia

Castellani M., L'Aquila

Castellani E., Roma

Castellani A., Napoli

Castellani M.

Castellani E.

Castellani G.

Castellani L.

Castellani M., Venezia

Castellani A., Roma

Castellani S., Padova

Castellani F., Lazio

Castellani G., Roma

Castellani A., Roma (Cavallotti)

Castellani S., Roma

Castellani E., Roma

Castellani G., Firenze

Castellani P., Venezia

Castellani G., Roma

Castellani G., Venezia

Castellani F., Venezia

Castellani V., Roma

Castellani G., Venezia

Castellani M., Roma

Castellani F., Venezia

Castellani M., Napoli

Castellani G., Roma

Castellani L., Napoli

Castellani M. J., Napoli

Castellani L., Venezia

Castellani M., Roma

Castellani M., Roma

Castellani M. J.

Castellani M. J.

Castellani M., Venezia

Castellani M., Venezia

FRANCO CALASCIBETTA

Lista dei partecipanti

- ABBI F., Siena
ARTONI M.
BADIELLO R., Bologna
BALLO A., Roma
BASSANI A., Venezia
BENEDETTI G., L'Aquila
BENSI P., Genova
BONPRESA P., Anagni
CAMA V., Perugia
CALASCIBETTA F., Roma
CAPUANO F.
CARAMAZZA R., Napoli
CARUSI P., Roma
CATTALINI L., Venezia
CERRUTI L., Torino
CIVALCHI B.
CIARDI M., Firenze
CLERICUZIO A., Cassino
COLELLA A., Napoli
CONTI R., Roma
COREZZI S., Arezzo
CORRADINI G., L'Aquila
COSTA M.G., Firenze
CRISCIANI C., Pavia
CURI E., Verona
D'ANGELO G., Reggio
DALI'OLIO G., Vicenza
DAVOLI V.
DECET F., Belluno
DI MEO A., Roma
DORIZZI M., Vicenza
DOMENICANO A., L'Aquila
DORONZO S., Bari
DRAGO A., Napoli
FONTANI M., Firenze
FOSCHI F.
GABRIELI G.
GAMBARDI I.
GANDELLINI M., Brescia
GAUDIANO A., Roma
GIORMANI V., Padova
GIULIANO F., Latina
INCORVATI G., Roma
KARACHALIOS A., Mainz (Germania)
KEHEVAN Y., Roma
MALTESE P., Terni
MAMBELLA C.A., Pescara
MANZELLI P., Firenze
MARIANI E., Roma
MARINO G., Perugia
MIBONE P., Modena
MOSINI V., Roma
NIETO-GALAN A., Barcellona
NICOLINI N., Roma
NURZIA V., L'Aquila
OLIVA R., Napoli
ORTAGGI G., Roma
PAJEWSKI, L'Aquila
PALMESE M.A., Napoli
PAOLONI L., Palermo
PAPINI P., Firenze
PEREIRA M., Siena
PLESCIA S., Palermo
POLLASTRINI M.R.
PRIORI D., Ascoli
PSARROS N., Marburg

QUARESIMA R., L'Aquila
REGONDI N.
RIGHETTO Z.
RUSSO A., Palermo
SANTONI E.
SCOCIA G., L'Aquila
SCHIPPA G., L'Aquila
SELIGARDI R., Bologna
SEMERANO G., Padova
SEVERINO P., Napoli
SPRETI N., L'Aquila

TAGLIERI G., L'Aquila
TERRIBILI P., Fermo
TIRA S., Torino
TORDI M.G.
TORRACCA E., Roma
TRALCI A., Arezzo
VIANO C., Parigi (Francia)
VILLA L., L'Aquila
VOLPE R., L'Aquila
ZEULI E., Roma

Programma del Convegno

Mercoledì 8 ottobre

Registrazione dei partecipanti

Inaugurazione

Saluto delle Autorità

Commemorazione del Prof. G.B. Marini Bettolo tenuta dal Prof. A. BALLO dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL

A. NIETO-GALAN: «Textile Chemistry and Industrial Culture in the Early Nineteenth Century. Some Historiographic Reflections»

Concerto del Gruppo Strumentale di Ateneo dell'Aquila

Giovedì 9 ottobre

1ª Sessione - Chairman: Prof. G. MARINO

P. CARUSI: «L'alchimia secondo Picatrix»

C. VIANO: «Gli alchimisti greci e l'acqua divina»

M. PEREIRA: «L'origine dell'idea di quintessenza nell'alchimia medievale»

C. CRISCIANI: «Oro potabile tra alchimia e medicina»

S. TIBA: «L'alchimia di Geber riveduta da G. Bracresco da Orzi Nuovi nel 1544»

A. CLERICUZIO: «Alchimia e teorie della materia nel Seicento»

D. PRIORI - E. SANTONI: «I salnitri nella provincia di Ascoli Piceno nel XVII secolo»

E. ABBRI: «G.E. Stahl e la diffusione di una nuova idea di Chimica»

2ª Sessione - Chairman: Prof. F. ABBRI

V. GIORMANI: «Il viaggio di Lavoisier nel Veneto: la Società dei Filochimici di Padova»

- R. SELGARDI: «Luigi Galvani e la chimica del '700»
- A. BASSANI: «L'analisi del sale marino nel Veneto del '700: i contributi di Giovanni Arduino e Marco Carburì»
- E. CURI: «Il dibattito tra elettrochimici e voltiani in Italia (1800-1860)»
- M. CIARDI: «Riforme scientifiche e Risorgimento. Chimici e nomenclatura nell'Italia preunitaria»
- P. BENSI: «Un pioniere delle analisi scientifiche sulle opere d'arte nella Milano dell'Ottocento: Antonio Kramer»
- G. DALL'OLIO - R. DOREZZI: «La diagnostica chimica della malattia renale nell'Ottocento: reazioni e apparecchi»

Venerdì 10 ottobre

3ª Sessione - Chairman: Prof. P. CARUSI

- A. DI MEO: «Filosofia chimica o filosofia della Chimica? Un approccio di tipo storico»
- G. MARINO: «La scienza impura (comportamento eticamente non corretto degli scienziati)»
- E. CALASCIBETTA: «Problemi teorici e sperimentali nella scoperta delle terre rare»
- A. DRAGO: «La (in)commensurabilità strutturalistica della Chimica con la Fisica»
- P. SEVERINO: «Meccanismo di reazione e complesso attivato»
- P. AMAT: «Due chimici cagliaritari della seconda metà dell'800, i fratelli Ignazio ed Efisio Cagusi»
- N. PSARROS: «Motochimica. Una teoria della isomeria chimica trascurata»
- Y. KEHEBYAN: «Contributo alla conoscenza di Giacomo Ciamician attraverso i suoi interventi al Senato»

4ª Sessione - Chairman: Prof. L. CERRUTI

- G. SEMERANO: «Lettere di Alfred Werner ad Arturo Miolati di interesse per la storia della teoria della coordinazione dei composti inorganici»
- P. PAPINI: «Cooperazione scientifica internazionale e frammentazione nazionale della cultura scientifica: la comunità chimica in Francia ed in Italia dal 1860 al 1930»

P. MALTESE: «Storia dei composti polimerici fibrorinforzati»

Assemblea sociale del GNFSC. Elezione delle cariche sociali

Cena sociale preceduta dalla conferenza del Prof. A. CLEMENTI «L'Aquila Civitatis Nova»

Sabato 11 ottobre

G. B. Marini Bertoldi:

50 anni nella Chimica e per la Chimica

5ª Sessione - Chairman: Prof. A. DOMENICANO

E. MARIANI: «Ludwig Mond e l'Italia»

G. CORRADINI - G. SCIEPPA - R. VOLPE: «Il ferro e la Rivoluzione Industriale»

L. PAOLONI: «I progetti di Giuseppe Odio (1865-1954) per l'industria chimica in Sicilia»

L. CERBUTI: «La difficile ricerca della "cortina". Struttura chimica e attività fisiologica, 1930-1955»

N. NICOLINI: «L'industria dei fiammiferi in Italia»

R. BADELLO: «Il costituirsi della Chimica delle Radiazioni come disciplina»

P. MANZELLI - P. PAPINI: «La storia dell'elemento 61»

Conclusione dei lavori

Il 50° anniversario della nascita del Gruppo Chimico di Chimica Industriale è stato celebrato con un ciclo di conferenze che ha permesso di ripercorrere la storia della Chimica Industriale in Italia e nel mondo. In questi 50 anni, la Chimica Industriale ha fatto passi da gigante, sia in termini di scoperte scientifiche che di applicazioni industriali. La ricerca ha permesso di scoprire nuovi materiali e processi, che hanno rivoluzionato l'industria chimica e, di conseguenza, l'intera società. La chimica industriale è oggi una disciplina che si occupa di progettare, sviluppare e ottimizzare i processi chimici su scala industriale, con l'obiettivo di produrre in modo efficiente e sicuro prodotti chimici di alta qualità.

Il Gruppo Chimico di Chimica Industriale ha svolto un ruolo fondamentale in questo processo, promuovendo la ricerca scientifica e l'innovazione tecnologica. La collaborazione tra i ricercatori e i tecnici ha permesso di superare le difficoltà e di raggiungere traguardi significativi. La chimica industriale è oggi una disciplina che si occupa di progettare, sviluppare e ottimizzare i processi chimici su scala industriale, con l'obiettivo di produrre in modo efficiente e sicuro prodotti chimici di alta qualità.

1) Pubblicazione del Gruppo Chimico di Chimica Industriale.

2) 50° Anniversario della nascita del Gruppo Chimico di Chimica Industriale. Pubblicazione del Gruppo Chimico di Chimica Industriale.

ALESSANDRO BALLIO (*)

G.B. Marini Bettolo:

60 anni nella Chimica e per la Chimica ()**

Due anni fa a Cagliari, in apertura del VI Convegno del Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica, assieme al saluto dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, portai il commosso e cordiale augurio di G.B. Marini Bettolo, costretto a Roma dalle Sue precarie condizioni fisiche, per tutti i partecipanti; aggiunti che questi contraccambiavano il medesimo augurio con sincera intensità. Oggi, a poco più di un anno dalla scomparsa, la stessa sincera intensità penso che accomuni colleghi ed amici di Marini Bettolo intervenuti a questo VII Convegno nel rivolgere un commosso pensiero alla Sua nobile figura e nel confermare ai Suoi familiari qui presenti che il Suo ricordo è profondamente radicato nel loro cuore.

Cercherò di richiamare questo ricordo obbedendo all'invito rivoltommi da Leonello Paoloni a nome del Consiglio Direttivo del Gruppo di commemorare G.B. Marini Bettolo. Paoloni ed io siamo, a mia conoscenza, fra gli allievi viventi di Marini Bettolo quelli di più vecchia data (dal 1940, quindi da quasi 60 anni); siamo entrambi memori e grati non solo di averLo avuto Maestro, ma soprattutto di avere ricevuto da Lui un dono straordinario, quello della Sua amicizia fraterna. Con la Bibbia possiamo ben dire «Qui invenit illum, invenit thesaurum».

Devo dichiarare che il compito che mi è stato affidato, se da un lato mi lusinga, dall'altro mi ha posto il problema di come contenere entro un tempo ragionevole l'esame delle molteplici attività svolte da Marini Bettolo nel corso della Sua vita, attività che per le doti di intelletto, per il vasto bagaglio culturale, per la facilità di trasferire in scritti non solo i risultati delle sue ricerche sperimentali o lo stato dell'arte di particolari settori scientifici, ma anche riflessioni ed analisi di problematiche di carattere più generale, hanno portato ad una

(*) Uno dei XL. Via Sebenico 2, Roma.

(**) Commemorazione tenuta al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8 ottobre 1997).

quantità enorme di materiale stampato, non ancora compiutamente censito. Inoltre, accanto a questo materiale emergono lentamente, dopo la Sua scomparsa, lettere, carteggi e documenti che si riferiscono spesso ad attività ignorate dai più, in quanto tenute da Lui volutamente silenti, non per segretezza, ma per una forma di particolare modestia.

Una esauriente analisi della figura e dell'operato di Marini Bettolo avrà luogo auspicabilmente nella prossima primavera, nell'ambito di un convegno a Lui dedicato dall'Accademia dei XL.

Io ho deciso di limitare il mio odierno intervento alla figura di Marini Bettolo chimico, anche in considerazione del carattere di questo Convegno; questa figura, seppure parzialmente rappresentativa della Sua persona, rimane pur sempre di non comune ampiezza e statura: non è esagerato affermare che il nome di Marini Bettolo va annoverato fra quelli delle personalità più rappresentative della chimica italiana nella seconda metà del '900.

Pure i Suoi contributi di natura chimica sono molto numerosi e vari sicché è inevitabile che quanto dirò contenga involontarie omissioni di progetti e di realizzazioni importanti: spero di venire scusato da chi avvertirà queste lacune.

* * *

Marini Bettolo era nato a Roma nel 1915 e a Roma aveva compiuto la maggior parte degli studi fino al conseguimento della laurea in Chimica con lode nel 1937. Nell'Università di Roma aveva frequentato in qualità di studente interno il Laboratorio di Chimica organica dell'Istituto Chimico, ove veniva iniziato alla ricerca da Pedro Piutti e da Dino Dinelli, da Lui spesso ricordati quali Maestri dei Suoi primi passi. Dopo aver adempiuto agli obblighi di leva affrontava la carriera universitaria nello stesso Istituto sotto la guida di Guido Bargellini (28.12.1879-23.9.1963), al quale doveva rimanere sempre legato da devoto affetto. Dopo breve tempo entrava nel ruolo degli assistenti e poco prima dell'armistizio (settembre 1943) conseguiva la libera docenza in Chimica organica. Impartiva per incarico il corso di Esercitazioni di Chimica organica e Analisi organica dal 1941 al 1943 e quello di Chimica organica II dal 1943 al 1947, due insegnamenti che Egli strutturava *ex novo* con originale modernità superando le difficoltà e le ristrettezze del periodo della guerra e dell'immediato dopoguerra. L'esperienza acquisita con il primo di questi corsi e con il lavoro di ricerca era determinante per la stesura del primo testo italiano di chimica organica preparativa, «Le Reazioni Organiche», apparso nel 1951 e riedito con importanti ampliamenti nel 1965.

L'insegnamento a Roma era stato interrotto nel 1943-44 allorché si era trasferito a Padova per evitare di rispondere alla chiamata alle armi della Repubblica Sociale; a Padova era stato accolto nell'Istituto Chimico di quella Università da Carlo Sandonini e lì incontrava Giovanni Semerano con il quale si sta-

biliva in seguito una sincera amicizia basata su sentimenti comuni nei confronti della memoria di quel grande Maestro che fu Arturo Miolati. Il rapporto di colleganza ed amicizia fra Semerano e Marini Bettolo, iniziato appunto oltre mezzo secolo fa, è compiutamente riferito in un bello scritto di Semerano dedicato all'amico per il 75° compleanno.¹

Nel 1947, poco più che trentenne, Marini Bettolo accettava la nomina a Professore di Chimica nell'Università Cattolica del Cile a Santiago con il compito di organizzare la ricerca e l'insegnamento della Chimica organica. Dopo due anni, ricevuta la laurea *honoris causa* di quella Università, lasciava il Cile e si fermava un anno a Montevideo quale Professore nella Facoltà di Chimica e Farmacia.

Nel novembre 1949 ritornava in Italia per assumere nell'Istituto Superiore di Sanità, allora diretto da Domenico Marotta, la guida del settore chimico dei Laboratori di Chimica terapeutica a capo dei quali era Daniel Bovet, prossimo vincitore del Premio Nobel per la Medicina. Nel decennio trascorso in questa posizione Marini Bettolo compiva ricerche su sostanze naturali e sintetiche bioattive tanto gratificanti da indurlo a rinunciare nel gennaio 1952, a 36 anni, a trasferirsi sulla cattedra di Chimica organica dell'Università di Bari assegnatagli per concorso. Nel 1960 diventava Capo dei Laboratori di Chimica biologica ed infine, nel 1964 e fino al 1971, Direttore dell'Istituto Superiore di Sanità.

Dal 1961 dirigeva anche l'Istituto Chimico della Facoltà di Medicina e Chirurgia di nuova istituzione nell'Università Cattolica del Sacro Cuore svolgendovi attività didattica in qualità di Professore incaricato di Chimica e dirigendo un gruppo di ricercatori del Centro di Chimica dei Recettori del CNR.

Primo ternato in un concorso a cattedra, rientrava nel 1971, dopo quasi 25 anni, nell'Università di Roma, chiamato dalla Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali a ricoprire una cattedra di Chimica generale e inorganica. Collocato fuori ruolo nel 1985 e a riposo per limiti di età nel 1990, ha continuato a profondere il Suo sapere attraverso scritti, conferenze e seminari fino al luglio 1992 allorché un serio insulto al Suo fisico ne limitava bruscamente la prorompente attività che aveva contraddistinto tutta la Sua vita di lavoro. Il 22 luglio 1996 spirava nella Sua casa romana, dopo quattro anni di crescenti sofferenze sopportate con pazienza e con coraggio, confortato dalla Sua profonda fede cristiana e dallo straordinario amore dei Suoi cari.

* * *

L'attività più propriamente scientifica di Marini Bettolo è contenuta in oltre 400 note per la massima parte riguardanti lo studio di sostanze biologicamente

¹ G. SEMERANO, G.B. Marini Bettolo Marconi, amico e collega, «Rendiconti dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL», vol. 108 (1990), Serie V, vol. XIV, tomo II, parte II, pp. 7-12.

attive, studio che comprende tanto l'isolamento e la caratterizzazione strutturale di sostanze naturali, con frequenti accenni alla loro biosintesi, al loro meccanismo d'azione, alla loro funzione nell'ambiente, quanto la sintesi di prodotti farmacologicamente attivi ispirata da molecole modello naturali.

Nel periodo giovanile, precedentemente al trasferimento in Sudamerica, si era impegnato nella sintesi di resine, coloranti e anticrittogamici nella serie del furano, nello studio di complessi mercurio- e cadmio-organici e nella sintesi di antoxantine.

Nel corso del biennio trascorso presso l'Università di Santiago iniziava le ricerche sulle sostanze naturali con lo studio dei polisaccaridi estraibili dalle alghe cilene, una ricca risorsa del Sudamerica promettente di applicazioni, e di piante della Cordigliera delle Ande. A queste prime indagini fitochimiche del 1947-48 seguiva un crescente impegno verso specie vegetali del continente sudamericano (ed in tempi più recenti anche del continente africano) consistenti nell'isolamento, nella caratterizzazione strutturale e, con sempre maggiore frequenza, nella definizione del significato ecologico e/o delle proprietà biologiche di nuovi metaboliti appartenenti alle categorie delle acetogenine, dei terpeni e degli alcaloidi. Soprattutto rilevante è l'insieme di indagini (oltre 50 note e rassegne, a partire dal 1953) sugli alcaloidi curarizzanti di *Strychnos*; esse erano iniziate all'Istituto Superiore di Sanità in collaborazione con Daniel Bovet, da tempo interessato nei curari sintetici e nelle loro applicazioni terapeutiche, ma venivano poi proseguite sistematicamente per oltre 30 anni con i Suoi collaboratori in una prospettiva sempre più ampia.

Ancora nel campo della chimica delle sostanze naturali rivestono elevato interesse anche gli studi sui metaboliti di natura chinonica isolati da funghi e da piante superiori, alcuni citotossici, altri con spiccata attività antitumorale, antimicrobica o fitotossica. Accoglienza particolarmente favorevole hanno avuto i lavori eseguiti nel periodo 1965-69 sulla struttura e le proprietà tossiche dei mansononi, una famiglia di naftochinoni sesquiterpenici responsabili dell'azione irritante della segatura del legno di una pianta dell'Africa tropicale occidentale, la *Mansonia altissima*, sfruttata per usi di falegnameria. L'interesse per i chinoni si era già appalesato nel periodo giovanile a «La Sapienza» ed è documentato da lavori diretti in parte allo studio delle loro reazioni con diazocomposti ed in parte al tentativo di correlarne l'attività antibatterica ed antifungina con il potenziale redox.

La copiosa produzione nel campo delle sostanze naturali ha avuto l'apporto non solo dei collaboratori dell'Istituto Superiore di Sanità, dell'Università Cattolica del Sacro Cuore e dell'Università «La Sapienza», ma anche di numerosi giovani ricercatori sudamericani in gran parte venuti in Italia per specializzarsi con Marini Bertolo. Il flusso di questi studiosi è stato indubbiamente promosso dalla stima da Lui acquisita durante il periodo di docenza nelle Università di Santiago e di Montevideo, stima ulteriormente accresciuta attraverso una lunga consuetu-

dine di visite di lavoro, conferenze, partecipazioni a congressi in vari Paesi latino-americani. Questa ininterrotta attività di collaborazione ha rappresentato da un lato un fattore determinante per l'evoluzione della chimica in America Latina e dall'altro ha enormemente contribuito a far conoscere i risultati della ricerca chimica italiana e ad aprire nuove iniziative culturali tra il nostro Paese ed i Paesi di quel continente.

I lavori di Marini Bettolo nel campo della sintesi di prodotti farmacologicamente attivi, una trentina, sono stati realizzati per la massima parte nel periodo di collaborazione con Daniel Bovet nell'Istituto Superiore di Sanità. È prevalente la pubblicazione nel periodo 1951-1960 di numerose note sui simpatici; queste ricerche, che si ispirano inizialmente al modello naturale dell'ergotamina, producono alcune centinaia di derivati della tetraidro-beta-naftilamina prima, della fenilettilamina e dell'1,4-benzodiossano poi, alcuni dei quali dotati di spiccate attività biologiche.

Fra i lavori scientifici di Marini Bettolo compaiono anche apporti originali all'uso di tecniche chimico-fisiche ed analitiche, soprattutto per la purificazione e la caratterizzazione di sostanze naturali. Particolare enfasi è riposta nelle separazioni con metodi cromatografici ed elettroforetici e mediante distribuzione in controcorrente di alcaloidi e farmaci. Egli è stato fra i primi in Italia ad utilizzare la spettroscopia RMN nella definizione della struttura molecolare di nuovi prodotti (il primo apparecchio commerciale è stato installato all'Università Cattolica nel 1961 presso il Centro CNR di Chimica dei Recettori) ed è stato fra i pochi del Suo tempo a collaborare per lo stesso fine con esperti nella cristallografia a raggi X.

Marini Bettolo ha sempre considerato l'impegno nella didattica inscindibile da quello nella ricerca: ampi segni si trovano nella pubblicazione di numerosi libri di testo per gli studenti. Oltre a quello già ricordato di chimica organica preparativa («Le Reazioni Organiche»), che era stato preceduto negli anni '40 dalla pubblicazione di dispense, Egli aveva curato negli anni '60 la ristampa aggiornata, in qualche caso il rifacimento, dei libri di testo di Chimica organica scritti e curati, finché è stato in vita, dal Suo Maestro Guido Bargellini per i diversi corsi di laurea delle Facoltà di Scienze e di Farmacia. Aveva anche prodotto nello stesso periodo, assieme a E. Cicconetti, due testi di Chimica organica per gli studenti degli Istituti Tecnici Industriali.

La straordinaria vivacità d'ingegno, assieme all'esperienza maturata nell'Istituto Superiore di Sanità, portava Marini Bettolo ad impegnarsi anche in problemi relativi alla salute pubblica e più in generale relativi alla qualità della vita, problemi che investivano istituzionalmente la Sua responsabilità; basterà ricordare la promozione di convegni sui farmaci orfani, sulle piante medicinali e sulla medicina tradizionale, sul ruolo della chimica nell'igiene dell'ambiente, nonché gli scritti sulla normativa e disciplina dei farmaci. Già negli anni '50, nell'ambito del piano quinquennale per lo sviluppo della ricerca nucleare in Italia, aveva colla-

borato alla definizione delle norme per la difesa contro le radiazioni ionizzanti dovute alle esplosioni nucleari nell'atmosfera ed aveva elaborato l'azione tecnico-amministrativa per la soluzione di problemi di protezione dell'ambiente connessi con lo sviluppo industriale, agricolo e dei trasporti.

Particolarmente significativi e ben noti a molti dei presenti sono i contributi di Marini Bettolo nel campo della storia della chimica. Coscio dell'importanza di salvare dall'oblio i contributi scientifici dei chimici italiani, Egli ha operato per mantenerne vivo il ricordo mediante scritti e mediante interventi in convegni, ed ancora promuovendo la costituzione e l'attività di questo Gruppo Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica, del quale fu acclamato primo Presidente.

L'ultima fatica di Marini Bettolo, vissuta con grande passione e intenso impegno e coronata da un successo che Gli è stato di gioioso conforto nel primo periodo della malattia, consiste nel Suo apporto alla ristampa del cosiddetto Tesoro Messicano su iniziativa dell'Accademia Nazionale dei Lincei. La vasta competenza fitochimica, unita alla profonda conoscenza della medicina tradizionale praticata nell'America Latina, aveva indotto Marini Bettolo ad interessarsi di questo trattato sulle risorse naturali del Nuovo Mondo il cui nome originario è *Rerum Medicarum Novae Hispaniae Thesaurus*. Redatto alla fine del XVI secolo dal medico spagnolo Francisco Hernandez, reso noto e commentato da Federico Cesi e poi passato attraverso complicate vicende editoriali, è essenzialmente un repertorio di flora e fauna del Nuovo Mondo, corredato da una ricchissima iconografia, di grande importanza per la storia della scienza. La sua ristampa anastatica, un vanto bibliografico dell'Accademia dei Lincei, preparata nel 1992 in coincidenza con il quinto centenario della scoperta dell'America, è accompagnata da una splendida guida alla lettura che evidenzia chiaramente l'ampiezza e la profondità culturali di Marini Bettolo. Una delle Sue ultime comparse in pubblico dopo l'insorgere della malattia ebbe luogo nel giugno 1993 all'Accademia dei Lincei per presenziare alla presentazione di questa magnifica opera.

* * *

I meriti scientifici e didattici, le qualità organizzative ed i contributi all'affermazione della cultura chimica in Italia e all'estero hanno procurato lusinghieri riconoscimenti ed onori a Marini Bettolo. Gli fu conferita la Medaglia d'oro al merito della Sanità e quella di Benemerito della Scuola, della Cultura e dell'Arte. Professore emerito in varie Università Latino-americane, dottore *honoris causa* in sei università straniere ed in tre italiane (tra cui la Cattolica del Sacro Cuore che Lo ha voluto Dottore in Medicina e Chirurgia dopo averLo avuto per 25 anni Professore di Chimica), membro onorario di varie associazioni scientifiche italiane e straniere, in alcune delle quali venne eletto Presidente, membro del Consiglio Superiore di Sanità e di quello dell'Agricoltura, esperto dell'OMS, consu-

lente della FAO, primo Presidente della Commissione per la Farmacopea Europea e Presidente di quella Italiana, membro di comitati editoriali di periodici scientifici italiani e stranieri. Era stato eletto nel 1961 Socio dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei Quaranta, di cui fu Accademico Segretario e poi Presidente dal 1981 al 1989, nel 1968 Socio della Pontificia Accademia delle Scienze, di cui fu prima Consigliere e poi dal 1988 al 1993 Presidente, Socio Corrispondente nel 1969 e Nazionale nel 1983 dell'Accademia Nazionale dei Lincei; è stato Socio straniero di varie Accademie Sudamericane ed Europee, tra cui la Leopoldina e la Reale Spagnola.

Marini Bettolo è stato Socio della Società Chimica Italiana fin dalla laurea e Presidente della Sezione Laziale dal 1966 al 1975. Nel 1995 veniva nominato Socio emerito della Società con la seguente motivazione che bene sintetizza i caratteri salienti della Sua figura di chimico «... per la sua lunga e qualificata attività di docente di discipline chimiche e di ricercatore nel campo della chimica delle sostanze organiche naturali e in quello della sintesi di prodotti di interesse farmacologico; per l'importante opera svolta a favore della professione del chimico in posizioni di alta responsabilità nelle istituzioni dello Stato; e per l'appassionato impegno nel diffondere in Italia e all'estero i contributi di Italiani al progresso delle scienze sperimentali».

Marini Bettolo ha avuto anche un ruolo prestigioso a livello internazionale in vicende a forte contenuto etico-politico dirette al benessere dell'uomo, fra le quali prevalgono quelle intese al disarmo nucleare e all'edificazione della pace nel mondo. La Sua non comune discrezione, in palese contrasto con gli atteggiamenti antagonisti così spiacevolmente frequenti nel nostro tempo, ha impedito che il Suo impegno in queste vicende venisse compiutamente divulgato. Anche in questo Egli rappresenta un esempio raro di saggezza e buonsenso.

La Sua figura resterà impressa nella memoria di amici, colleghi e allievi tanto per i contributi all'avanzamento della scienza e della cultura quanto per il rigore morale, la profonda umanità, la grande spiritualità.

ERRATA CORRIGE

pagina 21 riga 8 e 9 cancellare

«tra cui la Leopoldina e la Reale Spagnola»

Textile chemistry and industrial culture in the early nineteenth century. Some historiographic reflections¹

Summary - How should the history of the industrial chemists be written? This is the main question I address in this paper, using examples of the 'industrial cultures' of textiles, dyestuffs and calico-printings in nineteenth-century England. In particular, the works of John Mercer (1791-1866), a colourist from northern Lancashire, provide an interesting case study of the history of an industrial chemist — a subtle combination of entrepreneurial dynamism, chemical knowledge, and workshop expertise. The leading lights of the period — Gay-Lussac, Berzelius, Davy, and Dalton — made major breakthroughs; but self-taught, provincial chemists like Mercer also made significant practical and theoretical contributions.

My appraisal of Mercer's achievements will, I hope, underline the fact that certain approaches in the history of chemistry and technology (including the study of the relationships between science and technology) are ill-suited to providing a satisfactory account of the complexity of chemical practices such as calico-printing, photography, or the chemical treatment of textile fibres. I will discuss a number of aspects of the new cultural and social history of science and technology, and their possible application to the history of chemistry.

1. *Industrial chemistry in the mid-nineteenth century: the case of John Mercer.*

John Mercer (1791-1866) was a well-known colourist in mid-nineteenth century Lancashire. He was born near Blackburn, north of Manchester, one of the leading areas of the textile industry, into a family of hand loom-weavers. The young Mercer very soon became interested in natural dyes² and other chemicals used in

(*) Universitat Autònoma de Barcelona.

¹ A full version of my research work on John Mercer has been already published: A. NIETO-GALAN, «Calico-printing and chemical knowledge in Lancashire in the early nineteenth century: The life and 'colours' of of John Mercer», *Annals of Science*, 54 (1), 1997, 1-28. My thanks to the editor of the journal for his permission to reproduce parts of this paper in my lecture to the «VII Convegno di Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica», L'Aquila, 8-11 October, 1997.

² A. NIETO-GALAN, «The use of natural dyestuffs in eighteenth-century Europe», *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 46, 1996, 23-38.

the textile mills in the colouring of the new printed cottons, the calico-printings known as "indiennes". It was in this context of textiles and dyestuffs that John Mercer became 'experimental chemist' in a local factory in 1818, a position in which he was able to produce new colour formulas.¹ In the 1820's, he developed new patents, and organized monthly informal meetings at which he discussed chemical problems with other specialists. Although he spent his life in a single industrial milieu and did not travel abroad, he gained a considerable reputation as an innovator, and intellectual recognition as well, thanks to his inventions in the use of natural colours for cotton.⁴

In 1844, he made a major contribution to the chemical treatment of textile fibres: in all likelihood an accidental discovery,² which was reported some years later in histories of calico-printing:⁶

"... [Mercer] first noticed the action of caustic soda on cotton; he was filtering through six folds of fine cambric some 60 T caustic [solution] when he found his filter cloth had undergone a remarkable change; ... He found, as he said in his patent specifications in 1850, that the cotton ... had become [smaller] thicker and closer, and had acquired greater strength and firmness, and had greatly augmented and improved powers of receiving colours in printing and dyeing".

In fact, not only with an alkaline treatment did the cotton undergo this spectacular change. Diluted sulphuric acid, or a solution of chloride of zinc, produced similar effects.⁷ The fibre actually became stronger and finer, and acquired a surprising attraction for the natural colouring matter.⁸ The advantages could be seen simply by comparing a sample of cloth that had been chemically treated before dyeing with one that had not.

In 1851, the English *Journal of Design and Manufactures*, a review that highlighted the aesthetic quality of the new industrial scale products, published an article on the process of cotton mercerization named after its inventor. The article presented samples of mercerized and non-mercerized cottons; the difference in quality was plain to see.⁹

Mercer displayed some mercerized samples at the Great Exhibition of 1851,

¹ F. GRACE-CALVERT, «On the Influence of Science on the Art of Calico Printing», *Chemical News*, 1 (1860), 150-151.

² John Mercer's Archive, Museum of the History of Science, Oxford, Mus North n. 25. Typescript by E. Houghton, «Pioneers in calico printing».

³ *Mercerization. A practical and historical manual*, London 1903, pp. 90-94.

⁴ John Mercer's Archive, Museum of the History of Science, Oxford, Mus North n. 25. E. Houghton, «Pioneers of calico-printing» s.d.

⁵ Ch. O'NEIL, *Dictionary of Dyeing and calico-printing*, London 1862, pp. 152-153.

⁶ F.H. BOWMAN, *The structure of the Cotton Fibre in its relation to technical application*, Manchester 1881, pp. 53-55.

⁷ J. MERCER, «Mercer's Patent: Improvements in the preparation of cotton and other fabrics and fibrous materials», *Journal of Design and Manufactures*, 5, 1851, pp. 100-103.

where he was awarded a prize.¹⁰ But despite this success, his treatment of cotton fibres remained controversial, and the cost of the process deterred many calico-printers from using it.¹¹ Mercer's biographers, for the most part, agreed that the process:¹² "seemed to promise great results but, unfortunately, it has not turned out so valuable or useful as was expected".

Others questioned the originality of Mercer's process, declaring that before Mercer's experiments specialists were already aware of the action of alkaline lyes on cotton.¹³ Johann Carl Leuchs, the chemist-entrepreneur of a German firm in Nuremberg claimed that his company had discovered mercerization, and several articles appeared to this effect in the famous periodical *Dingler's Politechnische Journal* in 1847. Nevertheless, eventually even the German press acknowledged that Mercer's experiments had begun long before, in 1844.

The spread of Mercer's invention was not helped by the progressive improvements in the mechanical operations of spinning and weaving, and by the emergence of new artificial colours in the second half of the century. Mercerization with acid or basic treatment was not indispensable; the 'spinning-weaving-finishing' technological system could progress without it. In late nineteenth-century histories of textile chemistry, accounts such as the following were common:

"The cost of this mercerizing process seems, however, to have hindered its adoption in practice, and the results which were anticipated to flow from the discovery have not been realized to the extent which seemed probable when it was first announced, while the improvements of spinning, which enable finer and fuller yarns to be produced, have in some measure rendered it unnecessary in a large class of goods".¹⁴

The raw materials required in mercerization were also expensive. Caustic soda was vital to Mercer's process, and since it was not mass produced at that time, its cost was prohibitive. Nonetheless, when the price of soda eventually fell, a number of modifications were introduced in Mercer's process, which were applied and developed in the industrial setting up to the twentieth century.

In spite of the problems it encountered, Mercer's discovery stimulated considerable theoretical debate among chemists and dyers on the chemistry of textile fibres;¹⁵ it led to a great increase in chemical analyses of cotton, linen, silk

¹⁰ *Reports by the Juries on the Subjects in the Thirty Classes into which the Exhibition was divided*, London 1852.

¹¹ F.H. BOWMAN, *The structure of the Cotton Fibre in its relation to technical application*, op. cit., p. 53.

¹² Ch. O'NEIL, *Dictionary of Dyeing and calico-printing*, op. cit., p. 89.

¹³ Mercerization. *A practical and historical manual*, op. cit., pp. 5-6.

¹⁴ F.H. BOWMAN, *The structure of the Cotton Fibre in its relation to technical application*, op. cit., p. 53.

¹⁵ *Idem*, p. 196.

and wool,¹⁶ and microscopic observations of the fibres, and fuelled the controversy surrounding the search for a convincing theory for the complex relations between fibre and colour.¹⁷ Mercerization thus became one of the cornerstones of the flourishing textile chemistry in the science-based industry of the second half of the nineteenth century, and the name of Mercer has been associated ever since with the foundation of a new discipline.

There is no doubt about Mercer's achievements with practical problems in cotton and calico-printing; but what can we say of his contributions in papers and meetings on 'difficult' subjects such as atomic weights, chemical catalysis or molecular arrangements? Lyon Playfair (1818-1898), a pupil of Justus von Liebig, stayed in the Lancashire area as a chemist for two years and became Mercer's friend; he recognized his merits, but left no doubt about the intellectual superiority of the well educated academic chemist.¹⁸ Mercer learned elementary chemical procedures only from reading popular chemistry books, and had no conventional training.¹⁹ Nonetheless, he developed a chemical analysis of the composition and behaviour in solution of a bleaching powder, and studied various oxides and peroxides for generating different colours.²⁰ He also commented on some results on diffusion²¹ in an attempt to link chemical hydration with mobility, viscosity and capillarity. He often applied these concepts to the relation between colours and fibres in the dyeing and printing processes.²²

In spite of his practical uses of chemical equivalents in some analytical experiments, Mercer was also aware of different atomic problems of matter. He presented some conclusions on the possible empirical formulas of nitrogen oxides in 1843,²³ and often discussed atomic and molecular aggregation with his academic friend, proposing a set of two dimension arrangements for different metallic oxides.²⁴ His theoretical concerns even touched on the problem of atomic weights

¹⁶ A. URE, *The Philosophy of Manufactures*, London 1835, pp. 96-97.

¹⁷ P.E. KING, «The Present State of Development of the Theory of Dyeing, with special reference to colloidal and electrical hypotheses and phenomena leading thereto», *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, 35 (1919), 171-177, 190-195; B. BENSALDE-VINCENT, A. NIETO-GALAN, «The theories of dyeing in Europe (1750-1900): A view on a long-standing controversy through the works of Jean-François Persoz», paper presented to the workshop *Natural Dye stuffs in Europe, 1750-1870*, Oxford, January 1996 (in print).

¹⁸ John Mercer's Archive, Museum of the History of Science, Oxford, Miss North n. 27. Lyon Playfair's notes on Mercer.

¹⁹ J. PARKINSON, *The chemical Pocket Book or Memoranda Chemica, arranged in a Compendium of Chemistry*, London 1803.

²⁰ E.A. PARNELL, *The life and labours of John Mercer*, London 1886, pp. 115-124.

²¹ R.A. SMITH, *The life and works of Thomas Graham*, Glasgow 1884.

²² E.A. PARNELL, *op. cit.*, pp. 176-177.

²³ Mercer-Playfair Correspondence, Manchester Central Library MF 887, Letter 9, 19-I-1843.

²⁴ Mercer-Playfair Correspondence, Manchester Central Library, MF 887, Letter 10, n.d., Letter 15, 8-II-1842.

as a criterion for classifying chemical elements.²⁵ In 1846 Mercer complained of his heavy involvement in manufacturing, and his lack of time to think about 'elemental chemistry';²⁶ however, these demands on his time did not stop him expressing his ideas on theoretical problems, which made a large contribution to his practical tests in the factory, and enhanced his public reputation.

2. *New chemical practices: photography.*

Mercer's actual contribution to the new field of photography is unclear, but there is some evidence that he began experimenting as early as the 1820s. Nevertheless, his name never appears in histories of the subject, not even in studies of the forerunners of the official history (which began in 1839, with the first exposures to light of copper plates covered with a layer of silver sensitized with vapour iodine crystals, by Louis Daguerre).²⁷

Unfortunately, there is no further information about Mercer's early chromatic experiments, but the majority of the samples preserved were produced using a procedure described by Mercer himself in a letter to the chemist Lyon Playfair some years later, in 1847:

"I found that if a paper or cotton cloth is smeared with a solution of permanganate or persulphate of iron [III] with certain quantities of oxalic and tartaric acids, dried in the dark, than exposed to the light (solar) and immediately dipped in solution of red prussiate [iron III] containing a little free sulphuric acid ... where the light has caused de-oxidation [iron II], the blue is fixed, and where the peroxide remains unchanged there is no colour. The cloth or paper must be washed immediately in water ... The picture is a reverse blue print ... An exposure of 20 seconds on a dull rainy day sufficed to produce a good blue when the paper was passed through the red prussiate bath".²⁸

This method was based on the chemical and photochemical properties of a family of blue dyes, Prussian Blue and Turnbull's blue, colouring matters that were widely used in dyeing and calico printing. These dyes contain iron in its two main

²⁵ John Mercer, «[Note] On the relation of the Atomic Weights of the Families of the Elements», *Reports of the British Association for the Advancement of Science. Leeds, September 1838*, (1959), pp. 57-59.

²⁶ Mercer-Playfair Correspondence, Manchester Central Library, MF 887, Letter 3, 16-6-1846.

²⁷ A.V. SIMCOCK, «Essay Review: 195 years of Photochemical Imaging 1794-1989», *Annals of Science*, 48 (1991), 69-86; A.V. SIMCOCK, *Photography 150 years. Images from the first generation*, Oxford 1989; H. GRANSHEIM, *The Origins of Photography*, London 1982; H. GRANSHEIM, *A Concise History of Photography*, New York 1986; F.T. HARRISON, *A Manual of Photographic Chemistry including the Practice of the Colloid Process*, London 1855.

²⁸ R. BROUGHTON, «John Mercer's Experiments in Photography», *The Observer*, 20-11-1920, Lancashire Record Office, John Mercer's papers. UDCI 8/19.

degrees of oxidation Fe(II)/Fe(III), depending upon their exposure to light, as Mercer was well aware.²⁹ The importance of the fastness of colours fixed on cloth and the routine of repeated experiments with exposures to sunlight were probably influential in linking Mercer's interest in photography with dyeing and printing. With the application of the so called "discharge-resist" process, widely used in the everyday work in the calico-printing factories, he was also able to exchange colours on the cotton prints to provide a huge range of monochrome photographs through dyeing.

Mercer also saw photographic experiments as a way of measuring light. He took great pleasure in testing different colours and exposures,³⁰ as he wrote in 1857:

"for the last two or three years I have occasionally amused myself with making photographic experiments, not as an artist, but rather as a chemist. Some of my results are interesting. One is a simple method of measuring the chemical power of the solar rays. ..."³¹

But probably Mercer's most original contribution — the one which would earn him a place in the history of photography — was his experimental study of various metals that provide different colours depending upon their degree of oxidation and their combinations with different natural dyestuffs. Some 'metallic bases', or mordants, of lead, zinc, tin, mercury, silver, gold or manganese were combined after exposure to sunlight to natural dyestuffs such as madder, cochineal, logwood, murexide, quercitron bark, prussiates, chromates, etc. These were clear examples of the connection between photography and dyeing and calico-printing.³² Mercer's chromatic prints are evidence that similar skills and chemical knowledge converged in technical branches of the production of colour, such as photography and textile dyeing and printing in the first decades of the nineteenth century.

3. *The social status of the industrial chemist.*

Mercer's rise from humble origins to social and scientific eminence is not without parallels in early Victorian Britain, a society in which certain individuals were able to improve their social position due to their scientific discoveries.³³ "... George Stephenson, inventor of the locomotive, was taught in the mine, the engine house and the tramway, Hargreaves of 'Spinning Jenny' fame was a cotton weaver,

²⁹ G.B. KAUFFMAN, *Inorganic Coordination Compounds*, London 1981.

³⁰ E.A. PARNELL, *op. cit.*, pp. 220-230.

³¹ Mercer compared his method with another developed by the German chemist Robert Wilhelm Bunsen. See E.A. PARNELL, *op. cit.*, pp. 220-230.

³² *Idem*, p. 226.

³³ J.B. MORRELL, "Individualism and the Structure of British Science in 1830", *Historical Studies in the Physical Sciences*, 3 (1971), 183-204; *Gentlemen of Science. Early Years of the British Association for the Advancement of Science*, edited by J.B. MORRELL, A. THACKRAY, Oxford 1981.

Arkwright of the circular carding machine was a barber, Crompton inventor of the Mule was a weaver, Mercer was [also] a weaver ...".³⁴

Mercer's social ascent probably began in 1841, when Lyon Playfair came to Lancashire to broaden the 'chemical life' of the district.³⁵ Although Playfair was not in the area long — only two years — he advocated closer connections between chemistry, dyeing and printing, and gathered together a group of some thirty people interested in the subject in monthly meetings at his home, at Whalley, a small town near Great Harwood, and later in the pub, the 'Whalley Arms'. In this way, the practical knowledge of the factories was linked with chemical experts trained in cities in the forefront of science.³⁶

In Section II of the programme at the Great Exhibition of London in 1851, which focused on innovations in different chemicals, almost half of the exhibits were connected with printing and dyeing processes.³⁷ Mercer showed his own samples in Section IV (textile fibres), and acted as a juror in Section II (chemicals). Queen Victoria received a collection of Mercer's printed handkerchiefs;³⁸ and at this public celebration of the nation's prosperity, he was introduced to academic and political circles. Lyon Playfair, the Special Commissioner of all the Jurmencies, was again largely responsible for Mercer's social recognition.³⁹ In 1852 Mercer was elected Fellow of the Royal Society;⁴⁰ in 1849, he had become a member of the Literary and Philosophical Society of Manchester, and some years later, he also joined the Glasgow Philosophical Society. In 1862, now in the last years of his life, he took charge of the Jury of the new International Exhibition held in London.

Mercer's figure and personality exercised a notable influence on other chemists, industrialists and manufacturers, during his lifetime, and even more so after his death. The process of mercerization itself was mentioned in most textile chemistry books published in the late nineteenth century and the first decades of the twentieth century.⁴¹ In spite of the difficulty of making mercerization a commercial success, the chemical modification of textile fibres was studied by later chemists,⁴² and samples of 'mercerized' cotton were distributed among textile factories.

³⁴ John Mercer's Archive, Museum of the History of Science, Oxford, Miss North, n. 25. Typescript by E. Houghton, «Pioneers in calico printing».

³⁵ R. KARIGON, *Science in Victorian Manchester. Enterprise and Expertise*, Manchester 1977, p. 89; A. ROBSON, *The History of William Blythe Limited* (unpublished typescript), p. 4.

³⁶ *Metropolis and Province. Science in British culture, 1780-1850*, edited by I. INKSTER, J. MORRILL, London 1983.

³⁷ *Reports by the Juries on the Subjects in the Thirty Classes into which the Exhibition was divided*, London 1852.

³⁸ E.A. PARNELL, *op. cit.*, p. 204.

³⁹ D. KNIGHT, *Ideas in Chemistry*, London 1992, pp. 107-108.

⁴⁰ John Mercer's Archive, Museum of the History of Science, Oxford, Miss North, n. 25. Typescript by E. Houghton, «Pioneers in calico printing».

⁴¹ F.H. BOWMAN, *The structure of the Cotton Fibre ...*, *op. cit.*, p. 53.

⁴² *Mercerisation. A practical and historical manual*, *op. cit.*, pp. 3-10.

Mercer's ability to amass practical and theoretical knowledge was especially admired (even by Playfair, in spite of his feelings of superiority). Edward Baines, the English chemist who wrote a famous *History of the Cotton manufacture in Britain* in 1835, saw Mercer "as an ingenious individual possessing a store of knowledge and facts unknown to scientific chemists".⁴³

Others saw Mercer's life and achievements as "the history of a man, whose name as a calico printer, industrial chemist, and inventor, is known to scientific men throughout Europe. There is nothing in his life which is not at least a subject of laudable emulation to you. He was simple, sober, pious and genial in his personal intercourse".⁴⁴

Even as late as 1944, the Manchester Section of the British Society of Dyers and Colourists, founded sixty years before,⁴⁵ inaugurated the "John Mercer Lecture". In a meeting at the Grand Hotel of Manchester, on 19 May, under the title "Science in an Old Industry", Mercer's figure was taken as a model for dyers and printers in their search for an ideal balance between science and industry. The authors of the first John Mercer lecture, McCulloch and Hibbert, were members of a company with a direct descendant of the firm of which Mercer was an employee, and later a partner. During the speech they declared:

"... again we can turn to Mercer, for the broader lessons of his experience lie open to us, and they embody nearly all we need to know as industrialists in order to gain and hold premier place. Today we are being pressed from all quarters to recognize the benefit that comes when scientific theory is allied to industrial practice ... Why are we slow to learn the lesson fully? Is it that the British are practical people and that the history of the last one hundred and fifty years confirms them in their belief in their own outlook?"⁴⁶

Mercer represented the dream of the industrialist: to assimilate academic science as a way of obtaining social prestige and broader possibilities to improve the efficiency of technical process at a time in which a second chemical revolution and the synthetic dyes industry had transformed the old picture of the early Victorian years. Dr. Cronshaw, the president of the Society of Dyers and Colourists, introduced the speakers, and paid tribute to Mercer as an example of a deep involvement in industry combined with significant contributions to science. It was again a sort of mythology of the humble, now applied to dignifying the professional status of the

⁴³ Cited by C.A. RUSSELL, N.G. COLEY, G.K. ROBERTS, *Chemists by profession: The Origins and the Rise of the Royal Institute of Chemistry*, Milton Keynes, 1977, p. 32.

⁴⁴ E. HOUGHTON, «Pioneers in calico printing» n.d. John Mercer's Archive, Museum of the History of Science, Oxford, Miss North B. 25.

⁴⁵ M. TORDOFF, *The Servant of Colour. A History of the Society of Dyers and Colourists: 1884-1984*, Bradford 1984.

⁴⁶ N.G. McCULLOCH, G.S. HIBBERT, «Science in an Old Industry», *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, 60, 1944, 258-263, p. 260.

twentieth-century industrial chemists. During the Second World War,⁴⁷ Mercer's example was evoked when "... the word research ... [was] on everybody's lips, and the potential influence of science and scientists on industry [was] ... receiving general recognition". Mercer was perceived as a sort of mythical British pioneer of the application of scientific research to industry.

Even later, in 1950, during the Jubilee of the British Cotton and Wool Dyers Association, Mercer was formally remembered as a great contributor to textile chemistry, and, in spite of the increasing production of artificial fibres,⁴⁸ mercerization was praised as one of the association's major endeavours. Indeed, one of the pioneers of the history of chemical technology, Dr. Sidney Edelstein, worked with the U.S. army on the eve of World War II on the development of a chemical test for mercerized cotton fibres, reviewing Mercer's original patent a century later.⁴⁹

The German coal-tar dyestuff industry, which flourished in the last decades of the nineteenth century, provided professional experts to give technical assistance to the British textile firms for the finishing process. This blocked the entrance of academic chemists into the British factories, as already stated in the 1944 speech in Manchester (I quote): "the need foreseen by Mercer and others for scientific personnel within the industry was thus partially satisfied from outside, and may well have prompted hard-pressed industrialists of the time to allow this to suffice, so contributing to slowing down the employment of scientists within industry".⁵⁰ Science-based industry required new links between academic knowledge and industrial practices, and Mercer was seen again as an ideal bridge.

4. How should the history of nineteenth-century industrial chemists be written?

The example of John Mercer will shed light on the social role and involvement of nineteenth-century industrial chemists. Mercer worked in a context in which common problems were shared in the Whalley meetings, and in trips to other countries; foreign experts were invited, and great attention was paid to scientific developments in cities such as Glasgow, London or Manchester. He was one of those emblematic individuals who embraced a concept of 'chemist' that was a combination of theory, practice and social recognition, a combination that is difficult to generalize or standardize.⁵¹ Mercer was not an entrepreneur, nor a

⁴⁷ R. MACLEOD, «The chemists go to War: The mobilization of civilian chemists and the British War effort, 1914-1918», *Annals of Science*, 50, 1993, 455-481.

⁴⁸ *Jubilee. The British cotton and wool dyer's association Limited 1900-1950*, Bradford 1950, p. 6.

⁴⁹ See Melvin Kranzberg in his Introduction to: *Biblioteca Tinctoria. Annotated Catalogue of the Sidney M. Edelstein Collection in the History of Bleaching, Dyeing, Finishing and Spot removing*, edited by M. ROW (Jerusalem 1991).

⁵⁰ N.G. McCULLOCH, G.S. HIBERT, «Science in an Old Industry», op. cit., p. 259.

⁵¹ G. DODD, *The Textile Manufactures of Great Britain*, London 1844, p. 85.

traveller in search of international innovations in calicoes; nor was he an academic chemist like Playfair with a university degree and outstanding professors to work with and imitate. He did not have bourgeois tastes, or bourgeois ideas of refinement.

As James Donnelly mentioned in his recent paper on the History of the British alkali industry,³² in the years before 1850 complex, private routes of training were widely developed, but there was little standardization, institutional protection, or division of functions. In contrast, many professionals in the second half of the century were trained in new institutions able to standardize the practice of chemistry, which became increasingly routinized.

Mercer's context was still a world of 'amateurs';³³ the scientific arena of early Victorian Britain was made up by a complex mix of late professionalism, active social groups, people of humble origins, manufacturer-scientists, religious dissenters, local elites, and political radicals.³⁴ Mercer, like the other figures in the circle of calico-printers in Lancashire, presents problems to historians tempted to take simplistic 'photographs' of the past, or to define excessively broad categories in which to classify ideas, people and practical achievements.

The example of John Mercer may reflect some of the problems facing historians of chemistry in their attempts to write the history of 'second class' figures of this kind. The leading nineteenth-century chemists have aroused great interest among scholars, but the majority of the famous names of the history of chemistry are mainly known as the authors of new chemical theories and ideas. There is always a danger of writing tunnel history, which describes industrial chemists as the agents of the application of academic knowledge to industries and workshops, often ignoring contributions from those on the periphery.

In 1983, the British historian of chemistry William Brock provided a historiographic review of the discipline in his collaboration to the book *Information sources in the history of science and medicine*, edited in Oxford by Pietro Corsi and Paul Weindling. Brock devoted only a short paragraph at the end of his chapter to industrial chemistry, citing some classical works from the 1970s (Idhe, Glow, Musson and Robinson, Multhauf, J.G. Smith, Gillispie, Beer, Haber, Campbell).³⁵ Other more recent histories of chemistry also reflect the lack of a strong

³² J. DONNELLY, «Consultants, Managers, Testing Slaves: Changing Roles for Chemists in the British Alkali Industry, 1850-1920», *Technology and Culture*, 35 (1994), 100-128. See also D. KNIGHT, *op. cit.*, pp.110-111; W.H. BROCK, *The Fontana History of Chemistry*, London 1992, p. 310.

³³ R. KARGON, *Science in Victorian Manchester*, *op. cit.*

³⁴ S. SHAPIN, A. TIERCKRAY, «Prosopography as a Research Tool in History of Science: the British Scientific community 1770-1900s», *History of Science*, 12 (1974), 1-28; S. SHAPIN, «The Pociety Philosophical Society, 1819-1835: an Examination of the Cultural Uses of Provincial Science», *Science Studies*, 2 (1972), 311-336.

³⁵ W. BROCK, «History of Chemistry» in P. CORSI, P. WEINDLING (eds.), *Information sources in the History of Science and Medicine*, London 1983, pp. 317-346.

historiographic framework for industrial chemistry, in comparison with the relatively good health of other topics such as alchemy, Paracelsian chemistry, Newtonian affinities, the chemical revolution at the end of the eighteenth century, or chemical nomenclature.

The history of soda production from Leblanc to Solvay, the developments in agricultural chemistry and the central role of Justus von Leibig, and the rise of artificial dyestuffs in the second half of the nineteenth century are told as more or less standard accounts in Bernadette Bensaude's and Isabelle Stengers' *Histoire de la chimie*, and in Brock's *Fontana history of chemistry*.⁵⁶ In spite of the increasing number of studies on the history of chemical industries,⁵⁷ neither the classical history of chemistry nor that of business and economics provide a complete genuine framework for the understanding of the role of the industrial chemists, in the nineteenth century at least.⁵⁸

As Bernadette Bensaude and Isabelle Stengers pointed out in their *Histoire de la Chimie*, the categories of 'pure' and 'applied' chemistry are unable to provide a full explanation of the complex relations between science and industry in the nineteenth century. The large scale production of artificial goods can be explained by a group of different factors (economy, technology, industrial organization, patents, trade, national rivalries, etc.), a framework in which professional academic chemists progressively involved in industry played only a minor role.⁵⁹

In 1958, with the creation of the Society for the History of Technology in the United States, and the appearance of the journal *Technology and Culture*, the history of technology, as an independent domain of interest among historians and historians of science, was beginning to grow. And, even before the rise of this new community of American scholars, earlier classic histories of technology already included chapters on the development of chemical industry.⁶⁰ In 1954, Singer, Holmyard and Hall edited a five-volume *History of Technology* sponsored by Imperial Chemical Industries (ICI), and by Dr. Cronshaw, the president of the Society of Dyers and Colourists. The book focused on the history of the chemical industry in the general framework of the history of technology, and covered subjects such as heavy chemicals, dyestuffs, explosives, fine chemicals, textiles, rubber, metals.

Some years later, these detailed chronological descriptions of the main technical

⁵⁶ W. BROCK, *The Fontana History of Chemistry*, op.cit., B. BENSUAUDE-VINCENT, I. STENGERS, *Histoire de la Chimie*, Paris 1993.

⁵⁷ J.F. STURCHIO (ed.), *Corporate history and chemical industry*, Philadelphia 1985.

⁵⁸ J. DONNELLY, «Industrial recruitment of chemical students from English Universities: a reevaluation of its early importance», *British Journal of the History of Science*, 24, 1991, 3-20.

⁵⁹ B. BENSUAUDE-VINCENT, I. STENGERS, *Histoire de la Chimie*, op. cit., pp. 136-137.

⁶⁰ Cf. SINGER, E.J., HOLMYARD, A.R., HALL, J.A., WILLIAMS, J.A., *History of Technology*, Oxford 1954-1958 (5 vols.).

achievements in history were followed by outstanding books like Bertrand Gille's *Histoire des Techniques* (1978). Its definition of "technical system" (a technological analogy to Thomas Kuhn's paradigm) contributed to the construction of a more substantial theoretical framework for the history of technology as an emerging discipline, and for the explanation of the technological change in history. A technical system, as a tool to study the mechanisms of the consistency of a set of objects and operations that coexisted at any particular time, provides an interesting pattern for the study of complex chemical processes in industry.

In the 1970's, and probably in response to the growth of the history of technology as an independent discipline, together with a reaction against the Marxist influence in academic circles, a very lively debate about the relationships between science and technology broke out. It was the controversy about the "role of science in the industrial revolution". Leading historians of modern industry and chemical technology argued that new scientific theories and methods, from the seventeenth century revolution of knowledge onwards, were key factors in the development of the industrial revolution. This was, for example, the position of Musson and Robinson, *Science and Technology in the Industrial Revolution* (1969), Clow, *The Chemical Revolution* (1952), Smith, *The Origins and Early Development of the Heavy Chemical Industry in France* (1979), etc.⁵¹

Others argued that science, especially chemistry, had little or no influence on the promotion of industrial technology, at least until the first decades of the nineteenth century: Among these authors were Charles Gillispie in "The natural History of industry" *Isis*, 48, 1957; Rupert Hall in a famous paper "What did the industrial revolution in Britain owe to Science?" (1974), Homer Legrand, with his study of the role of chemistry in provincial French cities like Montpellier, etc.⁵² They presented a number of case studies in which technical improvements appeared to have little to do with the new chemical theories. The production of mineral acids, or Leblanc's artificial soda⁵³ obtained from sodium chloride, were commonly used examples.

Whatever conclusions may be reached on that debate, the development of

⁵¹ A. CLOW, N. CLOW, *The Chemical Revolution*, London 1952; A.E. MUSSON, E. ROBINSON, *Science and Technology in the Industrial Revolution*, Manchester 1969; G.J. SMITH, *The Origins and Early Development of the Heavy Chemical Industry in France*, Oxford 1979; Ch. PERRIN, «Of theory shifts and industrial innovations: the relations of J.A. Chaptal and A.L. Lavoisiers», *Annals of Science*, 43, 1986, 511-543.

⁵² H. LE GRAND, «Chemistry in a provincial context: The Montpellier Société Royale des Sciences in the eighteenth century», *Ambix*, 29, 1982, 88-105; Ch. GILLISPIE, *Science and Polity in France at the End of the Old Regime*, Princeton 1980; Ch. GILLISPIE, «The natural History of industry», *Isis*, 48, 1957, 398-407; R.A. HALL, Rupert, «What did the industrial revolution in Britain owe to Science» in N. MCKENZIE (ed.), *Historical Perspectives: Studies in English Thought and Society in Honour of J.H. Plumb*, London 1974, pp.129-151.

⁵³ Ch. GILLISPIE, «The Discovery of the Leblanc Process», *Isis*, 48, 1957, 152-170.

various chemical technologies during the Industrial Revolution,⁶⁴ and the applications of chemistry in workshops and factories deserve further examination. It is a topic which is particularly relevant to an understanding of the complex interplay between theory and practice in the early decades of the nineteenth century, a period in which the progressive social recognition of 'chemists' as new professionals emerging from medical and artisan backgrounds, played an increasing role in the practical world of manufacture,⁶⁵ and the usefulness of the new chemistry was proclaimed from numerous academic forums across Europe. The interest of artisans and new industrialists in the possibilities of the new science for practical applications in the factory also began to grow.⁶⁶ Chemical manufacturers published books on the theory and practice, mixing 'pure' and 'applied' chemistry.⁶⁷ Some of them attended lectures at universities, private laboratories or scientific societies,⁶⁸ and often followed them up with bold industrial experiments. Practical men, proud of their mechanical and manual skills, approached abstract concepts in an attempt

⁶⁴ The main contributions to the history of chemical technology in the early industrial times mainly date from the 1960s and 1970s: A. CLOW, N. CLOW, *The Chemical Revolution*, op. cit.; A.E. MESSON, E. ROBINSON, *Science and Technology in the Industrial Revolution*, op. cit.; J.G. SMITH, *The Origins and Early Development of the Heavy Chemical Industry in France*, Oxford, 1979; W.A. CAMPBELL, *The Chemical Industry*, London 1971; H. GUEHLAC, «Some French antecedents of the chemical revolution», *Chymia*, 5, 1959, 73-112; R.P. MULTHAUF, *Neptune's Gift. A History of Common Salt*, London 1978; R.P. MULTHAUF, «Salt Ammoniac: A case history in industrialization», *Technology and Culture*, 6, 1965, 569-586. For the case of dyeing B.W. KEYSER, «Between Science and Craft: The Case of Berthollet and Dyeing», *Annals of Science*, 47, 1990, 213-260.

⁶⁵ R.F. BUD, G.K. ROBERTS, *Science versus Practice. Chemistry in Victorian Britain*, Manchester 1984, pp. 15-17; C.A. RUSSELL, et al., *Chemists by Profession*, op. cit.

⁶⁶ For example, Ch.E. PERRIN, «Of theory shifts and industrial innovations: the relations of J.A. Chaptal and A.L. Lavoisier», *Annals of Science*, 43 (1986), 511-543; H.E. LE GRAND, «Chemistry in a provincial context: The Montpellier Société Royale des Sciences in the eighteenth century», *Ambix*, 29 (1982), 88-105; Ch. GILLESPIE, *Science and polity in France at the End of the Old Regime*, Princeton 1980; R. FOX, «An Uneasy Courtship: Rhetoric and Reality in the Relations between Academic and Industrial Chemistry», in *IV National Meeting «Storia e Fondamenti della Chimica, Venezia, 7-9 novembre 1991» (Venice 1991)*, pp. 1-5; Ch. MEDINI, «Theory or practice? The eighteenth-century debate on the scientific status of chemistry», *Ambix*, 30, 1983, 121-132.

⁶⁷ S. PARKES, *Chemical Essays principally related to the Arts and Manufactures of the British Dominions*, (5 vols), London 1815; E. BANCROFT, *Experimental Researches Concerning the Philosophy of Permanent Colours; and the Best Means of Producing Them, by Dyeing, Calico Printing*, London 1794; J. HAZEL, *The Dyer's Assistant in the Art of Dyeing Wool and Woolen goods*, London 1800; Ch. O'NEILL, *Dictionary of Dyeing and Calico-Printing*, London 1862; A. USE, *The Philosophy of Manufactures*, London 1835; E.A. PARNELL, *Applied Chemistry in Manufacture, Arts and Domestic Economy*, (2 vols), London 1844; W.T. BRANDE, *A Manual of Chemistry*, London 1819.

⁶⁸ J.E. McCLELLAN, *Science Reorganized: Scientific Societies in the Eighteenth Century*, New York 1985; *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII^e siècle*, edited by R. TAZON, Paris 1964.

to broaden their knowledge in an industrial milieu undergoing rapid transformation towards new ways of organization and production.

In spite of a certain inevitable reluctance to 'scientifically' old artisan procedures, and occasionally disparaging attitudes towards large scale industrial operations on the part of some educated chemists, the fact is that in the early nineteenth century the distinction between science and technology, or between the theory and practice of chemistry linked to industry, became blurred. Cases such as Mercer's are difficult to classify under the sweeping historical categories like 'science' and 'technology' that characterized much of the debate during the 1970s.

In the concluding remarks of the 1995 ESF workshop "Lavoisier in European context. Negotiating a New Language for Chemistry", organized by Bernadette Bensaude and Ferdinando Abbri, Frederick L. Holmes introduced an interesting concept in his examination of the varied reaction to the new French Nomenclature at the end of the eighteenth century, a new theoretical framework for the chemists. Holmes used the term 'cultures of chemistry' in the following sense:⁶⁹ "Those who studied, practiced, or used chemistry can be divided into categories, such as those who taught the subject in medical schools, those who taught it in other contexts ... those who applied it to agricultural or industrial problems, or apothecaries ...". In the industrial and technological domain, metallurgy, glass and pottery making, heavy chemicals, dyeing, distillation, or the practices of druggists, apothecaries, drysalter, etc., were some of those genuine 'cultures'.

Although Professor Holmes is critical of some of the recent approaches of the new social and cultural history of science, I think that his concept of cultures of chemistry is close to a history of contingent chemical practices, in which simple everyday activities, tacit knowledge, spaces of validation, objects, instruments and laboratories take pride of place. In this context, it is perhaps probably better to forego the historical category "science", and talk rather of disciplinary fields, instruments, and cognitive practices.⁷⁰ A more symmetrical history, avoiding success and failure as categories, seems better suited to the study of secondary industrial chemists like John Mercer.

I would like to return now to Mercer's blue print photographs and analyze them in accordance with some of the interpretative keys of the new trends in the history of science and technology. First, the making of these photographs (preserved in the Lancashire Record Office in Preston, near Manchester) required

⁶⁹ I borrow the idea of the 'cultures of chemistry' from: F.L. HOLMES, «Beyond the Boundaries: Concluding Remarks on the Workshop» in *Lavoisier in European Context. Negotiating a New Language for Chemistry*, edited by B. BENSAUDE-VINCENTY and F. ABBRI, Canton 1995, pp. 267-278.

⁷⁰ D. PESTRE, «Pour une histoire sociale et culturelle des Sciences. Nouvelles définitions, nouveaux objets, nouvelles pratiques», *Annales Histoire, Sciences Sociales*, mai-juin 1995, pp. 487-522.

a diversity of skills (the techniques of fixation of natural colours on a cotton cloth, knowledge of the chemistry of light, of the degrees of oxidation of metals, etc.). In addition, Mercer used 'discharge-resist' processes to swap colours on the photographic cotton prints. Light was another chemical element considered to have chemical affinity with other substances (vegetables and metals, in particular).⁷¹

Photography, then, can be seen as a sort of "mediator" between the cultures of chemistry: practical dyers and calico-printers, natural philosophers engaged in experiments about the nature of light; drysalterers who sold colours and metallic salts; academic chemists who discussed the relationship between the degree of oxidation of metals and the shade of a definite colour; eminent Victorians who controlled the public arena of London, a refined culture of gentlemen of science, whose spaces of validation Mercer joined after his success in the Great Exhibition, in 1851. A photography is here not far from a chemical instrument (like a balance or a calorimeter) another sort of "mediator", following the definition of the American historian Norton Wise.⁷² In his view, a "mediator" is an object that materializes scientific, technological and cultural connexions which are not obvious at first glance, and which would never appear in a more traditional tunnel history approach.

It is a question of studying particular objects in a broader technological system, which includes sociological and cultural factors, and which can deepen our understanding of the role of industrial chemists. Taking Gille's original concept of the technical system, the American historian of technology Thomas Hughes added to Gille's scheme actors, institutions, political and economic factors, in his *Networks of Power* (1983), a masterpiece of the history of electrification in Western societies. "Hughes' definition is meant to establish a strong link between technology and the institutional and professional organization that create and sustain it".⁷³

Even accepting James Donnelly's hypothesis, and acknowledging that in the first decades of the nineteenth century, industrial chemists (especially British ones such as John Mercer), learnt their field outside any fixed institutional framework, important elements of a very consistent sociology of knowledge in Hughes terms should not be ignored. In my attempts to reconstruct Mercer's routes of learning, I discovered a very complex network of chemists and calico printers, which might explain the great success of this man of humble origins.

⁷¹ M.P. CROSLAND, *In the shadow of Lavoisier: The Annales de Chimie and the Establishment of a new Science*, Oxford 1994; A.E. SHAPIRO, *Fits, Passions and Paroxysms*, Cambridge 1993.

⁷² N. WISE, «Mediators: Enlightenment Balancing Acts», in P. HORNICH (ed.), *World Changes. Thomas Kuhn and the Nature of Science*, Cambridge Mass. 1993, pp. 207-256; N. WISE (ed.), *The values of precision*, Princeton 1995, pp. 3-13.

⁷³ A. PIGON, «Towards a history of technological thought», in R. FOX (ed.), *Technological Change. Methods and Themes in the History of Technology*, Amsterdam 1996, 37-50, p. 38.

Mercer patented⁷⁴ his major inventions with some of the members of the Whalley network. He also worked together, in both theoretical and practical concerns, with the large community of calico-printers offering chemical, mechanical and artistic skills. Their findings were introduced into everyday work in the factory, experiments, large scale production and theoretical speculations.

Chemical skills and practical experience of dyeing evolved in a cosmopolitan or international community of actors, who established strong personal and professional links in their uses of natural colours. The complexity of the procedures, the scientific discussions involved and the need for a huge range of exotic raw materials gradually broke down the secrecy of the old guild system, and the sociology of the 'chemists-dyers' may well shed some light on our understanding of this specific technology. Analogies with the 'savants' of the old 'République des Lettres', are inevitable here, especially since the priority of the relationships between individuals across national borders are in both cases emphasized.⁷⁵ In fact, the old "compilateurs" of formulas progressively became compilateurs of the names of the actors involved in this technology in the textbooks.⁷⁶

A closer appraisal of these cultures of chemistry in different historical periods may well challenge the dominance of traditional categories such as 'science' and 'technology', 'pure' and 'applied' science, 'academy' and 'industry'. The experiments in photography mentioned above, and the problem of mercerization illustrate the fact that new historical categories are required.

Moreover, as Ernst Homburg pointed out some years ago in reference to the dyestuffs industry, the craftsman tradition of the small scale dyer progressively became, in the second half of the nineteenth century, a laboratory enterprise in which the colourist,⁷⁷ often trained at prestigious chemistry schools, was an emerging new professional. Outstanding figures like Chevreul, Persoz, Bolley or Schützenberger were renowned teachers in technical schools, as well as writers of

⁷⁴ "Late eighteenth century Englishmen believed themselves to be living in an 'inventive age' a 'scientific age' on a 'century ... remarkable for an accumulation of ingenuity. They were proud of their country's technical achievements and a few recognized their potentiality for economic growth". Cf. MACLEOD, *Inventing the Industrial Revolution. The English Patent System 1660-1800*, Cambridge 1988, p. 222. H.I. DUTTON, *The Patent System and Inventive Activity during the Industrial Revolution 1750-1852*, Manchester 1984.

⁷⁵ L. DASTON, «Nationalism and Scientific Neutrality under Napoleon», in T. FRANGSMEYER (ed.), *Solomon's house revisited. The Organization and Institutionalization of Science*, London 1991, pp. 95-119.

⁷⁶ The history of synthetic dyes has been studied in recent years: A.S. TRAVIS, *The Rainbow makers. The origins of the Synthetic Dyestuffs Industry in western Europe*, Lehigh 1992; E. HOMBURG, «The influence of demand on the emergence of the dye industry. The roles of chemists and colourists», *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, 99, 1983, 325-332; J.J. BEER, *The Emergence of the German Dye Industry*, New York 1981.

⁷⁷ E. HOMBURG, «The influence of demand on the emergence of the dye industry ...», *op. cit.*, p. 312.

treatises of 'applied chemistry' on dyeing and printing, and worked in close proximity with the everyday problems of the factory; like Mercer, they became professionals of "textile chemistry", building a kind of bridge between different cultures of chemistry.

It was probably just a step before the German 'industrialization of invention' in which, as Meyer-Thorow stated in the case of Bayer in the last decades of the 19th century: "... the relationship between science and industry changed in a very decisive way ... Large company laboratories were set up. The 'consulting scientist' and the 'scientific entrepreneur' were replaced by the salaried industrial research worker".⁷⁸ Meyer agreed that only further research could provide a broader overview of the history of the chemical industry and the professional industrial chemist. And there is no doubt that massive changes in organization separate the isolated expert dyer of the eighteenth century and the industrial research teams of the twentieth. Accepting the lack of a broad overview, we should perhaps pursue research in local case studies which might show, as Mercer's case does, the multiplicity of the roads which constitute that ideal bridge between chemistry and industry.

When extending Meyer's study to other German firms, Ernst Homburg shows the importance of management and organization of the industrial research laboratories, and the need we have as historians to open the "black box" of every laboratory and factory. As Peter Morris pointed out in his appraisal of the German dye industry,⁷⁹ academic chemists were often invited by industrialists to explain the fundamental principles of an industrial process. Established procedures underwrote this kind of relationship. Nevertheless, the intrusion of industrial chemists into the world of academic research has not usually been so smooth. In any case, when analysing the concrete practices of academic and industrial chemists the distinctions become more vague, and the place of the latter in the black box of the industrial culture is still poorly understood.

Returning to the meeting of the Society of Dyers and Colourists in Manchester in 1944, some remarks made just after the reading of the John Mercer Lecture are of interest. In a vote of thanks to the lecturers, Mr. J.T. Marsh, whose idea the Mercer lectures had been, declared: "A pertinent analogy might be drawn between research organizations and chemical compounds. We had some single elements of very great activity ... then we had a few different atoms united in a small compound which may be mobile, reactive and capable of penetrating almost

⁷⁸ G. MEYER-THOROW, «The industrialization of invention: A case study from the German chemical industry», *Isis*, 73, 1982, 365-381.

⁷⁹ P. MORRIS, «The technology-science interaction: Walter Reppe and cyclooctadiene chemistry», *British Journal for the History of Science*, 25, 1992, 145-167. On the relationship between academic chemists and industry: P. MORRIS, *The American Synthetic Rubber Research Program*, Philadelphia 1989; J.L. STURCHIO, *Chemists and industry in Modern America: Studies in the Historical Application of Science Indicators*, University of Pennsylvania Ph.D. 1981.

everywhere. Finally we had the high polymer with its elaborate organization of a large number of atoms imparting stability, toughness and strength. All were of value in science and scientific research.⁸⁰ Finding their rightful place inside the 'big molecule', in the 'black box' of industry has probably been the main challenge for industrial chemists in the last 200 years, and a fundamental prerequisite for their social recognition as professionals.

⁸⁰ N.G. McCulloch, G.S. Huxter, «Science in Old Industry», op. cit., p. 262.

PAOLA CARUSI (*)

L'alchimia secondo Picatrix (**)

Summary — Of the many texts on alchemy produced in Arabic in Moslem Spain between the 10th and 12th centuries, the treatise *Rutbat al-ḥakīm* (the step or propaedeutic way, of the wise) is of quite special interest. In the first place because it represents the alchemical side of the much more widely known work on natural magic, *Ġāyat al-ḥakīm* (the aim, or the extreme limit, of the wise), known in Latin as *Picatrix* (the two works, *Ġāya* and *Rutba*, are attributable to the same author, called *Picatrix* in Latin as both the name of the author and title of the *Ġāya*). And also because, on the basis of more recent studies that are still proceeding, these two works, which have hitherto been considered as 11th century, seem to belong to the middle of the previous century, with consequences of no little weight in relation to transmission of the natural philosophy by which they are inspired.

In the introduction that precedes the *Rutba*, and in the first three *maqālat* (long chapters) out of the four of which the work is composed, the author addresses themes of fundamental importance for proper understanding of the alchemical discipline, including the position of alchemy in the classification of the sciences, the sources on which theoretical and practical knowledge of the discipline must be based, and the definition of the *iskit* (elixir, the agent which, in the framework of the alchemical theory of the organisation of the universe and of the constitution of matter, makes chemical transformation possible through the action exerted by its nature). It is to these themes, specifically as developed by the author of the *Rutba* but of absolutely general interest in the history of alchemy, that this report is devoted, in the attempt to clarify certain positions, still not well known, of Arab-Islamic alchemy.

Composte l'una dopo l'altra dallo stesso autore e destinate in origine ad essere lette l'una dopo l'altra nello stesso ordine in cui sono state composte, dotate entrambe dello stesso ordinamento (una introduzione e quattro *maqālat*, o capitoli lunghi), le due opere in lingua araba *Rutbat al-ḥakīm* (*Il cammino propedeutico del saggio*) e *Ġāyat al-ḥakīm* (*La meta del saggio*) vanno incontro, nella storia del pen-

(*) Dipartimento di Chimica, Università degli Studi di Roma «La Sapienza».

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

siero medioevale, a una sorte piuttosto diversa. La *Gdyat al-bakim*, opera di magia, è tradotta in spagnolo e in latino¹, nella seconda metà del XIII secolo, con il titolo di *Picatrix* — allo stesso tempo nome dell'autore e titolo dell'opera — e diviene nel bene e nel male, tra XV e XVI secolo, l'*authoritas* per definizione della filosofia occulta, da Marsilio Ficino² a François Rabelais³, ad Agrippa di Nettesheim⁴; finché ancora oggi, alla fine del XX secolo — lo dico a titolo di curiosità, ma la circostanza mi sembra significativa — diverse pubblicazioni⁵ di fiction, horror e fantasy, prodotte per lettori diversi in diverse parti del mondo, recano, non si sa più quanto consapevolmente, il glorioso titolo di *Picatrix*.

¹ «... Sapiens enim philosophus, nobilis et honoratus Picatrix, hunc librum ex CC libris et pluribus philosophiè compilavit, quem suo nomine nominavit»; D. PINAZZI, *Picatrix. The Latin version of the Gdyat Al-Bakim*, London 1986, p. 1. Si veda anche: D. PINAZZI, *Between the Gdya and Picatrix. I. The spanish version*, «Journal of the Warburg and Courtauld Institutes» 44 (1981), pp. 27-56.

² L'utilizzazione, da parte di Marsilio Ficino, dell'opera del misterioso autore conosciuto in latino come *Picatrix* è testimoniata, come è noto, in una lettera destinata a Filippo Valori, dettata da Marsilio Ficino a Michele Acciari [D. DELCORNO BRASCA, *Un discepolo del Poliziano: Michele Acciari*, «Lettere Italiane» 28 (1976), pp. 470-71]. La citazione di *Picatrix* che si trova in questa lettera, riferita non al libro, ma all'autore *Picatrix*, apre la strada ad un doppio interrogativo: se la citazione contenuta nella lettera si riferisca effettivamente al libro conosciuto come *Picatrix*, e se tale libro sia l'unica opera di questo autore utilizzata da Ficino. Nello stesso periodo in cui Ficino scrive la sua lettera, Ludovico Lazzarelli, uomo molto vicino all'Accademia Platonica (L. Lazzarelli (1450-1500), *Ludovico Lazzarelli. Testi scelti*, a cura di M. Beini, in AA.VV., *Testi umanistici su l'ermetismo*, Roma 1955 (Archivio di filosofia, 29), pp. 75-76), attribuisce a *Picatrix* un trattato dal titolo *Clavis sapientiae*; trattato attribuito in latino generalmente ad Artepheus, ma attribuito a *Picatrix* anche in un manoscritto conservato a Firenze presso la Biblioteca Riccardiana (ms. 923, ff. 132r-147v; n. 11: *Libri qui dicitur Clavis sapientiae; creditur esse Io: Picatrix*). È interessante osservare che il trattato filosofico-alchemico *Miftah al-hikma*, di cui molto si parlerà più avanti — originale arabo della *Clavis*, tradizionalmente inserito nel corpus di Apollonio di Tiana (Ballinás) — è anch'esso talvolta considerato, nei manoscritti, opera di Abū'l-Qāsim al-Mağrīl (lat. *Picatrix*). V. *infra*, in particolare, note 15 e 31.

³ F. RABELAIS, *Gargantua e Pantagruel*, III, 23, tr. it. a cura di M. Bonfantini, Torino 1995 (l'ediz. 1953), p. 396: « — Sì, dici proprio bene, — rispose Panurge, — e ne parli come un dottor sottile in l'ardi! Ai tempi che io studiavo alla scuola di Toledo, il Reverendo Padre in diavoleria *Picatrix*, rettore della facoltà diabolica, ci diceva che per natura i diavoli temono lo splendor delle spade, così come il fulgore del Sole».

⁴ In una epistola indirizzata a J. Trithemius che precede il testo del *De Occulta Philosophia* (CORNELIUS AGRIPPA, *De occulta Philosophia Libri Tres*, ed. V. Perrone Compagni, Leiden New York Köln 1992), Agrippa cita il nome di *Picatrix Hispanus* insieme a quelli di altri noti personaggi che si sono occupati di magia, e diversi passi del *De Occulta Philosophia* mostrano con evidenza che la fonte utilizzata è *Picatrix*, sia direttamente sia con la mediazione di Ficino (v. *supra*).

⁵ Da una piccola ricerca effettuata nel Web: «*Picatrix*» 1, 1992 (Kidd, Chico, £ 2.80, 54 pp. A5, cover by A.F. Kidd) Small press fantasy/horror fiction magazine. Available from Chico Kidd, 113 Clifford Road, Ruislip Gardens, Middlesex, HA4 6PX. Tra i titoli che precedono e seguono questo «*Picatrix*»: «*Arcanum*», «*Phantoms*», «*Pirate Writings*» ed uno straordinario «*Albedo One*».

A una sorte molto meno fortunata va incontro — a quanto pare — la seconda delle due opere (ma prima in ordine di composizione), la *Rutbat al-bakim*⁶, di argomento alchemico. Questa opera, che conosce in lingua araba una buona diffusione testimoniata dal numero dei manoscritti⁷, ed è citata da diversi autori musulmani, tra i quali Ibn Haldûn⁸ e Hâğğî Halîfa⁹, non risulta finora tradotta in latino nella sua interezza, non è stata finora — incredibilmente — sottoposta a studi approfonditi, e l'eventuale influenza da essa esercitata, direttamente o indirettamente, sulla successiva alchimia di lingua latina, è ancora tutta da dimostrare.

Diverse ragioni suggeriscono allo studioso l'utilità di un esame accurato della *Rutbat al-bakim*:

— questioni di contenuto: tale opera contiene, espresso in bell'ordine e con abbondanti particolari nella trattazione, un inquadramento completo della disciplina alchemica: definizione di alchimia come scienza, fonti da essa utilizzate, sua verità o falsità, concetti teorici ed applicazioni di laboratorio, etc.;

— questioni di circolazione: la *Rutbat al-bakim* è una delle poche opere arabe di alchimia sicuramente prodotte in Europa¹⁰ (Spagna) e immesse dunque direttamente nel fertile circuito culturale europeo, all'incrocio delle tre diverse culture islamica ebraica e cristiana;

— questioni di datazione: in una relazione¹¹ recentemente presentata al X Congrès de la Société Internationale pour l'Étude de la Philosophie Médiévale, tenutosi a Erfurt dal 25 al 30 agosto 1997, sulla base di dati ricavati dalla tradizione manoscritta della *Rutba* e da alcuni lavori pubblicati a partire dal 1987 da una studiosa spagnola, Maria Isabel Fierro, mi è sembrato di poter formulare una ipotesi secondo la quale *Rutba* e *Gâya* sarebbero state composte intorno

⁶ Oltre che con il titolo *Rutbat al-bakim*, l'opera è nota anche come: *Madhal al-talim* e *Kanz al-falâh*. Il primo titolo si trova con maggiore frequenza, ed è talvolta associato al secondo.

⁷ I manoscritti della *Rutba* da me finora individuati, molti dei quali contengono l'opera completa, sono ventisette.

⁸ V. in particolare: IBN HALDUN, *The Muqaddima*, tr. ingl. F. Rosenthal, vo. 3, Princeton 1980 (2 ediz. London 1958), III, pp. 228-229 e 246.

⁹ HÂĞĞÎ HALÎFA, *Katî al-zawâin*, ed. G. Flügel, III, London 1842, pp. 345-46: *Robet el-hakim, gradus sapientis de alchymia*, auctore Sheikh philosopho *Abu Mohammedi Masloma Ben Ahmed Ben Omar Ben Wehhdâ Mevrî* [mathematicorum Andalusenorum principe, anno 395 (inc. 18. Oct. 1004) mortuo].

¹⁰ Esiste una remota possibilità che la *Rutba* sia stata scritta, o almeno abbozzata, nel lungo periodo passato dal suo autore in Oriente, prima del suo ritorno in Spagna dalla ribe (viaggio di istruzione). Anche in questo caso, tuttavia, l'opera sarebbe pur sempre opera di uno spagnolo, e sarebbe in circolazione in Spagna al più tardi intorno al 960 A.D.

¹¹ P. CARON, *Le traité alchimique Rutbat al-bakim. Quelques notes sur son introduction*, in attesa di pubblicazione; lavoro a cui si rimanda per le notizie e per la bibliografia che riguarda la datazione e l'attribuzione della *Rutba*.

alla metà del secolo X (più precisamente tra il 339 e il 348 H); autore, un tradizionalista spagnolo originario di Cordova, Maslama ibn Qāsim al-Qurtubī al-Mağrībī, morto nel 964 A.D.. Da tale ipotesi, che allo stato attuale dei miei studi mi appare piuttosto fondata, scaturisce un certo numero di conseguenze che devono essere valutate e approfondite: le due opere sono state infatti fino a oggi collocate nella seconda metà dell'XI secolo, e una loro eventuale nuova datazione comporterebbe nuove datazioni di alcuni autori in esse citate e nuove valutazioni sui tempi e i modi della trasmissione delle idee e delle opere.

Per tutti questi motivi, sembra opportuno dedicare questo lavoro all'esame di alcuni temi alchemici di carattere generale sviluppati per esteso nella *Rutba*; tenendo conto che, con ogni probabilità, è nella forma con cui compaiono nella *Rutba*, che tali temi compaiono in epoca altomedioevale nella penisola iberica.

ALCHIMIA E CLASSIFICAZIONE DELLE SCIENZE

Il tema intorno al quale ruota non solo l'introduzione, ma tutta la trattazione della *Rutba*, e che, non a caso, è responsabile del titolo, e della stessa esistenza, dell'opera, è la definizione del cammino propedeutico nell'apprendimento delle scienze. La conoscenza scientifica — scrive l'autore — deve essere acquisita per gradi successivi; il percorso di colui che apprende è non solo un percorso obbligato, nel senso che dovrà conoscere le diverse scienze in un certo ordine, ma anche un percorso che deve essere accettato nella sua interezza: il vero filosofo non è colui che conosce una o più discipline, ma colui che possiede una conoscenza totale della natura. Su questi punti il testo della *Rutba* è molto esplicito: chi vuol leggere un libro¹² deve necessariamente passare dalla conoscenza delle singole lettere, alla composizione delle sillabe, delle parole, delle frasi, e infine alla comprensione dei significati legati alla concatenazione del testo; chi non conoscerà tutte le scienze della natura non potrà mettere a frutto gli insegnamenti di queste scienze, nel senso che non avrà il potere di operare sulla natura. In un quadro concettuale di questo genere, in cui conoscenza e potere coincidono¹³, le due scienze che si collocano al termine dell'intero ciclo

¹² *Rutba*, introduzione: «... Questo è ... come chi voglia leggere un libro senza conoscere a fondo né le singole lettere né la sillabazione; mentre non c'è altra via, per la sua lettura, che apprendere le singole lettere una per una, conoscere la loro composizione e conoscere la sillabazione. Poi, quando avrà appreso tutto questo, gli sarà possibile leggere tutti i libri che vuole, di quella scrittura e di quella lingua. E a seconda della sua esperienza e del suo profitto nella conoscenza della scrittura e della sillabazione, sarà più o meno in grado di leggere i libri». Dato che la collazione dei manoscritti si trova ancora in una fase iniziale, tutte le traduzioni presentate in queste note devono essere considerate non definitive.

¹³ La connessione strettissima tra scienza e potere esercitato sulla natura è caratteristica del pensiero magico; nei tempi più antichi ed in genere nelle società arcaiche, scienza, tecnica

di apprendimento, al punto di essere dette 'risultati' (*natâ'ij*) delle scienze della natura, sono l'alchimia e la magia: rispettivamente grado del cammino propedeutico (*rutba*) e meta (*ğâya*) del saggio; la scienza che opera trasformazioni nel mondo sublunare, utilizzando 'materiali' diversi del mondo sublunare, e la scienza che si preoccupa di ricongiungere la terra al cielo, utilizzando le potenze delle anime dei pianeti.

Se si ricercano le idee che si collocano all'origine di questa classificazione delle scienze, capovolta rispetto ad altre, forse più convenzionali, si trova che tale classificazione consegue direttamente da una descrizione del mondo cui l'alchimia islamica dei primi secoli si ispira; una cosmologia che i musulmani attribuiscono ai filosofi antichi: Pitagora — detto talvolta allievo di Empedocle¹⁴ — e Apollonio di Tiana¹⁵, un autore neopitagorico del I secolo d.C..

Due sembrano essere i punti cardine di tale cosmologia:

— una estrema gerarchizzazione del cosmo. L'unico cosmo, generato a partire da due primi opposti, luce e tenebre (natura calda e secca e natura fredda e secca) è rappresentabile come una sfera dalla circonferenza luminosa e dal centro oscuro. Tra i due estremi, circonferenza e centro, sono individuabili infiniti livelli (nature) di luminosità decrescente (diverso rapporto luce/tenebra),

e magia costituiscono molto spesso, come è noto, un unico nucleo. Si veda, su questi temi, l'ormai classico M. MALISS, *Teoria generale della magia*, Torino 1991 (rit. orig. *Sociologie et anthropologie*, Paris 1950).

¹⁴ Secondo una tradizione riportata da Ši'îd al-Andalusî (*Kitâb tabaqat al-uşmân*, trad. fr. R. Blachère, Paris 1935, p. 60), e ripresa da Ibn al-Qiftî e Ibn Abî Usâ'ib'a, Pitagora sarebbe vissuto dopo Empedocle, ed avrebbe ripreso i suoi insegnamenti. Pitagorici sarebbero stati anche Talete di Mileto, i Sabai, e tutti i filosofi della natura, greci ed egiziani, fino a Socrate: dopo di che avrebbe preso il sopravvento in filosofia l'altra grande scuola filosofica, quella di Platone-Aristotele, e la filosofia della natura avrebbe ceduto il passo all'etica. Tra i moderni, pitagorico dovrebbe essere considerato, tra gli altri — nell'opinione di Ši'îd — l'antiaristotelico Râzî. Questo autore che, come è noto, è una delle massime autorità musulmane del X secolo in filosofia, medicina e alchimia, è, insieme con Ġâbir, ampiamente utilizzato dall'autore della *Rutba*.

¹⁵ Si vedano in particolare: il *Kitâb sirr al-hâlîq* (*Libro del segreto della creazione*) e il *Miftâh al-hikma* (*La Chiave della Sapienza*), *Buch über das Geheimnis der Schöpfung und die Darstellung der Natur von Pseudo-Apollonios von Thiana*, ed. U. Weisser, Aleppo 1979; U. WITTSER, *Das «Buch über das Geheimnis der Schöpfung» von Pseudo-Apollonios von Tiana*, Berlin New York 1980. Nel trattato alchemico *Miftâh al-hikma* (*La Chiave della Sapienza*), opera di un autore anonimo che si dichiara allievo di Apollonio di Tiana, si può trovare una trattazione esauriente della cosmologia cui l'alchimia e la magia arabo-islamiche fanno riferimento (v. anche *infra*). P. CARLIS, *Filosofia alchemica e rappresentazione: il diagramma delle nature e la ruota della fortuna*, «Rendiconti dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL», serie V, vol. XVII, parte II, tomo II (1993), pp. 121-135 (Memorie di Scienze Fisiche e Naturali, 111); Idem, *Animals herbales naturalis. Considerazioni parallele sul De anima in arte alchimiae attribuito ad Avicenna e sul Miftâh al-hikma (opera di un allievo di Apollonio di Tiana)*, «Micrologus», III (1995), pp. 45-74; Idem, *Il trattato alchemico Miftâh al-hikma (La Chiave della Sapienza)*, tesi di laurea, Università di Roma La Sapienza, a.a. 1994-95, in attesa di pubblicazione.

messi in relazione da termini medi. La costante esistenza di due livelli e di un termine medio, individuabile nell'intera struttura del cosmo ed in ogni sua parte, fa sì che ogni essere e ogni trasformazione sia ricondotto a una struttura triadica. Esempi: a livello macroscopico, il cosmo si divide in un mondo superiore (macrocosmo) e un mondo inferiore (microcosmo), tra i quali è tramite il mondo delle sfere celesti [quadro in cui agisce la magia]; nel mondo sublunare, ogni corpo composto è descritto da due composizioni complementari, date in natura, una esteriore/visibile ed una interiore/occulta, tra le quali termine medio sembra essere una superficie, o zona di confine, assolutamente fluida, cui partecipano tutte le nature, che si deve in un certo senso 'attraversare' per ottenere la trasformazione chimica [quadro in cui agisce l'alchimia];

— la definizione di un 'rapporto di forza' tra i diversi livelli: ad ogni livello, come si è accennato, è associata una natura, o se si vuole, ogni livello è una natura; e ogni natura è attiva nei confronti di tutte le nature che si trovano 'sotto' di essa, ed è passiva nei confronti di tutte le nature che si trovano 'sopra' di essa (sopra/sotto = maggiore/minore contenuto di natura calda e secca, calore, luce, massima attività; natura di cui è fatta la sfera più esterna del cosmo, che agisce su tutte le altre).

In una struttura fortemente gerarchizzata, in cui superiorità e capacità di operare sono strettamente legate, l'alchimia, insieme con la magia, deve essere, in quanto scienza operativa, superiore a tutte le altre scienze della natura. Mentre percorre l'uno dopo l'altro i diversi livelli teorici della conoscenza del cosmo, il filosofo acquista la capacità di muoversi attraverso i diversi livelli, non teorici, ma reali, in cui la realtà è strutturata; di comporre, di scomporre e di ricomporre, se vuole, la natura in cui vive; e la sua acquisizione finale, che è al tempo stesso conoscenza, teorica e operativa, e discorso razionale sul mondo, è qualcosa che è molto simile — anche se ciò non viene mai esplicitamente affermato — alla scienza creatrice di Dio.

ALCHIMIA E PROPEDEUTICITÀ DEGLI STUDI

Alla classificazione delle scienze proposta dall'autore della *Rutha*, corrisponde un ben preciso ordinamento degli studi. Chi vuole diventare un esperto di alchimia, e dunque produrre trasformazioni nella natura, dovrà percorrere un itinerario obbligato e completo, che lo porterà passo dopo passo dai concetti fondamentali alla specializzazione più rigorosa.

Studierà dapprima²⁶ un certo numero di opere di carattere generale, che

²⁶ Le opere qui citate sono quelle che l'autore della *Rutha* cita nell'introduzione; ma altre opere su diversi argomenti sono menzionate qua e là nelle *maqālāt*. L'insieme delle opere citate nella *Rutha* costituisce una utilissima informazione sulla biblioteca del suo autore.

costituiscono per così dire la base della piramide del sapere per studiosi di diverse discipline: opere di matematica, di geometria, di astronomia, strumenti indispensabili per comprendere la struttura profonda del cosmo, fatto di numeri, di cui ci si vuole occupare; sono qui ricordati esplicitamente Euclide, Tolomeo (*l'Almagesto*), ed un libro sugli influssi celesti, tradotto da al-Kindi, che il nostro autore attribuisce ad Aristotele.

Studierà in seguito opere di filosofia naturale, che gli daranno la conoscenza teorica di ciò che è osservabile in natura: qui gli autori raccomandati sono in primo luogo Aristotele (*Physica*, *De Caelo et Mundo*, *De Generatione et Corruptione*, *Meteorologica*, e, meno importanti, *De Anima*, e due trattati pseudoepigrafici, titoli arabi *Fil-mahādī* e *Fil-rūb*¹⁷), Ippocrate (Buqrāt), Hermes e Apollonio di Tiana (Balīnās). Le prime quattro opere di Aristotele citate — osserva l'autore — sono quanto di più avanzato si possa trovare su questi argomenti; in mancanza di esse, può anche essere sufficiente il *Qānūn al-'ālam* di Balīnās.¹⁸ Completano il corredo scientifico dello studioso opere specialistiche di argomento alchemico; qui gli autori antichi citati sono Hermes, Democrito, Ostane, Maria la Copta, Agathodaimon (Gādīmūn), di nuovo Aristotele, Platone, e da ultimo Zosimo, che ha studiato a fondo gli autori precedenti. Tra i musulmani, citati non tutti nella prima *maqāla*, Hālid ibn Yazīd, Gābir ibn Ḥayyān, Dū'Nūn al-Miṣrī, Ibn Waḥṣīya, e Rāzī.

Tra i libri di testo assolutamente indispensabili, un posto privilegiato e particolare deve essere attribuito — scrive l'autore della *Ruḥba* nell'introduzione — ad un'opera che raccoglie in sé l'intero *cursus studiorum* per chi si voglia occupare di scienze della natura, e che rappresenta il fondamento stesso di ciò che si accinge a scrivere: le cinquantuno *Epistole dei Fratelli della Purità*, o *Fratelli Sinceri* (*Rasā'il ihwān al-safā'*)¹⁹, di cui egli si dichiara esplicitamente l'autore²⁰. Il

¹⁷ Di questi titoli, il primo potrebbe essere il *Libro sui principi del tutto*, tradizionalmente attribuito ad Alessandro d'Afrodizia (v. C. D'ANCONA CORSA, *La Casa della Sapienza*, Milano 1996, pp. 68-70). Quanto al secondo, potrebbe trattarsi dell'aristotelico *De Respiratione*, parte dei *Opera Naturalia*; o, cosa più probabile, di un trattato pseudo-aristotelico (Ibn al-Qifī, *Ta'rif al-ḥikmah*, ed. J. Lippert, Leipzig 1903, p. 43, segnala, attribuendolo ad Aristotele, un *Fil-rūb*, titolo greco Περὶ πνεύματος, diviso in tre *maqālati*).

¹⁸ Questo trattato non figura tra quelli che la tradizione islamica attribuisce a Balīnās. È probabile che l'opera cui il nostro autore si riferisce sia conosciuta più frequentemente con un altro titolo.

¹⁹ *Rasā'il ihwān al-safā'*, vv. 4, Cairo 1928; A. BARRANI, *L'Enciclopedia dei Fratelli della Purità*, Napoli 1978 (Istituto Universitario Orientale, Seminario di Studi Asiatici, *Series Minor*, IV).

²⁰ *Ruḥba*, introduzione: «Tra le opere sulle scienze propedeutiche e sui segreti filosofici, abbiamo presentato (esposto, composto in precedenza), cinquantuno epistole, in cui abbiamo abbracciato queste scienze in un modo in cui non ci ha preceduto assolutamente nessuno dei nostri contemporanei. Avendo queste epistole circolato tra loro, ed essendo state pubblicate per loro, hanno fatto a gara nello speculare su di esse, e hanno spinto ad esse gli uomini del loro tempo. Senza sapere chi le aveva composte, né da dove erano state composte; ma quelli

problema dell'attribuzione delle *Ras'd'il* all'autore della *Rutha* e della *Gôya* è un problema di non poco conto, più volte ripreso e successivamente abbandonato dagli studiosi, di cui mi sono occupata²¹ e mi occuperò in futuro, in altra sede.

VERITÀ O FALSITÀ DELL'ALCHIMIA E RUOLO DELL'OPERATORE

Dopo avere presentato l'alchimia come uno dei due risultati operativi dell'intera conoscenza teorica della natura, e avere indicato il cammino teorico da percorrere nell'apprendimento, l'autore della *Rutha* sente la necessità di interrogarsi sul ruolo giocato, in alchimia, dall'attività per così dire di laboratorio. È intorno a questa attività che ruota un certo numero di questioni a cui si ritiene necessario fornire una risposta: se la trasmutazione esiste, e se esiste, di che cosa si tratta; quali sono le eventuali prove della sua esistenza; qual è il ruolo dell'operatore nell'esercizio della sua scienza; qual è il ruolo di altre scienze operative con le quali l'alchimia intrattiene necessariamente un rapporto interdisciplinare.

Esprimere una opinione sull'esistenza o meno della trasmutazione, scrive l'autore — è una questione di importanza vitale per l'alchimia. Se ci si chiede infatti se questa scienza è vera o non è vera, è necessario fornire una prova, e la prova che l'alchimia può fornire della sua verità si trova tutta nell'esistenza del suo oggetto, che è la trasmutazione²²; se ciò che si intende con la parola trasmutazione è realizzabile da parte dell'uomo, esisterà infatti la scienza che di ciò si deve occupare, se la trasmutazione non avviene non potrà esistere una scienza del nulla.

Abbiamo già accennato, in precedenza, alla descrizione, derivante da una teoria cosmologica, che l'alchimia fornisce della costituzione ultima di ogni corpo sublunare: due composizioni complementari, date in nature, una esteriore/visibile/in atto e una interiore/invisibile/in potenza, tra le quali è individuabile, come termine medio, una sorta di superficie 'virtuale', punto di contatto tra le due composizioni. Sulla base di queste premesse, fare avvenire una tra-

che tra loro erano perspicaci, leggendole con attenzione per conoscerle bene e per godere delle loro formulazioni, hanno compreso che esse erano un'opera del tempo in cui vivevano, anche se non sapevano chi le aveva composte».

²¹ P. CARUSI, *op. cit.*¹⁵.

²² *Rutha*, I *magi*: «Quando mescoli uno di questi metalli (corpi), lo fondi e gliene getti sopra un altro in modo che gli si mescoli e penetri in esso, che cosa pensi di ciò che si produce dai due, che è uno dei due, o una cosa diversa dai due? Se è diverso dai due, allora l'alchimia (la scienza operativa) esiste, perché il metallo (corpo) si è trasformato; se invece il metallo (corpo) non si è trasformato e non ha accolto quello che vi era stato gettato sopra, allora l'alchimia è falsa, perché il corpo non è diventato diverso». La porzione di testo che segue, in cui l'autore della *Rutha* espone per esteso il suo concetto di dimostrazione scientifica, è di grande interesse; ma poiché in questa parte i manoscritti finora consultati non permettono di elaborare un'unica versione attendibile, non possiamo ancora produrre una citazione del testo.

sformazione qualsiasi significa risolvere il corpo nei suoi elementi (corpo = composizione di elementi), gli elementi in nature (elemento = composizione di nature), e ponendosi in qualche modo in quella superficie fluida intermedia che partecipa di entrambe le composizioni esteriore ed occulta, far sì che per l'azione di nature che agiscono su altre nature si produca la trasformazione voluta.

Questo è ciò che l'alchimia deve dimostrare — questa è una mia osservazione — per giustificare non solo la sua propria esistenza, ma in fin dei conti anche la correttezza della teoria cosmologica da essa adottata: se la trasmutazione non avviene perché non ci sono composizioni interne ed esterne, livelli intermedi e nature attive, entra in crisi con essa l'intera organizzazione del cosmo, a partire dalla sfera più esterna e più luminosa, la sfera della Luce/Parola divina, che muove tutte le altre.

Tra le diverse trasmutazioni su cui si può argomentare, la più significativa sembra essere proprio quella che rappresenta il cuore dell'alchimia; la trasformazione di un metallo in un altro, in particolare in oro o in argento, operata dal calore, senza che nessuna sostanza sia aggiunta dall'esterno²⁵. [Tale trasformazione, come si vedrà più avanti, si può dividere in due fasi: estrazione dall'oro della sua natura pura ed equilibrata (*iskir*); trasformazione di altri metalli, che la natura equilibrata dell'oro trasforma in se stessa (fase del fermento, *hamir*)].

Una tale trasmutazione, provocata dal calore su un sistema 'chiuso', permetterebbe, se avvenisse, di affermare allo stesso tempo due cose: primo, la trasmutazione, come è insegnato dalla teoria alchemica, avviene per l'azione che nature attive esercitano su altre nature [nature già presenti all'inizio all'interno del recipiente, o fornite dall'esterno senza introduzione di materia (il calore del fuoco)]; secondo, i sette metalli, a livello di elementi e di nature, hanno tutti la stessa composizione; ciò che varia, dall'uno all'altro, sono solo i rapporti con cui le diverse nature partecipano alla composizione, e tali rapporti possono essere corretti senza introduzione di materia estranea. Si osserva inoltre che la trasformazione che avviene nel recipiente, provocata da una natura superiore, più equilibrata, è necessariamente, se la trasformazione ha successo, il passaggio da uno stato di minore equilibrio della composizione (composizione in nature di un metallo imperfetto) ad uno stato di equilibrio superiore (composizione in nature dell'oro o dell'argento).

A sostegno del fatto che la trasmutazione è possibile, l'autore della *Rutha* fa appello essenzialmente a due tipi di argomenti: uno che prende le mosse dall'osservazione delle trasformazioni operate dalla natura, e che conduce a un confronto tra ciò che fa la natura e ciò che fa l'alchimista; e uno proveniente dalla sua stessa esperienza di laboratorio; ed è interessante seguire la sua argomentazione, che egli presenta non come alchimista, ma come filosofo della natura interessato ad una particolare scienza operativa.

²⁵ V. *infra*, testo p. 54 e nota 37.

a) *La natura e l'alchimia: procedimenti e risultati.*

La potenza agente del calore (natura calda) nelle diverse manifestazioni della natura è testimoniata dagli studiosi di diverse discipline. Gli astronomi che studiano i diversi climi osservano che c'è una grande influenza del calore del Sole sulla generazione delle piante e degli animali: nei climi temperati²⁴, quando il Sole si muove dal Capricorno all'Ariete (grado zero dell'Ariete = equinozio di primavera), la nascita e la crescita di piante e di animali è ancora quasi del tutto invisibile; poi aumenta fino al solstizio d'estate (il Sole entra nella costellazione del Cancro); diminuisce poi con regolarità fino all'equinozio d'autunno (Sole in Bilancia) e raggiunge il suo minimo al solstizio d'inverno, quando raggiungono il minimo le ore di illuminazione. L'importanza della luce, e quindi del calore, per lo sviluppo della natura, non è però l'unico fattore importante osservato dagli astronomi: vi sono due punti sulla superficie della terra, i poli²⁵, che per sei mesi sono esposti al calore del Sole e per sei mesi sono in ombra, e che per questo motivo sono ora molto caldi ora molto freddi. Orbene, in questi luoghi, non nascono e non si accrescono, come è noto, né animali né piante, e l'unica cosa che vi si trova sono pietre morte, senza vita; all'equatore, invece, dove si può trovare il massimo equilibrio tra la durata del giorno e quella della notte, piante e animali prosperano e si accrescono nel modo migliore, e tutto sembra essere ideale e perfetto²⁶, al punto che i filosofi vedono in questo clima il luogo ideale in cui esercitare la filosofia.

²⁴ *Rutba*, III *maqala*: «Non vedi che, nel nostro clima, quando il percorso della levata del Sole su di noi si accorcia, cioè quando [il Sole] discende dalla Bilancia al Capricorno, ed il giorno si accorcia e la notte si allunga, la generazione e le piante vengono meno e diminuiscono? Poi, dal Capricorno all'Ariete, cominciano a generarsi e ad accrescersi, con una crescita debole, che non si riesce a vedere né in un giorno né in due giorni; finché il Sole giunge al grado zero dell'Ariete (equinozio di primavera). E quando il Sole ... al grado zero dell'Ariete; allora la generazione si rafforza, perché la luce e la tenebra sono equilibrate e la luce comincia a prevalere sulla tenebra, cioè l'arco del giorno è più ampio dell'arco della notte. Allora la generazione appare manifestamente all'occhio, e comincia al punto tale che ... ed i contadini in quei giorni cominciano a seminare ...».

²⁵ *Rutba*, III *maqala*: «Nei luoghi, uno a nord e l'altro a sud, dai quali il Sole tramonta per sei mesi e sorge per sei mesi, non vi è né generazione né corruzione. Quando il Sole tramonta da uno di questi due luoghi, rimane in esso la tenebra per sei mesi. Il movimento della sfera continua allo stesso modo, senza diminuire né aumentare; ma è debole, per ciò che ti ho insegnato, che esso [luogo] è nascosto, e non c'è modo di far passare ciò che è in esso dalla potenza all'atto, se non con il mescolamento di una parte della luce dei pianeti e di tutta la luce del Sole ... Quando dunque persiste il movimento sul luogo oscuro, come ti ho insegnato, si allontana una parte del suo calore e quelle cose e sostanze grossolane si congelano, e si producono da esse cose generate che sono tutte simili alla natura della tenebra e delle cose morte. E anche quando sorge il Sole su questo luogo, divengono grandi in esso il calore e l'illuminazione per sei mesi, e ogni cosa umida si secca e si distrugge per il suo lungo permanere in quel luogo».

²⁶ La contrapposizione tra poli ed equatore, qui citata ed enfatizzata, sottolinea in primo luogo lo schema triadico su cui l'alchimia islamica fonda la sua teoria della composizione dei

I mineralogisti, anch'essi, dal canto loro, dicono che la maturazione dei metalli nella miniera²⁷ si realizza per l'alternarsi del calore diurno del Sole e del freddo notturno derivante dalla sua privazione, e per il susseguirsi delle stagioni, con i loro tempi di illuminazione crescenti e decrescenti. Nel sistema chiuso rappresentato dalla miniera, due nature opposte, dette zolfo e mercurio (che non sono ovviamente gli elementi zolfo e mercurio visibili in natura), si combinano in diversi rapporti in una distillazione e riprecipitazione continua; il risultato di tale combinazione, che dipende non solo dalla quantità del calore somministrato, ma anche dalla durata e dai ritmi della somministrazione, è nel caso ideale (massimo equilibrio nel processo di distillazione e di coagulazione della miniera) il più equilibrato e inalterabile dei metalli, cioè l'oro, e in tutti gli altri casi gli altri metalli, che non sono oro, ma che sono costituiti dalle stesse nature dell'oro, e avrebbero potuto diventare oro, se la loro generazione fosse stata più equilibrata. Osservazioni sull'azione del calore simili a quelle degli astronomi e dei mineralogisti possono essere fatte allo stesso modo dai biologi²⁸ (embriologi) e dai botanici; dai

corpi e della trasformazione; ma non si deve dimenticare che nella tradizione islamica filosofica e letteraria è piuttosto frequente la menzione di luoghi e di isole felici, dal clima equilibrato (Sarandib (Ceylon), le isole Wāq-Wāq etc.) situati presso l'equatore. IAN TURANI, *Epistola di Hayy ibn Yaqzān*, tr. it. a cura di P. Carusi, Milano 1983, p. 52 (a cui rimando per le note): «Narrano i nostri virtuosi prognitori — Dio sia soddisfatto di loro — che c'è un'isola dell'India sotto l'equatore, in cui l'uomo viene al mondo senza bisogno di padre né madre, poiché quell'isola, quanto al clima, è il più equilibrato e perfetto dei luoghi della terra; su di essa infatti la luce che sorge culmina nel luogo più alto [del cielo]».

²⁷ La teoria secondo la quale la generazione dei metalli e di tutti i minerali avverrebbe in cavità sotterranee per la combinazione di due nature opposte, dette zolfo e mercurio, ha una grande diffusione nella filosofia e nell'alchimia islamica del IX-X secolo; la si trova nel *corpus jabirianum*, nel *Miftāh al-hikma*, nelle *Rasā'il ihwān al-ṣafā'*, oltre che, come si vede, nella *Ruh al-bahīr*. È importante ricordare che per la lunga durata della 'reazione' e per l'impossibilità di reperire le due nature 'reagenti', tale generazione è ritenuta in genere non realizzabile dall'uomo in un laboratorio. V. *infra*¹⁰.

²⁸ Lunghi passi della *Ruh al-bahīr* sono dedicati allo sviluppo dell'embrione nell'utero materno, a partire dalla goccia di sperma, e a considerazioni sulla reversibilità o irreversibilità del processo della generazione. Ogni essere, qualunque esso sia, si genera a partire da una sorta di germe iniziale (la coppia acqua/polvere (= mercurio-zolfo?) per il minerale, il seme per la pianta, l'uovo per l'uccello, lo sperma per l'uomo) che contiene in potenza ciò che in un secondo tempo passerà in atto, e tutti i procedimenti di generazione devono essere considerati paralleli, a livelli diversi. Quanto al processo della corruzione — osserva il nostro autore — esso per molti versi sembra essere uguale e contrario al processo della generazione, ma questo non è vero, perché la pianta non ritorna seme e l'uomo non ritorna sperma. Si noti che questo discorso del 'germe' iniziale e della non-reversibilità del processo di generazione e corruzione si riferisce esclusivamente alla propagazione delle specie (generazione per così dire 'orizzontale'); ma nella generazione e corruzione 'verticale' del mondo sublanare — che è l'ambito in cui agisce Dio stesso nell'atto della creazione — le nature generano gli elementi, gli elementi il minerale, il minerale la pianta, la pianta l'animale, l'animale l'uomo, ed il processo sembra essere perfettamente percorribile nei due sensi (scala 'aperta' degli esseri). Una trattazione estesa di questa catena della generazione e della corruzione si può trovare nel *Miftāh al-hikma*, tesi, cit. *supra*¹⁰.

dati derivanti da altre scienze sperimentali — scrive il nostro autore — si può dunque ritenere che il calore²⁹ sia effettivamente l'agente primo dei fenomeni della natura, e che, dato che ogni simile agisce sul simile, i processi naturali derivino dall'azione esercitata dalla natura del calore su altre nature. Potrebbe dunque essere possibile, purché si sia maestri dell'arte del fuoco e si conosca la composizione equilibrata, effettuare la trasmutazione anche in laboratorio.

È inevitabile chiedersi a questo punto quale sia la relazione tra l'opera dell'alchimista e l'opera della natura, poiché entrambi sembrano fare la stessa cosa. Secondo l'autore della *Rutha*, la natura e l'alchimista possono operare con procedimenti analoghi (azione di nature su altre nature), ma le loro trasformazioni si realizzano a livelli diversi. La natura infatti produce oro nella miniera a partire da due nature opposte, zolfo e mercurio, che l'alchimista non si può procurare³⁰; l'alchimista, consapevole della sua limitazione, deve limitarsi, per dirla

²⁹ *Rutha*, III *magià*: «Perché abbia inizio la generazione delle pietre morte e secche che escono dallo stato di polvere, c'è bisogno di calore; e perfino perché inizi una [qualsiasi] generazione dei minerali. Essi infatti si generano, con il passare del tempo e dei giorni, a partire dalla polvere e dall'acqua — che sono la radice dei corpi — e la loro generazione ha bisogno del calore. E se qualcuno dicesse che la loro generazione avviene senza bisogno del calore, non sarebbe nel giusto. Non si può fare a meno del calore nella generazione di queste pietre e pietrini, perché è stata fornita la prova del fatto che non c'è generazione senza calore; ma essi sono considerati 'morti', perché si confronta [il calore che li genera] con il calore che genera le piante. Per questo li hanno chiamati freddi e secchi: ma si generano con il calore». Anche se la corruzione del testo è qui disperante, ci è sembrato tuttavia utile riportare ciò che ne abbiamo tratto in via provvisoria. Nella generazione degli esseri che, come si vede, avviene per gradi contigui, il calore, cioè la natura calda e secca, che è l'agente supremo, entra a far parte delle diverse composizioni in quantità sempre maggiore man mano che i gradi si innalzano. Freddezza e calore, nei corpi composti, sono da intendersi sempre in senso relativo, e non vi è nel cosmo nessuna creatura che non partecipi, anche in minima parte, della natura calda e secca, cioè della luce, parola creatrice di Dio.

³⁰ *Miftāh al-Johāna*, II *magià*, tesi, cit. *supra*¹¹, p. 96): «... dallo zolfo e dal mercurio si generano l'oro e l'argento solo quando il loro mescolamento si condensa nella miniera prima che diventino zolfo puro e coagulato o mercurio puro e coagulato, e mentre agisce continuamente su di essi il calore della natura, in misura tale che da ciò possano generarsi oro e argento; mentre se [il calore applicato] è in eccesso o in difetto, le cose vanno in modo diverso... Facciamo un esempio: se si mescola una quantità nota dell'acqua estratta dalla cenere e dalla calce con una quantità nota di olio e poi, mescolati, si cuociono insieme per un tempo determinato, si genera da essi un corpo che è detto sapone. Se invece l'acqua menzionata e l'olio si cuociono separatamente, finché ognuno di essi coagula ed assume la consistenza di un corpo grossolano, e un operatore si sforza poi di trasformarli in un corpo simile a quello che da essi risulta mescolandoli quando sono disciolti, non riesce a farlo. Ugualmente il mercurio e lo zolfo. Se anche fosse possibile ottenere da essi oro e argento, non ci si riuscirebbe in questo modo; perché l'oro e l'argento si generano dal mercurio e dallo zolfo solo nella miniera in un tempo più lungo della durata della vita [di un uomo]; e grazie ad una operazione, dovuta al calore, che l'intelletto non saprebbe produrre».

con le parole dell'autore³¹ di un altro importante trattato arabo di alchimia, anch'esso forse del X secolo, il *Miftāh al-ḥikma*³², a trattare 'ciò che è formato': cioè prendere l'oro 'morto' della miniera, prodotto finale della natura, estrarre da questo oro il suo *ikšir* — cioè la sua natura al massimo grado di equilibrio e di concentrazione; e questo *ikšir*, che è l'oro vivo, attivo, la natura equilibrata dell'oro, superiore alle nature degli altri metalli, sarà in grado — con l'azione che le nature superiori esercitano sulle inferiori — di convertire tali nature in se stesso³³, cioè nella natura dell'oro (azione del *ḡamīr*, il fermento). Così facendo, l'alchimista compie un procedimento che è parallelo a quello della natura (azione delle nature) ed è per certi versi un proseguimento di quello della natura; ma non può che essere, nella sua attività, un servo (*ḡādīm*)³⁴ della

³¹ L'identità del misterioso autore del *Miftāh* è, come è noto, tuttora sconosciuta. Sembra tuttavia opportuno ricordare che almeno due fonti [ms. Città del Vaticano, Vat. Ar. 1485, f. 116v (nota di un bibliotecario), e ms. Istanbul, Université Kültürhanesi, A. 4145, f. 76v (nota del copista)] attribuiscono il *Miftāh* all'autore di *Gāya* e *Raḥba*, cioè a Maslama al-Maḡribī.

³² *Miftāh al-ḥikma*, Il *maqāla*, tesi, cit. *supra*³⁵, p. 96: «Il solo trattamento [possibile] è il trattamento di ciò che è formato con ciò da cui esso è formato, se sappiamo farlo in modo che il poco di esso diventi molto e l'imperfetto (incompleto) diventi perfetto (completo), mescolandolo con ciò da cui esso è formato e aggiungendogli ciò di cui esso è carente...». Come si vede da questo passo, che si riferisce alla trasmutazione in generale, tutto quello che l'uomo può fare è prendere un corpo composto già formato (ciò che è formato), e correggere opportunamente le sue nature (ciò da cui esso è formato). Tale correzione, che può essere descritta in diversi modi, è da ricondurre in ogni caso all'uso sapiente che l'alchimista sa fare del calore (natura calda e secca che agisce su tutte le altre).

³³ *Raḥba*, Il *maqāla*: «... una sostanza che trasforma ogni cosa in cui si imbatte, che è della sua forma, e la conduce alla sua natura; mentre ciò che non è della sua forma, non lo riduce alla sua natura...».

³⁴ *Raḥba*, III *maqāla*: «Per questo i filosofi hanno detto che il medico, anche se la sua scienza è 'operativa', è solo un servo della natura. Il significato di 'servo della natura' è che sa essere d'aiuto alla natura nell'allontanare la malattia; poiché è compito della natura equilibrare i corpi, somministrando le cose utili ad essi, ed allontanando le cose nocive, ed è vero per questo che il medico, se non è servo della natura, non allevia mai la malattia. Chi vuole esercitare la medicina senza conoscere questo modo di procedere, anche se è segnalato nella sua scienza, è un ignorante, perché gli sfugge il modo di procedere della natura, e come servirsi di esso. Non vedi che il medico esperto dice solo 'questa malattia è curabile', e 'questa malattia è incurabile', perché vede se la situazione del signore che serve accoglie il suo servizio ed il suo trattamento, oppure no? Se infatti accoglie il suo servizio, il suo trattamento, e le medicine che gli manda, comprende che guarirà la malattia in ogni caso, anche se il corpo fosse all'estremo limite della debolezza; ugualmente, se trova il contrario di questo, perché la natura non accoglie il trattamento, né le medicine che le giungono, giudica che il paziente morirà (lett.: giudica della morte), anche se il corpo fosse all'estremo limite della forza...». Questo esempio, che riguarda non l'alchimia, ma la medicina, richiama ancora una volta l'attenzione sulla relazione profonda che esiste — secondo il nostro autore — tra tutte le scienze che operano sulla natura. Il medico e l'alchimista sembrano compiere procedimenti diversi solo perché sono diversi i corpi che sono oggetto delle loro cure; ma il procedimento è in realtà sempre lo stesso, quello compiuto dalla natura; ed il compito dell'operatore, alchimista o

natura: non solo perché ha bisogno di reagenti che devono essere forniti dalla natura, ma anche perché non può percorrere nei suoi procedimenti vie diverse da quelle che la stessa natura percorre. Non è possibile, ad esempio — scrive l'autore della *Rutba* — ottenere oro dall'*ikšir* dell'acqua³⁵, cioè dalla natura equilibrata e concentrata dell'acqua (lontanissimi sviluppi di queste teorie si trovano probabilmente nella lunga ricerca di un solvente universale³⁶, perseguita dai chimici fino alle soglie del XVIII secolo).

b) *Alchimia e l'esperimento decisivo.*

La seconda prova che, a parere dell'autore della *Rutba*, può essere citata a sostegno della possibilità della trasmutazione, è l'esistenza di trasmutazioni che si possono far avvenire in laboratorio in recipienti chiusi, opportunamente riscaldati, senza alcuno scambio di materia con l'esterno. Egli stesso, scrive, ha fatto un esperimento³⁷ che gli è sembrato decisivo: ha preso un recipiente, vi ha introdotto un quarto di *rufl* di mercurio, lo ha messo in un altro recipiente, e ha scaldato il tutto a un fuoco molto delicato, notte e giorno, per quaranta giorni. Alla

medico che egli sia, è solo quello di costituire o di ristabilire una composizione equilibrata, utilizzando l'azione della natura.

³⁵ *Rutba*, III *maqāla*: «Quando la natura dell'*ikšir*, passando [dalla potenza] all'atto, diventa *ikšir*, trasforma i metalli convertendoli in oro e in argento. Quando [tale natura] è gettata su dei liquidi, l'acqua diviene *ikšir*, ma [non] diviene un metallo [corpo]; non è possibile infatti all'acqua, che è l'acqua dell'*ikšir*, divenire né oro né argento, perché non è un metallo [corpo]. Nei manoscritti finora consultati, questo passo appare piuttosto corrotto; lo riportiamo dunque raccomandando la massima cautela. A quanto sembra di capire, la natura perfetta conferisce ad ogni corpo la perfezione della sua specie; ogni metallo diviene dunque il più perfetto dei metalli, cioè oro o argento, e ogni liquido il più perfetto dei liquidi della sua specie; ma operare il passaggio da una specie ad un'altra non rientra nei poteri della natura perfetta. Si noti che in questo passo il termine *ikšir* sembra essere sinonimo di 'natura equilibrata in atto'.

³⁶ P. CARENÌ, *Trasmutazione, soluzione, reazione chimica. L'agente per natura e le sue metamorfosi*, seminario tenuto il 15.5.1997 presso l'Università di Roma La Sapienza, Dipartimento di Filosofia, Cattedra di Storia della Scienza (Prof. G. Stabile), in attesa di pubblicazione presso i «Quaderni» curati dalla Cattedra.

³⁷ *Rutba*, III *maqāla*: «Presi il mercurio, e lo misi in un recipiente di vetro; era puro e tremolante, e insieme ad esso non c'era nient'altro. Il recipiente aveva la forma di un uovo. Lo misi in un altro recipiente, simile ad una pentola da cucina, e lo esposi ad un fuoco delicato, delicato al massimo grado; il suo calore giungeva a uno dei lati di quella pentola, in modo che io trovavo che la mano poteva toccarla senza esserne impedita. Tenni acceso il fuoco in questo modo notte e giorno per quaranta giorni. Poi tirai fuori il mercurio, il cui peso era di un quarto di *rufl*, e trovai che era una polvere rossa, di consistenza sottile, come se fosse stata macinata per tutto quel tempo. Lo pesai, e trovai che il suo peso era rimasto invariato. Allora compresi che l'umidità che lo aveva abbandonato era quella che impediva a questo calore di manifestarsi. Tutto il mercurio divenne rosso». Si noti l'utilizzazione del cosiddetto 'bagno ad aria', variante asciutta del bagnomaria; in cui il riscaldamento, molto blando, è provocato dall'aria calda contenuta nello spazio vuoto tra due recipienti.

fine di questo tempo, ha osservato che il mercurio si era completamente convertito in una polvere rossa; e non ha osservato alcuna variazione di peso. Poiché tutto ciò che si trovava nel recipiente era il mercurio, e nulla vi è stato aggiunto dall'esterno, l'esperimento dimostra che la trasformazione avvenuta è una correzione delle nature del mercurio operata dal calore imposto dall'esterno.

Diversi autori³⁸ si sono occupati di questo passo della *Rutba*, e hanno visto in questa esposizione il primo tentativo di un esperimento chimico quantitativo e mirato, pur sottolineando l'evidente errore di pesata del nostro autore. Da parte mia, trovo molto interessante vedere chiamata a sostenere l'esistenza di una azione reciproca tra nature una trasformazione che sarà il sostegno di ben diverse dimostrazioni³⁹ alla fine del XVIII secolo.

Quanto abbiamo esposto fin qui è, ricordato per sommi capi, l'insegnamento che si ricava dall'introduzione e dalle prime tre *maqûlât* della *Rutbat al-bakim*. Della quarta *maqûla*, molto più lunga delle altre, e interamente dedicata alla descrizione della Grande Opera nei particolari e a considerazioni sul linguaggio allegorico usato in alchimia dagli antichi e successivamente dai musulmani, è stata da poco tempo iniziata la trascrizione.

CONCLUSIONI

A conclusione di questo discorso, può forse essere utile fare alcune considerazioni riassuntive, tenendo conto, come prima abbiamo accennato, che l'alchimia della *Rutba* è probabilmente la prima alchimia che compare nella penisola iberica, elaborata da uno spagnolo.

1) Nel corso di studi recenti, di cui abbiamo già riferito in uno dei nostri Convegni⁴⁰, studi dedicati al *Miftâh al-bikma*, opera appartenente al *corpus* attribuito ad Apollonio di Tiana, avevamo richiamato l'attenzione sull'esistenza di

³⁸ Si veda tra gli altri E.J. HOLWAYD, *Storia dell'alchimia*, Firenze 1972 (l'ediz. it. 1959), pp. 107-108. L'errore di pesata è piuttosto comprensibile — anche se non del tutto scusabile — data la piccola variazione di peso che si osserva nell'ossidazione del mercurio. Ponendo che il *rafil* (unità di peso variabile in regioni e in tempi diversi) adottato dal nostro autore corrisponda più o meno a 500 g, il nostro autore avrebbe iniziato il suo esperimento con circa 125 g di mercurio, ad avrebbe ottenuto circa 135 g di ossido.

³⁹ Mi riferisco qui in particolare al ben noto esperimento sulla calcinazione del mercurio e sulla successiva riduzione quantitativa della calce descritto da A.L. Lavoisier nel *Mémoire sur la respiration des animaux*, letto presso l'Académie des Sciences il 3 maggio 1777, e pubblicato nello stesso anno.

⁴⁰ P. CARUSI, *Filosofia alchemica e rappresentazione: il diagramma delle nature e la ruota della fortuna*, Atti del V Convegno Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica, Perugia 27-30 ottobre 1993, «Rendiconti dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL», serie V, vol. XVII, parte II, tomo II (1993), pp. 121-135 (Memorie di Scienze Finche e Naturali, 111).

una filosofia della natura, ben strutturata e di carattere assolutamente generale, dunque all'origine non alchemica, cui l'alchimia islamica sembra fare riferimento fin dai primi tempi della sua storia. L'esame dei contenuti della *Rutba* non smentisce questa affermazione, e suggerisce anzi su questo tema un ulteriore spunto di riflessione: alla correlazione teorica delle scienze della natura, che trova giustificazione nella struttura tutta intimamente correlata dell'unico cosmo, corrisponde la correlazione osservabile nelle diverse manifestazioni della natura e nelle diverse attività 'sperimentali' degli scienziati. Unità e intima correlazione tra parti dell'unico cosmo, da un lato; e, dall'altro, teoria unificata delle scienze della natura e carattere interdisciplinare delle scienze operative.

2) Le numerose citazioni che molti autori musulmani inseriscono nelle loro opere di alchimia suggeriscono, fin dai tempi più antichi, che la lontana origine della filosofia alchemica debba essere rinviata ad un'epoca anteriore all'avvento dell'Islam; e ricercata in particolare tra le pieghe della filosofia greca. Tra le numerose fonti, citate e non citate, individuabili nella *Rutba*, sono presenti diversi autori e opere di lingua greca, ed un ruolo di primo piano sembra poter essere attribuito alle opere biologiche di Aristotele, in particolare alla *Generazione*, o *Riproduzione, degli animali*. La presenza di Aristotele, di 'questo' Aristotele, in un contesto che, allo stato attuale degli studi, non può essere definito aristotelico (alcuni tratti di grande rilevanza lo collegano a quanto sembra, alla filosofia fisica dei presocratici), è un perentorio invito a ulteriori ricerche; tanto più che anche altri studiosi hanno recentemente individuato passi di opere aristoteliche⁴¹ in opere di alchimisti arabi. Tuttavia, questa filosofia — l'autore della *Rutba* lo dichiara senza mezzi termini nell'introduzione — non è più, non può più essere, filosofia antica. Ogni comunità di studiosi⁴², in diverse epoche e in diverse regioni, si esprime in un linguaggio proprio, diverso da quello di altri luoghi e di altre regioni, utilizza metafore comprensibili ai suoi contemporanei, comunica l'insegnamento ai nuovi studiosi in un modo che essi possano capire.

⁴¹ Si veda ad esempio: S.N. HAO, *Names, Natures and Things*, Dordrecht Boston London 1994.

⁴² *Rutba*, introduzione: «È noto che ogni comunità ha un'idioma e una lingua; è dunque inevitabile che le allegorie degli uomini di una certa lingua siano ignorate presso coloro che sono di lingue diverse. Quando dunque si produce un libro allegorico, si estraggono i suoi simboli da una lingua ad un'altra; e quello che lo estrae da quei simboli fissati che erano nella lingua antica [a] simboli fissati della lingua in cui è trasformato, non può fare a meno di assumersi il compito di trasferire quelle allegorie dalle forme che avevano ad altre forme [proprie] del discorso che è comprensibile agli uomini di quell'epoca; e allora è possibile a loro comprenderle e comprendere ciò che si trova sotto quelle allegorie fissate. Bisogna dunque, per questo, che l'autore, in qualunque epoca si trovi, quando compone un libro che espone una scienza, si assuma questo compito, e comunichi ai suoi contemporanei questa informazione preziosa che abbiamo menzionato».

Pur conservando una attenzione amorosa per la filosofia degli antichi, poiché è innegabile che su di loro si fonda la scienza dei posteri, lo studioso ha il dovere di reinterpretare la scienza per i suoi contemporanei. La filosofia su cui si fonda immediatamente la *Rutba* non è dunque quella dei primi filosofi (*al-awā'il*), ma quella delle *Rasā'il ihwān al-safā'*, un'opera moderna — scrive il nostro autore — che è circolata anonima, e che i contemporanei hanno apprezzato, perché hanno capito che si trattava di un'opera del loro tempo⁴⁵. Non più filosofia antica, dunque, ma filosofia islamica, con il Dio islamico chiamato a creare e a presiedere un cosmo che con il Corano non ha nulla a che fare.

Da ultimo, qualche considerazione sulla trasmutazione. La testimonianza portata dalla *Rutba* informa che, intorno alla metà del X secolo, in Spagna, sono già presenti i più importanti elementi della teoria alchemica della trasmutazione: teoria mercurio-zolfo; scomposizione di ogni essere del mondo sublinare in quattro elementi e tre livelli (potenze)⁴⁶, detti corpo, spirito e anima; nature superiori/attive e nature inferiori/passive, con annessa teoria dell'*ihesir/hamir* etc.; tutti elementi che saranno più tardi acquisiti ed elaborati dal Medioevo latino. Con la teoria alchemica della *Rutba*, sarà trasmessa ai posteri anche la filosofia della natura cui la *Rutba* e la *Gāya*⁴⁷ si ispirano; filosofia che si ritrova probabilmente all'origine della mistica islamica⁴⁸ di Spagna del XIII secolo, della Kab-

⁴⁵ V. *supra*²⁰.

⁴⁶ *Rutba*, III *maqāla*: «... Questo è quello che Zosimo ha chiamato spirito; e ha chiamato la schiuma (lo spunto) dell'olio anima, e la pietra corpo...». Una trattazione più generale della teoria della composizione su tre livelli si può trovare nel *Miftāh al-hikma*, vedi, cit. *supra*²⁰.

⁴⁷ Il pensiero che può essere considerato ispiratore di un certo numero di opere, non solo alchemiche, prodotte in ambienti islamici, più o meno eterodossi, tra IX e X secolo, sembra essere (v. *supra*, testo p. 45 e note 14 e 15) una filosofia attribuita dai musulmani ora a Pitagora, ora ad Empedocle, ora ad Apollonio di Tiana, ora ad altri autori considerati dai musulmani come appartenenti ad una stessa tradizione filosofica. La trasmissione dei caratteri fondamentali del pensiero dello pseudo-Empedocle è affidata in primo luogo al *Libro delle cinque sostanze*, attribuito ad Empedocle, opera di cui l'originale arabo è andato perduto e di cui rimangono solo frammenti di una traduzione in lingua ebraica (D. KAUFMANN, *Studien über Salomon Ibn Gabirol*, Budapest 1899, p. 1 sgg.); al *Libro di Ammonio sulle opinioni dei filosofi* (*Kitāb Amāniyā fi arā' al-falāsifa*, ed. e trad. ted. U. Rudolph, *Die Doxographie des Pseudo-ammonios*, Stuttgart 1989); e ad alcuni autori ed opere di lingua araba, tra i quali Šahrastānī, Šahrastānī, *Iḥṣāq Isrā'īlī* e la *Gāyat al-fakhr*, che costituiscono per motivi diversi, un buon gruppo di fonti secondarie. A tale complesso di fonti sembra ora opportuno aggiungere anche il trattato filosofico-alchemico arabo *Miftāh al-hikma*, attribuito ad Apollonio, o ad un suo allievo, che è attualmente oggetto del nostro studio: la sua cosmologia, che è poi la cosmologia adottata dall'alchimia islamica tra IX e X secolo, ha diversi punti in comune con ciò che si sa delle teorie dello pseudo-Empedocle.

⁴⁸ Nell'opera del grande mistico musulmano di Spagna Muhyī'dīn Ibn 'Arābī (m. 1240 A.D.) si ritrovano alcune teorie, come l'esistenza di una materia iniziale e universale in cui tutto il mondo è contenuto in potenza, che ricordano molto da vicino la filosofia della natura,

balah ebraica⁴⁷, e di un certo pensiero 'scientifico-illuminativo', che attraverso il *Fons Vitae* di Ibn Gabirol⁴⁸ (Avicbron) si insinuerà ben presto in ambienti

in particolare la cosmologia, cui l'alchimia islamica del IX-X secolo fa riferimento; e tale filosofia, a sua volta (v. *supra* 47), sembra avere numerosi punti di contatto con teorie attribuite dai musulmani ad Empedocle. Che la filosofia dello pseudo-Empedocle rappresenti una sorta di comun denominatore, di cui partecipano, tra IX e X secolo, una certa filosofia islamica della natura, detta fin qui 'neoplatonizzante', utilizzata tra l'altro anche dall'alchimia, e, più tardi, l'elaborata mistica islamica di Spagna, sembra essere a questo punto molto probabile; tanto più se si pensa che le dottrine dello pseudo-Empedocle, probabilmente presenti in Iraq nella seconda metà del secolo IX, sono diffuse in Spagna tra IX e X secolo da Ibn Masarra (m. 931), che l'autore della *Rutba* (m. 964) è accettato a Ibn Masarra dal tradizionalista Abū Bakr ibn al-'Arabi (m. 1148), che numerosi gruppi massariani presenti in Spagna tra X e XII secolo sono già considerati dagli studiosi come ispiratori dei successivi sviluppi della mistica, e che lo stesso Muhyī-dīn Ibn 'Arabi cita esplicitamente Ibn Masarra nella sua opera. Sulla tradizione dello pseudo-Empedocle, su Ibn Masarra e in generale sui temi sopra accennati, si vedano tra gli altri: M. ASIN PALACIOS, *Ibn Masarra y su escuela*, in Idem, *Obras escogidas*, I, Madrid 1946, pp. 1-216 (l'ed. 1914; it. ingl.: *The mystical philosophy of Ibn Masarra and his followers*, Leiden 1978), e tra le opere più recenti: IBN 'ARABI, *Les Illuminations de La Mecque*, Textes choisis/Select Texts... sous la direction de M. Chodkiewicz..., Paris 1988; J. JOLIVET, *La maître d'en haut*, in: École Pratique des Hautes Études, Section des Sciences Religieuses, *Annuaire. Résumés des Conférences et Travaux*, XCVI (1987-1988), pp. 28-48.

⁴⁷ La *Giyat al-bakhtū* (*Picatrix*), ed un certo numero di testi definibili come 'ermetici' o 'neoplatonizzanti', possono forse essere collocati tra le fonti della Kabbalah ebraica [G.G. SCHOLEM, *Le origini della Kabbalā*, Bologna 1973 (tit. orig.: *Ursprung und Anfänge der Kabbala*, Berlin 1962); M. IDEL, *Kabbalā. Nuove prospettive*, Firenze 1996 (tit. orig.: *Kabbalah: New Perspectives*, New Haven London 1988)]; ed il persistente interesse per tali testi nella cultura ebraica è testimoniato dall'esistenza di diversi frammenti e di versioni ebraiche abbreviate di *Picatrix*, databili dalla seconda metà del XV secolo (M. IDEL, *The Magial and Neoplatonic Interpretations of the Kabbalah in the Renaissance*, in *Jewish Thought in the Sixteenth Century*, ed. B.D. Cooperman, Cambridge MA London 1983, pp. 186-242). Come nella cultura araba e nel mondo latino, anche nella tradizione ebraica la relazione tra la filosofia della natura e la scienza, per così dire 'canoniche', ed il loro volto occulto magico/alchemico, è molto stretta: in un foglio separato di un manoscritto che contiene un frammento ebraico della *Giyā* che si occupa dell'utilizzazione dei numeri amichevoli a scopi magici, è stato recentemente trovato il teorema di Tābit ibn Qurra sui numeri amichevoli, nella formulazione avicenniana [T. LEVY, *L'histoire des nombres amiables: le témoignage des textes hébreux méditerranéens*, «Arabic Sciences and Philosophy» 6 (1996), pp. 63-87].

⁴⁸ J. SCHLANGER, *La philosophie de Salomon Ibn Gabirol*, Leiden 1968, p. 60, cita un elenco di autori e di opere, tra cui le *Rasūl al-ḥisāb al-ḥalī* ed un gruppo di autori e testi che rappresentano la tradizione araba dello pseudo-Empedocle, che potrebbero essere posti — a suo parere — all'origine del *Fons vitae*; ed il *Fons vitae* sarebbe a sua volta una delle fonti della Kabbalah ebraica. L'ipotesi di una utilizzazione delle opere sopra citate da parte di Ibn Gabirol ben si accorda con la datazione della *Rutba* e delle *Rasūl* da me proposta: se infatti *Rasūl*, *Rutba*, *Giyā*, le opere di Gābir e probabilmente il *Miftāḥ al-ḥikma* fanno la loro comparsa in Spagna intorno alla metà del X secolo, è del tutto lecito supporre che esse possano essere ben conosciute e assimilate entro la prima metà dell'XI secolo, epoca della composizione del *Fons vitae*.

soprattutto francescani⁴⁹ che risulteranno, forse non a caso, un po' troppo compromessi con l'alchimia⁵⁰.

CRISTINA VENTRI (1)

Gli alchimisti greci e l'«acqua divina» (1)

Summary. — In the world of Greek Alchemy, the divine fluid (water) must be called water in the most vulgar of senses, because it had a very important role in transmutation. However, for us it is difficult to derive its real nature and accept the fact that it is «water». We will try to describe the principal characteristics of the divine fluid and its methods of obtaining, by consulting some of the most important texts.

O. Linguaggio della ricerca

Ma non degli alchimisti greci, l'alchimia divina è «acqua di salice» ha un ruolo fondamentale. Una volta l'acqua è ritenuta «acqua divina» la acqua della ricerca è l'acqua principale della transmutazione.

Ma un alchimista come possiamo appurarci dall'acqua divina? «Kobalos» la più grande figura dell'alchimia greco-alchimica (189-172), ci insegna in questi termini:

«L'acqua divina è il grande segreto. L'acqua della ricerca ha un nome che si dice «acqua divina» ed è un nome che si dice «acqua divina». Il nome di «acqua divina» è un nome che si dice «acqua divina». Il nome di «acqua divina» è un nome che si dice «acqua divina». Il nome di «acqua divina» è un nome che si dice «acqua divina».

⁴⁹ Alcuni autori che si richiamano in qualche modo all'opera di Ibn Gabirol, come Guglielmo d'Auvergne e Ruggiero Bacone, appaiono essere molto bene informati sulla tradizione e sugli autori alchemici musulmani; altri, come Raimondo Lullo, sono ritenuti essi stessi autori di opere alchemiche, giudicate in genere pseudoepigrafate dagli studiosi [si veda, su Lullo, M. PEREIRA, *The Alchemical Corpus Attributed To Raymond Lull*, London 1989 (Warburg Institute Surveys and Texts, XVIII)].

⁵⁰ Ricordiamo qui la lunga serie di divieti di possedere, di studiare e di diffondere opere di alchimia, fatti a francescani, domenicani e cistercensi tra XIII e XIV secolo, J. DE RAFFESCIA, *De consideratione quintae essentiae*, Basel 1561, p. 117; B.M. RICHERT, *Acta capitulorum generalium ordinis praedicatorum*, I, Romae 1898, pp. 170, 239, 252; II, Romae 1899, pp. 65-66, 147 (anni 1273-1323); J.M. CANIVEZ, *Statuta Capitulum Generalium Ordinis Cisterciensis ab anno 1116 ad annum 1786*, III, Louvain 1935, p. 337 (anno 1317). [Cf. R. HALLEUX, *Les textes alchimiques*, Turnhout 1979, p. 127 (Typologie des sources du Moyen Âge occidental, 32)].

CRISTINA VIANO (*)

Gli alchimisti greci e l'«acqua divina» (**)

Summary - In the works of Greek Alchemists, the *theion budôr* (divine water or sulfur water) is the main subject of research, because it had a very important role in transmutation. However, for us, it is difficult to define in a coherent and unitary way its nature and its functions. We will try to describe the principal characteristics of the *theion budôr* and its model of causation by examining some of the more important texts.

O. L'oggetto della ricerca

Nei testi degli alchimisti greci, l'«acqua divina» o «acqua di zolfo» ha un ruolo fondamentale. Essa viene frequentemente indicata come lo scopo della ricerca e l'agente principale della trasmutazione.

In un celebre testo, intitolato appunto *Sull'acqua divina*, Zosimo,¹ la più grande figura dell'alchimia greco-alessandrina (300 d.C.), si esprime in questi termini:

È questo il divino e il grande mistero, l'oggetto della ricerca (*to zêtoumenon*); infatti è questo il Tutto. <E da esso (*ex autou*) [deriva] il Tutto e a causa di esso (*d' autou*) [esiste] il Tutto >.² Due nature, una sola sostanza; poiché una attira l'altra e una domina l'altra. È questa l'acqua d'argento, l'ermafrodita, ciò che fugge sempre, ciò che si precipita verso le sue realtà proprie, l'acqua divina che tutti hanno ignorato, la cui natura è

(*) CNRS, Paris.

(**) Relazione presentata al VIII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

¹ Per i testi di Zosimo, ci baseremo qui soprattutto sulla recente edizione delle *Memorie autentiche* di M. MERTENS: *Les alchimistes grecs IV, 1ère partie: Zosime de Panopolis, Mémoires authentiques*, Paris, Les Belles Lettres, 1995; per il *Papiro di Leida*, sull'edizione di R. Halleux: *Alchimistes grecs I, Papyrus de Leyde, Papyrus de Stockholm, Recettes*, Paris, les Belles Lettres, 1981; per gli altri testi, sulla *Collection des anciens alchimistes grecs* (CAAG) édit. et trad. par M. Berthelot et Ch.-E. Ruelle, Paris, 1888, vol. II (testo greco) e III (trad. française).

² *Kai ex autou to pan kai d'autou to pan*, M. Mertens sopprime dal testo questa frase che si trova nel manoscritto M (*Marcianus* gr. 299).

difficile da concepire. Infatti essa non è un metallo né un'acqua sempre in movimento, né un corpo (solido), poiché non la si può afferrare. È questa il Tutto in tutte le cose: essa possiede al tempo stesso vita e spirito, ed essa ha un potere distruttivo. Chi la comprende possiede l'oro e l'argento. La sua potenza (*danamsi*) resta nascosta ma essa è dedicata a Erotilo.¹ (Zosimo, *Mem. aut.*, V, Mertens)

Questo passo, alquanto arduo, può essere considerato come una sintesi delle caratteristiche principali dell'acqua divina. Si capisce che l'oggetto della ricerca (*to zétoumenon*) non è propriamente l'oro o l'argento, ma ciò che permette di ottenerli, in altre parole il principio trasmutatorio.²

Le testimonianze nel *Corpus* degli alchimisti greci sull'«acqua divina» sono numerose e non sempre coerenti. Del resto, allo stato attuale delle ricerche, l'alchimia greca è un campo di studi che sta ancora definendo, e ridefinendo, le proprie basi: l'edizione dei testi, la cronologia e l'identità storica degli autori e soprattutto la decodificazione delle dottrine, delle sostanze e delle operazioni. Se tentare di ricondurre le formulazioni di uno dei suoi concetti più importanti e più complessi a un quadro coerente e esaustivo, è un'impresa temeraria, e soprattutto prematura, in questo stato di cose, si può cercare tuttavia di delineare alcuni tratti ricorrenti e problemi che sorgono a proposito dell'acqua divina.

Prenderò quindi il passo di Zosimo sopra citato come punto di riferimento e, tenendo conto di alcuni altri contesti e della loro specificità, cercherò di illustrare qualche aspetto riguardo la composizione, gli ingredienti, le funzioni dell'acqua divina. Vorrei infine porre la questione della sua azione causale e dei modelli filosofici a cui sembra ispirarsi.

Comincerò con la questione dell'ambiguità fondamentale che risiede nel termine stesso di *theion hudōr*.

1. *Acqua divina o acqua di zolfo?*

In greco *theion* corrisponde sia al sostantivo «zolfo» che all'aggettivo «divino». L'ambiguità tra i due termini sussiste quando *hudōr* (acqua) e *theion* sono entrambi al genitivo. Per esempio, il titolo del passo di Zosimo che ho citato è *Peri tou theiou hudator*: qui *theiou* può essere sia l'aggettivo «divino» che concorda con «acqua», sia il genitivo del sostantivo e significare quindi «di zolfo».³ Gli alchimisti sono coscienti⁴ di questa ambiguità e ci giocano spesso e volen-

¹ Si tratta di un personaggio non ben identificato. Cfr. M. MERTENS, *op. cit.*, n. 7, p. 171.

² Cfr. M. MERTENS, *op. cit.*, p. 167: «En fin de compte, il semble bien que l'eau divine soit en quelque sorte la matérialisation du principe transmutatoire».

³ Cf. MERTENS, *op. cit.*, p. 163.

⁴ Cf. per es. il Filosofo Cristiano (VI-VIII s. d.C.), CAAG II, 399, 19 (tr. fr. 386): «Tutti gli scrittori dell'arte considerano quest'acqua come divina, dal doppio senso (*divin*) del suo nome».

tieri. Zosimo per esempio scrive: «Si chiama dunque divina l'acqua di zolfo (*loipon theion kaleitai to hudôr tou theiou*). Si chiama divino il vapore sublimato (*aitbalê*) emesso dal basso verso l'alto [...]. E il mercurio bianco (*hudrarguron leukên*) si chiama anche divino perché anch'esso è emesso dal basso verso l'alto». La spiegazione dell'attributo divino verrebbe dal movimento di queste sostanze verso l'alto, che è appunto la sede delle cose divine.

Dal punto di vista dell'etimologia, *theion*-zolfo deriverebbe da una radice *θ/θεός (cf. lit. *diviù* = respirare; *diviia* = spirito, dalla radice ind. eur. *dhwas*) che significa propriamente «fumo», da cui anche *thwô* (bruciare), *thumos* (*animus*), *thumiasis*, *anathumiasis* (fumo, vapore). Invece l'etimologia di *theos*, dio (di cui *theion*, divino, è l'aggettivo derivato) è considerata ancora incerta. De Saussure faceva l'ipotesi che *theos*-dio abbia la stessa radice di *theion*-zolfo nel senso primo di anima, spirito (cf. lit. *diviia* = spirito).⁷ Del resto, lo zolfo veniva impiegato per le purificazioni (cf. Omero, *Od.* XXII, 481). La stessa ambiguità sussiste anche per il verbo *theiô*, che significa sia «purificare con lo zolfo» che «consacrare ad una divinità».

2. Fabbricazione e ingredienti.

Nella letteratura alchemica greca esiste un gran numero di termini «enigmatici» per designare l'acqua divina, alcuni anche molto poetici, come il «liquore dell'Egiziana dalle trecce d'oro»,⁸ altri, più «materiali» che si confondono con gli ingredienti stessi, come *magnesia bianca*, *acqua di allume o di natron*.⁹

La testimonianza più antica si trova nel *Papiro di Leida* (IV sec. circa, contemporaneo di Zosimo) sotto forma di una ricetta:

Invenzione dell'acqua di zolfo (*hudatos theiou euresis*): calce, una dracma; zolfo (*theiow*) precedentemente macinato, in eguale quantità, mettere insieme in un recipiente, prendete dell'aceto forte o dell'urina di fanciullo impubere (*ouron aphêburos*). Riscaldare dal di sotto finché il liquido aggiunto assomigli a del sangue; filtrate a causa del sedimento; utilizzatelo puro. (*Pap. Leyd.*, 482-486 Halleux)

⁷ Zosimo, CAAG II, 175, 4 (tr. fr. 173).

⁸ F. DE SAUSSURE, *Mémoire sur le système primitif des voyelles dans les langues indo-européennes*, Hildesheim, 1968 (Leipzig, 1879), p. 81 n. 5. E. Chantraine (*Dictionnaire étymologique de la langue grecque*, Paris, 1968, p. 450) critica questa tesi obiettando che a) i Greci vedevano i loro dèi sotto sembianze corporee e non come spiriti e che b) non vi è traccia di un gruppo θ/- né nella metrica omerica né nelle testimonianze micenee. Chantraine sembra preferire invece l'ipotesi di C. Gallavotti (cf. «Morfologia di *theos*», *Studi e materiali di storia delle religioni*, 33, 1962, p. 25-43) secondo cui *theos* deriva da una radice che significa «ritirare solennemente» e su cui sarebbe stato formato anche il verbo *thibêmi* (porre).

⁹ Oracolo d'Apollo *apud* Olimpiodoro, CAAG II, 95, 11 (tr. fr. 103).

¹⁰ Cfr. per es. CAAG II, 358, 13 (tr. 324).

Questa composizione è stata identificata come una soluzione di polisolfuri di calcio,¹¹ un reagente potente, capace di attaccare i metalli e colorarli. Nella composizione rientrano oltre allo zolfo e alla calce, anche ingredienti come l'aceto e l'urina. Osserva Halleux¹² che aceto e urina, insieme all'allume (*stupteria*), sono i tre reagenti impiegati più frequentemente in queste ricette tecniche.

Questi ingredienti si ritrovano in Zosimo, nella composizione dell'acqua divina, insieme a un gran numero di altre sostanze liquide quali l'orpimento (*arsenikon*, lo zolfo giallo derivato dall'arsenico), il realgar (*sandaraché*, zolfo giallo d'arsenico), il natron (*nitron*, bicarbonato di sodio), il tartaro (*phaiklé*), la cenere di cavolo, il latte di asina e di capra.¹³ Il natron, in particolare, era un ingrediente tipicamente egiziano, proveniente dall'Ouadi Natroun, che veniva usato per scopi rituali, tra cui la mummificazione. E la sua etimologia egiziana significa «la sostanza divina» poiché serviva per operazioni di culto.¹⁴

È difficile identificare con certezza tutti questi ingredienti, capire se si tratta di simboli o di sostanze reali. Inoltre possiamo immaginare che non si trovavano certamente allo stato puro.

Lo stesso termine *theion*-zolfo doveva avere un significato più esteso di «zolfo» come lo intendiamo noi.¹⁵ Nei testi si trova, ad esempio, lo «zolfo nativo», *theion aparon*, che significa letteralmente «non passato al fuoco» e cioè una specie naturalmente pura. Zosimo descrive anche la composizione dello «zolfo bianco», che richiede sostanze come la terra di Chios, di Samos o il marmo.¹⁶ Del resto Zosimo stesso dice che l'acqua divina è prodotta da «zolfi» (*ek theiôn*, al plurale), ma anche da erbe¹⁷ e da uova: «Avendo preso delle uova, quante ne volete ... estraete con gli alambicchi (*anaspá dia tôn ambibôn*) sulle braci di un fuoco di segatura l'acqua sommamente divina (*to theiôtaton budôr*)».¹⁸ Gli ingredienti dell'acqua divina sono così non solo minerali, ma anche vegetali e animali (urina, latte, uova).

Quest'ultimo passo mostra anche il modo di estrazione dell'acqua divina, e cioè un processo di distillazione per mezzo dell'alambicco. Il Filosofo Cristiano (tra il VI e l'VIII s.?) parla dell'«acqua di zolfo di prima distillazione (lett. di prima condensazione) ottenuta dalla decomposizione e dall'ascensione dei vapori (*to apo tephron estin budôr theiou prôtostakton ôkonoumenon dia sêpseôs kai anagôgês*)».¹⁹

¹¹ Cfr. R. HALLEUX, *op. cit.*, p. 181.

¹² R. HALLEUX, *ib.*, p. 30.

¹³ Cfr. ZOSIMO, *Mem. aut.* IV, 18, 45 *suiv.*, *Cap. a Eus.*, CAAG II, 184, 2-3 (tr. 182). Per questi termini si veda il Lessico alla fine di R. HALLEUX, *op. cit.*

¹⁴ Cfr. M. MERTENS, *op. cit.*, p. 142.

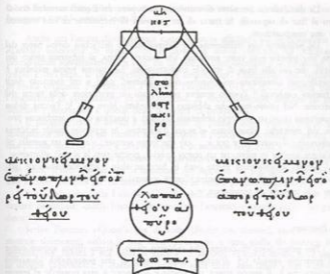
¹⁵ Cf. M. MERTENS, *op. cit.*, p. 151 n. 18.

¹⁶ *Mem. aut.* IV, 68 Mertens.

¹⁷ *Cap. a Eus.*, CAAG II, 181, 13-15 (tr. 179).

¹⁸ *Mem. aut.* IX, 65-6.

¹⁹ CAAG II, 401, 18 (tr. 388).



Marc. gr. 299, fol. 193v.

Maria l'Ebrea²⁰ scrive: «L'acqua divina sarà perduta per coloro che non comprendono ciò che è stato scritto, e cioè che essa è spinta verso l'alto dalla cucurbita e dal tubo [ascendente] (*dia tēs lopados kai tou stēlēnos*)».²¹

In una figura rappresentata nel manoscritto *Marcianus graec. 299*,²² al seguito della *Mém. autb. II*, L39 di Zosimo, possiamo visualizzare queste parti dell'alambicco e il luogo in cui è accolta l'acqua di zolfo. Sotto ciascuno dei due recipienti di recezione in cui terminano i tubi di scarico dell'alambicco si può leggere: «vaso di recezione posto su un mattone in cui scorre l'acqua di zolfo (*eis ho apor(r)ei to hudōr tou theiou*)».

²⁰ Maria l'Ebrea fa parte dei «vecchi autori», citati da Zosimo e dai commentatori; si tratta generalmente di brevi testi redatti tra il I e il III s. d.C.

²¹ Maria *ap. Zosimo, Cap. a Evr., CAAG II*, 157, 5-7 (tr. 157).

²² La figura è riprodotta in M. MARIANO, *op. cit.*, p. 243.

La distillazione permette di convertire in vapore dei liquidi mescolati fra di loro al fine di separarli. Si tratta di un processo di estrazione di una sostanza da una composizione.

Un problema non indifferente per l'identificazione dell'acqua divina nasce dal fatto che talvolta essa viene assimilata alla materia prima, al substrato unico dei metalli che sta alla base di tutte le trasformazioni. La materia prima metallica è generalmente identificata col piombo dagli alchimisti greci e col mercurio dagli alchimisti medievali.²⁵ Zosimo sembra essere stato un precursore della teoria del mercurio. Nel primo testo che abbiamo citato infatti, *Mem. aut.* V, l'acqua divina è concepita come un principio universale (*to pan*), e descritta con le sembianze proprie del mercurio. Innanzitutto «l'acqua d'argento», *to argyreion hudor* richiama *hudrarguros*, il mercurio, e poi «... ciò che fugge sempre ... non è un metallo né un'acqua sempre in moto, né un corpo (solido), poiché non la si può afferrare».

Questa assimilazione mette però in luce un altro tratto fondamentale dell'acqua divina: l'affinità qualitativa, l'unità sostanziale tra il principio trasmutatore e la materia da trasmutare.

3. Funzioni.

Nel primo testo di Zosimo che abbiamo citato, l'acqua divina appare come un principio causale (cf. *d'autou*) attivo, dotato di una potenzialità (*dunamis*) nascosta che è, al tempo stesso, *construens* e *destruens*: «essa possiede al tempo stesso vita e spirito, ed essa ha un potere distruttivo».

Un altro passo attribuito a Zosimo descrive le operazioni dell'acqua divina in questi termini:

Quest'acqua bicolore, bianca e gialla, l'hanno chiamata con migliaia di nomi. Dunque, senza l'acqua divina (o di zolfo: *aneu ... tou theiou budatos*), non vi può essere nulla. Infatti, la composizione (*synthesis*) tutta intera è intrapresa da essa (*d'autou*), e da essa che è scaldata, e da essa è bruciata, e da essa è fissata, e da essa è colorata di giallo, e da essa è decomposta, e da essa è tinta, attraverso essa subisce la *sisis* ed è raffinata (*lontai kai exontai*) e da essa è sottomessa a cottura. Infatti egli (Democrito?) dice: «proiettando l'intoccabile acqua di zolfo e un po' di gomma, tingerete ogni metallo» [...].

È necessario che quest'acqua, in virtù della sua funzione di lievito (*charin zometi*), determini la fermentazione destinata a produrre il simile per mezzo del corpo metallico che deve essere colorato. Infatti, come il lievito del pane, preso in piccola quan-

²⁵ Nel *Lessico della Crisopea*, troviamo l'acqua divina identificata sia col piombo (CAAG II, 8, 13; tr. 8) che col mercurio (ib. 14, 11, 15, 3; tr. 15). E.S. TAYLOR, «A Survey of Greek Alchemy», *Journal of Hellenic Studies*, 50 (1930), p. 131, individua nell'alchimia greca tre diverse identificazioni dell'«acqua divina»: un polisolfuro di calcio, il mercurio e, in generale, i liquidi che si usavano per l'opera.

tità, fa fermentare una gran massa di pasta, allo stesso modo un piccolo pezzo d'oro fa fermentare tutta la materia secca.²⁴

Anche qui l'acqua divina appare come la causa efficiente (cf. la ripetizione di *d'auton*) autonoma. Si osserva che è capace di azioni contrarie sul composto, riconducibili sostanzialmente a due: da un lato, la composizione e la fissazione del colore e dall'altro, la decomposizione e la dissoluzione. Operazioni che appaiono in realtà connesse. Per esempio Pelagio il Filosofo (III-IV s. d.C.?) mostra come l'operazione di dissoluzione, di attenuazione, di decomposizione dell'oro sia preliminare e necessaria a quella della doratura in profondità.²⁵

Il paragone con il lievito è significativo: in primo luogo, mostra che la trasformazione in oro di un metallo si fa secondo il principio del simile, a partire da una piccola quantità d'oro, e non *ex nihilo*, e in secondo luogo, che è l'acqua divina che mette in moto tutto il processo di assimilazione della massa da tingere al piccolo pezzo d'oro. Emerge qui la questione del rapporto tra colorazione in profondità e delle tecniche per raffinare l'oro²⁶ con la vera e propria tasmutazione.²⁷

Per quanto riguarda l'azione colorante dell'acqua divina, si distinguono due tinte principali: quella bianca, che produce l'argento, e quella gialla che produce l'oro.

Scrivono Zosimo: «Quest'acqua di zolfo (*budor tou theiou*), resa bianca da materie sbiancanti, colora a sua volta di bianco; e resa gialla da materie che ingialliscono, colora a sua volta di giallo»²⁸ e altrove: «l'acqua divina [...] tinge le droghe (*pharmaka*); e quando la droga è stata tinta, essa tinge a sua volta».²⁹

Da questi passi l'azione colorante dell'acqua divina è descritta come indiretta, come l'agente di trasmissione del colore. Da questo punto di vista, si capisce come possa essere stata assimilata alla materia prima, come il mercurio, che fa da supporto ai colori.

In questa prospettiva la distinzione tra la materia e il principio tintoriale è molto tenue. La visione del mondo fisico degli alchimisti, e più particolarmente del mondo dei metalli, si fonda su una concezione unitaria. I metalli sono tutti

²⁴ CAAG II, 144, 20-145, 4 (tr. 148); cfr. 174, 15-19 (tr. 173).

²⁵ CAAG II, 254, 17 sg. (tr. 244).

²⁶ Cfr. R. HALLEUX, «Méthode d'essai et d'affinage des alliages aurifères dans l'Antiquité et au Moyen-âge», in C. MORISON et alii, *L'or monnayé I, Cahiers Ernest Babelon*, Paris, CNRS, 1985, p. 39-77.

²⁷ R. HALLEUX, *Pap. Leyd.*, op. cit., Intr. p. 77, osserva che cambiare il colore significava cambiare in realtà la composizione di corpi. In assenza di composizione chimica e struttura cristallina è infatti il colore che fonda le classificazioni antiche dei minerali. Cfr. a questo proposito A.J. HOPKINS, «Transmutation by colour: A study of eralies Alchemys», *Festschrift E.O. Von Lippmann*, Berlin, 1927, p. 9-14.

²⁸ CAAG II, 157, 10-11 (tr. 157).

²⁹ *Cap. a Ess.*, CAAG II, 160, 18-20 (tr. 160).

riconducibili alla stessa materia prima e tendono a realizzarsi nella loro forma più perfetta che è l'oro. Cosa distingue allora l'acqua divina dal metallo su cui agisce?

Una caratteristica del principio trasmutatorio è il fatto di essere una *dunamis* nascosta nella materia di tutti i metalli, potentissima e autonoma, che deve essere portata alla luce mediante un processo di estrazione, di separazione in profondità, o più precisamente di distillazione, per agire sulla materia stessa.

4. Unità e molteplicità

Zosimo descrive in *Mem. aut.* IV l'acqua divina come una sostanza identica al Tutto (*to pan*) ma anche come l'origine (*ex autou*) e la causa (*d'autou*) del Tutto.

Si tratta poi di una sostanza unica (*mia ousia*), ma dotata di due nature (*duo phuseis*), legate fra loro da un rapporto di attrazione e dominazione.

Non è facile capire cosa Zosimo intenda per «nature». Si tratta probabilmente delle sostanze che entrano nella composizione.

Il filosofo Cristiano consacra una lunga analisi per spiegare in che senso l'acqua divina è al tempo stesso una e molteplice. Per Zosimo è «una rispetto al genere (*tò geni*) e molteplice rispetto alla specie (*tò eidei*)»³⁰ intendendo per specie il colore (essa può essere bianca, gialla, rossa). Democrito parla invece di una specie unica che produce diverse azioni (*energeiai*).³¹ L'acqua divina è detta «complessa» (*polusyntheton*), poiché formata è da due monadi a loro volta composte, come è composta qualunque cosa naturale o artificiale.³²

Il Cristiano paragona l'unità dell'acqua divina a quella dell'universo, che può essere divisa rispetto alle specie e al numero.³³

In Zosimo unità e molteplicità toccano anche la materia prima. La compresenza di unità e molteplicità nell'acqua divina mostra lo sforzo di definire un principio causale distinto, ma non separato, dalla materia su cui agisce. Si delinea così una causa efficiente-immanente.

5. Modelli filosofici: la causa immanente

Si pone a questo punto la questione del *back-ground* filosofico dell'alchimia greco-alessandrina che, come diceva Festugière, «è nata dall'incontro di un fatto e di una dottrina»,³⁴ dottrina che è soprattutto la filosofia greca.

³⁰ CAAG II, 404, 3 (tr. 388).

³¹ CAAG II, 405, 9 (tr. 390).

³² CAAG II, 407, 10 (tr. 391).

³³ CAAG II, 408, 8 (tr. 392).

³⁴ «L'alchimie gréco-égyptienne, d'où ont dérivé toutes les autres, est née de la rencontre d'un fait et d'une doctrine. Le fait est la pratique, traditionnelle en Egypte, des arts de

A quale modello storico-filosofico della causalità si poteva riferire principio trasmutatorio, è detto in maniera esplicita da Olimpiodoro l'alchimista (VI sec. d.C.).

Uno degli scopi fondamentali del suo commento al perduto *Kat'energeian* di Zosimo, è di mostrare la convergenza, e più precisamente la derivazione concettuale dell'alchimia dalla filosofia.

Egli considera il concetto di principio (*arché*) di tutte le cose dei Presocratici come il modello, il punto di partenza, del principio degli alchimisti, dell'«oggetto della ricerca» (*to zétoamenon*), e cioè l'acqua divina.³⁵

Olimpiodoro espone le opinioni di nove presocratici (Melisso, Parmenide, Talete, Diogene, Eraclito, Ippaso, Senofane, Anassimene e Anassimandro) sul principio unico e le confronta con le tesi dei principali rappresentanti dell'alchimia (Zosimo, Chymès, Agatodemone e Hermes). Egli distingue, all'interno di entrambi i gruppi, tra «teologi» e «fisici». Per i primi, il principio è il «divino», *theion*, per i secondi si tratta, nel caso dei Presocratici, di elementi (*stoicheia*) del mondo fisico (aria, acqua, fuoco, terra,) e, nel caso degli alchimisti, di sostanze (fumo, vapore, sublimati).³⁶

La distinzione delle opinioni dei Presocratici e degli Alchimisti tra teologi e fisici esprime bene la doppia natura del principio dell'Arte: causale, sacro e elementare, *theion*: divino e zolfo.

Una cosa curiosa e molto significativa nel testo di Olimpiodoro è che il principio di Melisso, il divino, *theion* è glosato nei manoscritti con espressioni e simboli che si riferiscono allo zolfo e all'acqua divina, dandoci così un esempio concreto delle conseguenze dell'ambiguità del termine *theion*.³⁷

Ora, l'*arché* dei Presocratici è definita per la prima volta da Aristotele nel primo libro della *Metafisica* dove egli valuta le dottrine dei suoi predecessori alla luce della dottrina delle quattro cause. L'*arché* dei primi fisici, concepita come punto di arrivo e di partenza di ogni generazione, è considerata da Aristotele come una intuizione imperfetta e parziale della causa materiale (*ex bou*).

Ma nella sua descrizione, Aristotele attribuisce a questo principio delle caratteristiche sue proprie, innanzitutto lo descrive come una sostanza fisica omogenea al cosmo e distinta in un elemento, dotata di una causalità fisica e generatrice.³⁸

Forlèverrie. La doctrine est un mélange de philosophie grecque, empruntée surtout à Platon et à Aristote, et de rêveries mystiques», A.J. FESTUGIÈRE, *La Révélation d'Hermès Trismégiste*, vol. IV, Paris, 1944, p. 218.

³⁵ CAAG II, 79, 11 (tr. 86).

³⁶ CAAG II, 81, 11-88, 5 (tr. 88-91). Cfr. su questo passo: C. VIANO, «Olimpiodoro l'Alchimiste et les Présocratiques. Une doxographie de l'unité (*De arte sacra*, 5 18-27)» in *Alchimie: art, histoire et mythes*, a cura di D. Kahn e S. Mattou, Paris/Milan, SEHA/Arché, 1995, 95-153.

³⁷ Cfr. C. VIANO, art. cit., p. 145-147.

³⁸ Arist. *Metaph.* A, 3, 983 b 6: «La maggior parte di coloro che primi filosofarono pensarono che i principi di tutte le cose fossero solo quelli materiali. Infatti essi affermano che

Tra le numerose altre tracce di filosofia presocratica che si trovano nel *Corpus* vorrei segnalare ancora una che mi pare molto significativa. Uno dei «vecchi autori», Comario (I-III s. d.C.?) descrive in questo modo lo scopo (*peras*) della grande opera:

quando essa è giunta a compimento, si ottiene una preparazione (*pharmakon*) assasina che percorre il corpo. Come essa percorre (*riserchetai*) il proprio corpo, così penetra (*dierchetai*) negli altri corpi. Infatti, attraverso la decomposizione e l'azione del calore, si ottiene una preparazione che corre senza ostacoli (*akólutós*) attraverso ogni sorta di corpo.³⁹

Questo *pharmakon* che penetra e corre attraverso i corpi senza ostacoli ricorda molto da vicino quel principio della generazione degli esseri dei «filosofi del flusso», e cioè soprattutto Eraclito, che Platone descrive nel *Cratilo* per spiegare l'etimologia di *dikaion* (= giusto):

[Easi credono] che questo qualcosa sia molto rapido e molto sottile. Altrimenti non potrebbe attraversare tutto l'essere, se non fosse abbastanza sottile che nulla gli faccia ostacolo, né abbastanza rapido per poter disporre degli altri esseri come se fossero immobili. Cosicché, dal momento che governa (*epitropeset*) tutte le altre cose percorrendole (*dikaion*), fu giustamente chiamato con questo nome di «giusto» (*dikaion*), aggiungendovi, per eufonia, l'effetto del *é*.

Ma io, Ermogene, a cui la giustizia sta molto a cuore, ho pur sentito dire in segreto, che questo giusto è anche la causa (*aition*), giacché quello «per cui» (*d'ho*) tutto si genera è appunto la causa.⁴⁰

Vengono poi elencate varie identificazioni di questo principio, come il sole, il fuoco, il calore. Il fuoco è una chiara allusione al principio di Eraclito.

Si comprende così come la causalità immanente e materiale dell'*arché* dei filosofi naturalisti possa costituire il modello ideale per il principio trasmutatorio.

ciò di cui tutti gli esseri sono costituiti e ciò da cui derivano originariamente e in cui si risolvono da ultimo, è elemento ed è principio degli esseri, in quanto è una realtà che permane identica pur nel trasmutarsi delle sue affezioni».

³⁹ CAAG II, 299, 11 (tr. 287).

⁴⁰ Plat., *Cratyl.*, 412-413.

MICHELA PEREIRA (*)

L'origine dell'idea di quinta essenza nell'alchimia medievale¹

Summary - Some of the Arabic alchemical texts translated during the XII century vehiculated the practical knowledge of the alchemical opus in a cosmological context of Hermetic origin. The development of this cosmological issue in Western texts eventually brought to light the idea of the oneness and the dynamic quality of matter/nature, which was conceived of as a bodily and spiritual substance. This was the incorruptible subtle body (quinta essentia), considered the core of every concrete being, from which it was deemed to be extractable by means of distillation.

La *Tabula smaragdina*, *Urtext* degli alchimisti latini, come altri testi alchemici di derivazione islamica — in primo luogo, per la sua importanza e per l'ampia diffusione che ebbe nel mondo latino, si deve ricordare la *Turba philosophorum* — innestano i propri contenuti operativi su affermazioni di ordine generale concernenti il mondo, la sua creazione e il suo dinamismo intrinseco.² Ai filosofi occidentali, che nel XII secolo cominciano a conoscere questi testi le cui versioni latine sono parte del più generale movimento di traduzioni scientifiche dall'arabo, essi rivelano una cosmologia alternativa rispetto a quella aristotelica, una concezione della natura i cui principi sono ricondotti al nome di

(*) Università degli Studi di Siena.

¹ Questo contributo presenta, in forma sintetica, le linee generali ed i primi risultati di una ricerca in corso sull'idea di quintessenza nell'alchimia e nella filosofia medievale. Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

² Lo studio fondamentale concernente questo testo è quello di JULIUS RUSKA, *Tabula Smaragdina. Ein Beitrag zur Geschichte der Hermetischen Literatur*, Heidelberg 1926.

Ermete³ che — come autore o come ispiratore — è collegato a tutti i testi nei quali è sviluppata l'idea centrale di questa filosofia, che i latini indicheranno con il termine di 'quinta essenza'.⁴

Ad Ermete vengono attribuite, fin dalla letteratura alchemica ellenistica, alcune affermazioni chiaramente connesse ad idee filosofiche che in parte richiamano motivi stoici.⁵ Ecco quanto leggiamo in alcuni frammenti riportati da Festugière: «La totalità delle cose, per quanto molteplice, è detta Uno» (fr. 26bis). «Se non spiritualizzate i corpi e non corporificate gli spiriti il risultato atteso non si produrrà» (fr. 1). «Il sapientissimo Ermete definisce il metallo un animale vivente» (fr. 18). «Se semini il grano, nascerà il grano» (fr. 25). Dunque, la realtà veniva considerata come un *continuum* materiale; spirito e materia sono i due poli di questa unità; non esiste una rigida distinzione fra gli esseri animati e quelli inanimati; e in quest'unità vi è un ordine che garantisce l'efficacia dell'agire umano. Su questa base filosofica si innestano saperi operativi orientati alla ricerca di un rapporto armonioso fra gli esseri umani ed il mondo: astrologia, magia, medicina magica, alchimia. Quest'ultima è concepita come un sapere che permette di creare un nuovo equilibrio delle componenti materiale e spirituale della realtà, producendo la perfezione della materia mediante l'attività umana.

Il segreto principale rivelato da Ermete ai suoi discepoli è che una è la fonte e il principio delle cose, il vincolo che tiene assieme tutte le coppie di polarità cosmiche. La *Tabula smaragdina* ricapitola nel primo aforisma questa dottrina, che è la base su cui si innesta la possibilità che, attraverso la pratica della distillazione, l'agire umano diventi creativo come quello divino: «Ciò che è in alto è come ciò che è in basso e ciò che è in basso è come ciò che è in

³ Sul rapporto fra alchimia e filosofia nel Medioevo si vedano ROBERT HALLIUX, *Les textes alchimiques*, Turnhout 1979; CHIARA CRESCIANI - MICHÈLA PEREIRA, *L'arte del sole e della luna. Alchimia e filosofia nel Medioevo*, Spoleto 1996. Sul ruolo di Ermete cfr. in particolare HALLIUX p. 99; CRESCIANI-PEREIRA pp. 78-79 e 115-117.

⁴ Gli studi principali sulla quintessenza nell'alchimia, non solo in quella latina medievale — dove viene così denominata — ma anche nelle fasi precedenti dell'elaborazione operativa e concettuale del prodotto della distillazione (l'acqua divina dell'alchimia ellenistica, su cui vedi in questo stesso volume il contributo di Cristina Viano; l'acqua ardente della tradizione medica) sono: F. SHERRWOOD TAYLOR, *The Idea of the Quintessence, in Science, Medicine and History. Charles Singer Presentation Volume*, ed. E.A. Underwood, Oxford 1953, pp. 247-265; I. GWEI-DIEN, J. NERESHAM, D. NERESHAM, *The Coming of Ardent Water*, «Ambix» 19 (1972), pp. 69-112. Sul tema della quintessenza nella tradizione filosofica antica P. MORAUX, s.v. 'quinta essentia', in PAULA WISSOWA, *Realenzyklopaedie*, Berlin 1963. Sulla storia della distillazione, R.J. FORBES, *A Short History of the Art of Distillation* (1948), Leiden 1970. Sul significato filosofico della distillazione ed i suoi risvolti in ambito sociale e religioso, SUZANNE COLNORT-BODET, *Le code alchimique dévoilé. Distillateurs, alchimistes et symbolistes*, Paris 1989.

⁵ A.J. FESTUGIÈRE, *La Révélation d'Hermès Trismégiste, I. L'astrologie et les Sciences Occultes*, Paris 1950 (1989²), cap. 6.

alto, per operare i miracoli della realtà che è uno ... Così fu creato il mondo».⁶ La materia sottile, ottenuta mediante la distillazione di sostanze diverse, è infatti ciò che rende visibile l'unica radice materiale di tutto quel che esiste, in accordo con la dottrina ermetica della «res una», di cui mostra la possibilità non attraverso una dimostrazione logica, ma attraverso una produzione materiale artificiale.

Un altro testo alchemico direttamente attribuito ad Ermete, i *Septem tractatus* o *Tractatus aureus*,⁷ offre ulteriori indicazioni su ciò che si pensava fosse questa «realtà unica». In questo testo la distillazione è infatti definita «separazione dell'acqua»; è mediante questa pratica che l'alchimia permette di ottenere, a partire dalla scissione dei corpi elementari misti, la cosiddetta pietra, principio della salvezza di corpo e anima.

Nel *Tractatus aureus* all'alchimista è esplicitamente richiesto di mantenere un atteggiamento di indagine razionale di fronte alla realtà, sicché le metafore possano essere rettamete interpretate. Fra esse risalta in particolare quella relativa all'uovo,⁸ simbolo cosmologico ampiamente utilizzato nelle fonti filosofiche tardo-antiche e alto-medievali.⁹ L'uovo alchemico visualizza qualcosa che non è facilmente pensabile, l'efficacia dell'azione dello spirito sulla materia e l'armonia a cui essa dà luogo, garantita dall'esistenza di un termine medio fra la materia e lo spirito, che è il loro sostrato comune, la radice materiale invisibile della realtà che solo l'*opus* alchemico può portare alla luce. Esso è acqua che non è acqua, forma solida, luce che nasce dalle tenebre, mediazione fra cielo e terra, invocata come un principio creatore e divino: «O stabile forma dell'acqua, creatrice degli elementi regali ... O natura, somma creatrice delle nature, che contiene e separa le nature intermedie, che viene con la luce e con la luce è

⁶ *Tabula smaragdina*, trad. Platone di Tivoli, in R. STEELE, D.W. SINGER, *The Emerald Table*, «Proceedings of the Royal Society of Medicine» 21 (1928), p. 8: Quod est superius est sicut quod inferius, et quod inferius est sicut quod est superius / Ad preparanda miracula rei unius / ... / Sicut hic mundus creatus est.

⁷ Il testo dei *Septem tractatus* è per ora leggibile soltanto in edizioni antiche; quella di cui mi servo è l'edizione settecentesca in J.J. MANGET, *Bibliotheca Chémica Curiosa* (Ginevra 1702), vol. I, pp. 400-445 (dove il testo medievale è intercalato da 'scholia' in corpo tipografico diverso). L'edizione delle opere alchemiche attribuite ad Ermete Trismegisto è ora progettata all'interno dell'edizione degli scritti ermetici pratico-tecnici diretta da Paolo Lucentini per il «Corpus Christianorum - Continuatio Medievalis».

⁸ *Septem tractatus Hermetis*, in J.J. MANGET, *Bibliotheca Chémica Curiosa*, Ginevra 1702, vol. I, p. 420: Fili, inquisita disposito a philosophis una est, in ovo nostro ... ex 4 elementis compositio coaptata et composita. (Figlio, la disposizione delle cose che i nostri filosofi ricercano è una sola, nel nostro uovo ... ed è la composizione dei quattro elementi armoniosamente composta).

⁹ Sull'uso dell'uovo come metafora, da Marziano Capella a Ikegarda di Bingen, si veda P. DUBOIS, *Fabula. Explorations into the Uses of Myth in Medieval Platonism*, Leiden 1974, pp. 79-99. 'Fables of the cosmic egg' (non annovera testi alchemici fra le fonti utilizzate).

generata, che è stata partorita da una nube oscura, che è la madre di tutte le cose...».¹⁰ In termini filosofici, si riconosce chiaramente in questa materia-madre divina di tutte le cose il simbolo femminile di una realtà affine all'idea stoica di pneuma, ma che ci riporta anche più lontano, verso le speculazioni presocratiche sul principio primo.¹¹

Questo passaggio è esplicitamente compiuto nella *Turba philosophorum*, in cui l'unità della materia/natura è il risultato di un procedimento di distillazione macrocosmica, nel quale il sole estrae dall'aria una materia sottile che è lo spirito e la vita di tutte le creature: «Affermo che il principio di tutte le cose è una certa natura che è eterna e che produce col calore tutte le cose... Fu il calore del sole ad estrarre un qualcosa di tenue dall'aria, che è spirito e vita per tutte le creature».¹² L'uniformità fra la dinamica macrocosmica e l'alchimia è resa evidente dall'uso peculiare della metafora dell'uovo, che nella *Turba* rappresenta l'*opus* alchemico: «Tutti i filosofi hanno utilizzato l'esempio dell'uovo in quest'arte nobilissima, ponendolo come modello del proprio operare».¹³ La quadripartizione dell'uovo, infatti, esemplifica la matrice unitaria dei quattro elementi visibili, di cui i corpi misti sono composti, ed al quale la distillazione alchemica permette di accedere; ed è per questa ragione che si può dire che mediante essa si estrae il segreto nascosto nei quattro elementi, ovvero quell'«acqua» che è madre di tutte le cose visibili: «Figli del sapere, non vi ho narrato invano come sono fatti i quattro elementi. In essi infatti è nascosto un principio segreto...».¹⁴

In questo modo, il prodotto delle operazioni alchemiche è assimilato al misterioso principio materiale della realtà. In un'epoca in cui l'idea di natura

¹⁰ *Septem tractatus Hermetis*, cit., p. 422: O aquina forma permanens, regalium creatrix elementorum... O natura maxima naturarum creatrix, quae continet et separat mediocria naturarum, cum lumine venit, et cum lumine genita est, et quam tenebrosa nebula peperit, quae omnium mater est.

¹¹ Il background filosofico delle speculazioni alchemiche è un vasto campo pochissimo esplorato. La rilevanza delle tematiche stoiche è riconosciuta nell'alchimia latina medievale da Barbara Obrist (*Les débuts de l'imagerie alchimique (XIVe-XVe siècles)*, Paris 1992, pp. 26-27) e soprattutto in quella dell'età post-rinascimentale da Bernard Joly (*Rationalité de l'alchimie au XVIIe siècle*, Paris 1992). La presenza di temi presocratici è particolarmente sottolineata per quel che riguarda i testi della tradizione islamica, in particolare da MARTIN PLESSNER, *Vorsokratistische Philosophie und griechische Alchemie. Studien zu Text und Inhalt der Turba Philosophorum*, Wiesbaden 1975, pp. 82ss.

¹² *Turba philosophorum*, in J. RUSKA, *Turba philosophorum. Ein Beitrag zur Geschichte der Alchemie*, Berlin, 1931, Sermo I, p. 110: Dico omnium initium esse naturam quendam, et eam esse perpetuam ac omnia coquentem... Solis enim calor ex aere tenue quid extrahit, quod et spiritus et vita fit omnibus creaturis.

¹³ *Ibidem*, Sermo IV, p. 112: Omnes philosophi in hac excellentissima arte ovum descriperunt exemplum, ipsum exemplum suo operi ponerunt.

¹⁴ *Ibidem*, Sermo IX, p. 117: Fili doctrine, non frustra horum quatuor vobis dispositionem narravi elementorum. In his namque est arcanum absconditum...

veniva formandosi attraverso una incorporazione dell'idea teologica di Spirito Santo e di quella filosofica, di ascendenza neoplatonica, di anima del mondo,¹⁵ testi alchemici come quelli ora visti non potevano non essere fatti oggetto di riflessione da parte dei filosofi. Prendere sul serio le dottrine degli alchimisti permetteva infatti di spiegare in termini naturalistici ed 'esperimentali'¹⁶ l'equazione fra anima del mondo e *ignis o vigor*, principio materiale di ogni dinamica elementare.

L'importanza filosofica di queste idee, e la potenzialità che esse contenevano per un diverso modello di realtà rispetto a quella rigorosamente gerarchica e dualistica d'ispirazione aristotelica, trovano riscontro in un testo sulla natura delle stelle che riporta l'insegnamento di Roberto Grossatesta, il celebre esponente del pensiero oxoniense dei primi decenni del Duecento, che diede ampio spazio alla riflessione scientifica sulla realtà.¹⁷ Nel *De generatione stellarum* la realtà celeste e quella sublunare, lungi dall'essere radicalmente diverse dal punto di vista ontologico come afferma il *De caelo* di Aristotele, sono infatti unificate dalla presenza anche nel mondo inferiore di una 'quinta essenza' che 'contiene' i quattro elementi e ne rende possibili le trasformazioni, essendone essa stessa il principio: «Coloreo che insegnano l'alchimia ritengono che all'interno ciascun corpo naturale composto vi sia una quinta essenza, che è come ciò che contiene i quattro elementi».¹⁸

Quest'affermazione, già impressionante di per sé — è forse la prima attestazione scolastica dell'uso del termine 'quinta essenza', solo in seguito comunemente usato per definire l'etere, materia celeste — è resa ancora più importante dal fatto che l'autorità cui fa riferimento sono i 'doctores alchimiae'. Questo testimonia di uno scambio fra il pensiero scolastico e quello alchemico ad un livello della massima importanza per quel che attiene la filosofia naturale. Il testo sulle stelle, che sfuma — per non dire cancella — quattro secoli prima di Gali-

¹⁵ Si vedano in proposito gli ormai classici studi di TULLIO GREGORI: *Anima Mundi. La filosofia di Guglielmo di Conches e la Scuola di Chartres*, Firenze 1955; *L'idea di natura nella filosofia medievale prima dell'ingresso della Fisica di Aristotele. Il secolo XII* (1964), ora in: *Mundana Sapientia. Forme di conoscenza nella cultura medievale*, Roma 1992, pp. 77-114.

¹⁶ Sul senso di 'experimentum', che costituisce una chiave per la comprensione del naturalismo del XII secolo e dei suoi sviluppi nella Scolastica, si veda Ch. BARNETT, *Scientific speculations*, in P. Dronke (ed.), *A History of Twelfth Century Philosophy*, Cambridge 1988. Si deve in particolare sottolineare che nel suo significato medievale il termine non contiene le due idee portanti della scienza sperimentale moderna (matematizzazione e ripetibilità dell'osservazione).

¹⁷ A. CROMBIE, *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science 1100-1700*, Oxford 1953; J. McEVY, *The Philosophy of Robert Grosseteste*, Oxford 1982.

¹⁸ *Die philosophischen Werke des Robert Grosseteste Bischofs von Lincoln*, hrsg. L. Baur, «Beiträge zur Geschichte der Philosophie des Mittelalters» Bd. IX, 1912: *De generatione stellarum*, p. 36: Item supponunt doctores alchimiae, quod in unoquoque corpore naturali et complexionato inest quinta essentia et est sicut continens quattuor elementa.

leo la differenza fra la composizione materiale dei cieli e quella dei corpi sublunari, contiene in germe la dottrina sulla natura della luce come principio costitutivo della realtà materiale del cosmo, di cui Grossatesta fu il primo ed il più importante esponente medievale. Due idee fondamentali sono all'opera in essa: la continuità della natura e della sua azione in tutto il mondo materiale, e l'unità ultima della materia. Ed entrambe queste idee erano esplicitamente veicolate dai testi alchemici, in primo luogo proprio da quelli ricordati all'inizio di questa comunicazione.

Il senso esatto del termine 'quinta essentia' si chiarisce poi in un passo di un'opera sicuramente grossatestiana, quella sulla natura delle comete: ivi è detto che il nucleo più interno di ogni corpo terrestre è un'entità spirituale corporea il cui carattere quintessenziale è esplicitato dal paragone con la natura celeste: «Infatti in ogni cosa terrestre composta vi sono realtà corporee spirituali, somiglianti alle nature celesti».¹⁹ La definizione di un'entità come spirituale e insieme corporea, che ai nostri occhi è un ossimoro, rinvia senza alcun dubbio all'idea alchemica dell'unica matrice materiale di tutta la realtà, che abbiamo visto espressa nei testi della tradizione islamica. Ma occorre di nuovo sottolineare che si tratta di una materia diversa da quella dei corpi composti dai quattro elementi, di un principio materiale sottile, che non è né la concreta e visibile sostanza delle cose, né un'entità puramente logica come il 'sostrato' aristotelico.

È noto che la divulgazione del termine 'quinta essentia' come vocabolo alchemico in senso proprio, direi quasi 'in senso tecnico',²⁰ indicante il prodotto della distillazione reiterata del vino in un vaso sigillato (il che la rende diversa, operativamente e concettualmente, dalle acque distillate della tradizione medica),²¹ è dovuta al francescano spirituale Giovanni da Rupescissa, che scrisse

¹⁹ *De cometis*, ivi, p. 38: In omni namque re complexionata terrestri sunt res corporeae spirituales, assimilatae naturis caelestibus.

²⁰ Ma il linguaggio dell'alchimia non ha le caratteristiche di un linguaggio scientifico, connotato dall'univocità semantica dei termini: ciò vale anche nel caso della 'quinta essentia' che, seppure viene ad indicare un prodotto riconoscibile e rinominabile univocamente nei nostri termini, l'alcool del vino appunto, conserva, proprio in quanto termine del linguaggio alchemico, una profondità semantica che ne permette l'estensione del significato con l'acquisizione di valenze filosofiche, religiose e simboliche che riverberano sull'oggetto materiale da essa indicato.

²¹ La duplice diversità, operativa e concettuale, risiede nel fatto che a differenza delle acqueviti o acque ardenti della tradizione medica (esemplificata nei *Comelia* di Taddeo Alderotti) la distillazione alchemica avviene in un vaso sigillato. Pertanto la materia che circola non è soggetta ad alcun calo ponderale, ma — nell'ottica rupescissiana — si trasmuta integralmente in un principio materiale sovraelementare a motivo dell'iterazione, potenzialmente infinita, delle 'circulationes'. Cfr. JOANNES DE RUPESCISIA, *De consideratione quintae essentiae*, Basilea 1561, p. 31: «Et sic usque ad mille vias, et per continuum ascensum et descensum quod sublimatur, ad tantam altitudinem glorificationis venit, ut sit compositum incorruptibile fere sicut caelum, et de natura caeli et ideo quinta Essentia appellatur, quia ita se habet ratione corpora nostri, sicut caelum ratione totius mundi» (E così, continuando a sublimare con elevazioni e discese fino a mille volte giunge ad una glorificazione così eccelsa da diventare un composto incorrut-

verso la metà del XIV secolo un testo dal titolo *De consideratione quintae essentiae*, destinato — sia direttamente, sia attraverso ulteriori rielaborazioni — ad influenzare il rinnovamento farmacologico proposto da Paracelso.²² L'apparente assenza del termine dalla tradizione scolastica pone un problema d'indagine storica: si può ipotizzare che la tradizione della cosmologia alchemica abbia seguito un suo percorso sotterraneo mentre la filosofia naturale aristotelica dominava il campo della scolastica?²³ La concezione della 'quinta essenza' riferita ai 'doctores alchimie' veicolava infatti residui della tradizione platonica e stoica nella corrente principale della concezione ermetica dell'Uno-Tutto, cui la forza, epistemologica ma anche — soprattutto — istituzionale del dualismo aristotelico impediva di emergere alla superficie.

Di fatto troviamo una concezione del genere pienamente sviluppata soltanto a distanza di un secolo dai testi grossatestiani citati. In un'importante opera alchemica, il *Testamentum* attribuito a Raimondo Lullo, il significato filosofico, cosmologico e naturalistico dell'alchimia viene infatti pienamente alla luce, dopo che la connessione dell'*opus* con un discorso cosmologico era rimasta apparentemente ignorata dalla maggioranza degli alchimisti latini del XIII secolo, il cui interesse principale si era focalizzato sull'aspetto metallurgico dell'alchimia.

La prospettiva che le prime pagine del *Testamentum* ci schiudono è insieme innovativa e antiquata rispetto all'epoca in cui l'opera è stata composta, che si può indicare con validi argomenti come il secondo o terzo decennio del Trecento.²⁴ Questo testo inizia infatti con un racconto dell'origine del mondo, che

nibile quasi come il cielo, e perciò, dal fatto che ha la natura del cielo, è chiamata quintessenza, poiché sta in rapporto col nostro corpo come il cielo sta in rapporto col mondo intero).

²² Su Giovanni da Rupescissa e la sua opera cfr. ROBERT HALLEUX, *Les ouvrages alchimiques de Jean de Rupescissa*, in *Histoire Littéraire de la France*, vol. XXI, Paris, 1981, pp. 241-284.

²³ Il termine 'quinta essentia' non compare nelle traduzioni medievali del *De celo* di Aristotele ed è ancora inutilizzato, ad esempio, nel commento di Tommaso d'Aquino a quest'opera (1272-1273). È presente invece nella tradizione francescana, con il significato di quinto elemento/materia dei cieli, almeno a partire da Bonaventura da Bagnoregio e Raimondo Lullo; ed era stato utilizzato da due teologi francescani della prima metà del Duecento, Alessandro di Hales e Giovanni della Rochelle, i quali sembrano riprendere il concetto grossatestiano nel senso proprio di 'res corporea spiritualis', ma limitandone l'applicazione all'ambito antropologico, dove la 'quinta essentia' viene ad indicare il vincolo sottile che garantisce l'unità psicosomatica dell'essere umano. Nell'ambito dei testi alchemici, il termine, per tutto il Duecento, compare soltanto in un titolo dell'*Opus tertium* di Ruggero Bacon (PARISE DEYEM, *Un fragment inédit de l'Opus Tertium del Roger Bacon*, Quaracchi 1909, p. 151: «De scientia quinte essentiae»), mentre non è utilizzato, per esempio, da Alberto Magno né dall'autore della *Summa perfectionis magisterii*, il francescano Paolo di Taranto noto ai latini come 'Geber'.

²⁴ Ho analizzato le problematiche storiche relative al *Testamentum* e al suo ignoto autore in: *Loro dei filosofi. Saggio sulle idee di un alchimista del Trecento*, Spoleto 1992. In particolare sulla datazione e le coordinate che disegnano un profilo dell'autore sufficiente da permettere di riconoscerne la formazione medica universitaria cfr. le pp. 87-94. Nell'introduzione all'edizione del testo catalano e latino di quest'opera, in corso presso le Edizioni del Galluzzo (Firenze,

colloca l'*opus* alchemico in un contesto cosmologico pre-aristotelico. Poiché l'autore del *Testamentum* mostra a più riprese di essere adeguatamente a conoscenza della filosofia naturale scolastica — e anzi l'ampia parte teorica della sua opera può essere considerata un tentativo di sistemare nei termini del linguaggio fisico di Aristotele l'esperienza della produzione dell'elixir —, si può ritenere che la sua assunzione di un punto di vista apparentemente antiquato fosse il risultato di una scelta, legata verosimilmente al suo desiderio di risalire alle fonti più antiche della filosofia naturale per poter riuscire nell'intento, chiaramente riconoscibile nel suo testo, di dare all'alchimia la dignità di filosofia naturale.²⁵ La sua cosmologia si presenta pertanto come uno sviluppo coerente di quella miscela di motivi alchemico-ermetici, stoici e timaici, di cui si sono portati all'inizio alcuni esempi, e sembra collegarsi direttamente alle elaborazioni cosmologiche del XII secolo, di cui il *Magister Testamenti* mostra soprattutto di condividere l'idea di una natura-materia dotata di energia creativa, allegorizzata in una figura femminile dalle caratteristiche semidivine, dalla quale l'artefice alchimista apprende le regole che devono governare il proprio *opus*, e con la quale collabora difendendo i segreti dalla profanazione che la minaccia.

Il quarto capitolo della prima parte del *Testamentum* si apre con l'esplicita affermazione che il testo precedente illustrava una dottrina del macrocosmo: «Abbiamo discusso del macrocosmo (de forma maiori), ed ora, scendendo verso il basso, discuteremo del microcosmo (de forma minori: l'opera alchemica e/o l'elixir che ne è il prodotto), in cui si ritrovano i principi che agiscono nell'opera a noi più vicina della natura...».²⁶ La ragione per cui l'alchimista si era inoltrato in questa impresa era il mandato, affidatogli dalla natura stessa, di custodire i suoi segreti dagli empì, che violandoli la mettono a morte: tali segreti è tuttavia necessario conoscerli per potersi prendere cura di lei, ed è questa la ragione per cui essa li ha rivelati al pio 'figlio di Ermete', che nello scritto li espone a sua volta ad un 'figlio', mostrando così la peculiarità dell'approccio al sapere alchemico.²⁷

1998), il contesto dell'opera viene delineato con ulteriori dettagli, ma non è stato comunque possibile finora identificare quello che, nel lavoro del 1992, avevo denominato 'Magister Testamenti'.

²⁵ Un'analoga lettura dell'alchimia come filosofia naturale era stata proposta da Ruggero Bacon: cfr. M. PIREDA, *L'oro dei filosofi*, cap. 2, p. 55.

²⁶ *Testamentum*, ms Oxford, Corpus Christi College, 244, f. 3va (cfr. MANGET, *Bibliotheca Chemica Cariosa*, vol. I, pp. 709): Cum determinatum sit de forma maiori, nunc descendendo determinabimus de forma minori, in qua sunt principia succedencia in opere nature propinquiori secundum extrema et media suorum operationum propinquiorum.

²⁷ L'insegnamento dell'alchimia viene cioè presentato come iniziazione, sia attraverso una comunicazione immediata che ha caratteristiche della conoscenza profetica, sia attraverso una trasmissione riservata a chi possiede i requisiti morali ed affettivi in grado di garantire il buon uso di una conoscenza avvertita come potente e pericolosa. È forse questo aspetto che più vistosamente distingue la conoscenza alchemica da quella scientifica, di cui la Scolastica medie-

Nel racconto della creazione la dottrina alchemica ripropone un quadro molto simile a quello della *Tabula smaragdina*: «Dio ha creato dal nulla la natura producendo una sola sostanza pura, che chiamiamo quinta essenza, nella quale tutta la natura è racchiusa. Dalla parte più pura di questa sostanza, divisa in tre parti secondo l'essenza, Dio creò gli angeli; dalla seconda creò il cielo e tutti i corpi celesti; della terza parte, che era la meno pura, Dio creò questo mondo in tal modo».²⁸

La natura è identificata con la prima materia creata, denominata 'quinta essenza', che è la materia prima di tutte le creature e di conseguenza è il nesso che unisce l'alto e il basso, come lo era per Roberto Grossatesta. Essa è la sorgente originaria, la matrice materiale dei quattro elementi, e continua a sussistere come il loro nucleo: «Nel centro della terra c'è la terra come elemento vero e vergine, che il fuoco non potrà bruciare nel giorno temibile; e lo stesso per gli altri elementi».²⁹ Da questo passo risulta che la quinta essenza è identificata tanto con la materia pura della creazione che con quella purificata dei corpi risorti; inoltre, in quanto sede dell'energia creativa divina, può essere identificata con il terzo principio della Trinità, che è forza che vivifica ogni cosa (come l'*anima mundi* delle cosmologie del XII secolo) ed insieme ricettacolo delle forme (come la *yle* del Timeo platonico). La 'quinta essenza', cuore della natura, è dunque un principio bifronte, attivo e passivo allo stesso tempo, ed è l'interfaccia tra Dio e la creatura. «I principi di tutte le cose sono tre, cioè il principio produttivo, il principio esemplare e la materia. Il primo principio, il produttore, è Dio creatore di tutte le cose; il secondo principio, chiamato esemplare, procede da lui ed è la sapienza; il terzo principio, che viene successivamente, è la materia creata, creata da lui con la sapienza che da lui procede, ed è l'elemento primordiale che chiamiamo *yle* e che ti abbiamo già spiegato, se ci hai compreso ... E dunque, se

vale gettava le basi sia a livello epistemologico, che metodologico, ed anche istituzionale (è l'epoca in cui ha origine l'istituzione universitaria). L'alchimia tuttavia non era un sapere 'occulto': diversi elementi mostrano che essa aveva un supporto istituzionale nella cultura delle corti (W. CAGAN, *Western Society and Alchemy from 1200 to 1500*, «Journal of Medieval History» 6, 1980, pp. 105-132; B. OBRIST, *Die Alchemie in der mittelalterlichen Gesellschaft*, in *Die Alchemie in der Europäischen Kultur und Wissenschaftsgeschichte*, ed. Ch. Meinel, Wiesbaden, 1986, pp. 33-59; CRISCIANO PEREIRA, *L'arte del sole e della luna*, Introduzione, cap. 4) e un'analisi attenta delle modalità della sua trasmissione rivela un intento non di nascondere il proprio sapere, ma di trasmetterlo a condizioni volutamente diverse da quelle della trasmissione scolastica (M. PEREIRA, *Introduzione a: MORIENO ROMANO, Testamento alchemico*, Roma 1996).

²⁸ *Ibidem*, f. 1r b (BCC, p. 708): *Illam naturam Deus creavit de nichilo in unam puram substantiam, quam vocamus quintam essenciam, in qua tota natura comprehenditur. De istius substantie, divise in tres partes secundum essenciam, parte puriori creavit Deus angelos; de secunda creavit celum et planetas et omnes stellas; de tercia parte, que erat minus pura, creavit Deus istum mundum in isto modo.*

²⁹ *Ibidem*, f. 2v b (BCC, p. 709): *In centro terre est terra virgo et verum elementum, quod ignis comburere non potest in die pavenda, et sic de aliis elementis.*

vuoi ottenere questa materia, devi capire che essa è una sostanza pura, che ha in sé e origina le forme, poiché in essa ogni forma sussiste in potenza».³⁰

L'alchimista tuttavia non si limita a voler comprendere («intelligere») questo principio, ma è certo di poterlo ottenere mediante la sua arte, ed è ciò che egli ricerca. L'ottenimento di questo principio e la sua utilizzazione medica verranno a costituire, alla metà del Trecento, l'argomento centrale del *De consideratione quintae essentiae* di Giovanni da Rupescissa, che costituisce il culmine della ricerca alchemica medievale ed il momento in cui ha inizio la trasformazione in senso medicinale, che condurrà alla riforma paracelsiana della farmacologia basata sui procedimenti alchemici. Utilizzando il metodo alchemico della distillazione (cioè operando in un vaso sigillato), che si riteneva consentisse di ottenere dalla 'materia prima', senza alcuna aggiunta né sottrazione, un prodotto di infinita 'sottigliezza' e purezza, Giovanni era convinto, come abbiamo già visto, di ottenere il principio materiale che andava oltre la dimensione singola di ciascuna qualità elementare, la prima materia vera e propria, radice e matrice di tutti gli esseri materiali, che portava a compimento le aspettative che intere generazioni di medici e di alchimisti avevano nutrito: «Dunque la radice della vita dev'essere ricercata come una cosa di per sé incorruttibile, se anche durasse in eterno ... Sappi, non è menzogna, che nessuno dei quattro elementi ha questa caratteristica ... e dunque è necessario ricercare una cosa che sia, in rapporto alle quattro qualità di cui è composto il nostro corpo, come è il cielo rispetto ai quattro elementi ... Pertanto la cosa che cerchiamo è rispetto alle quattro qualità del nostro corpo una quinta essenza, in sé incorruttibile».³¹ L'alcool del vino o quinta essenza era, per Giovanni, la 'pietra' incorruttibile che non è una pietra, una sostanza capace di sostenere la vita, di ringiovanire, di conferire la longevità se non addirittura l'immortalità, l'elixir alchemico nella sua realtà tangibile. Infatti, l'incorruttibilità — la perfezione della materia che gli alchimisti ricercavano, per i metalli come per gli esseri umani — non poteva essere conferita da un farmaco corruttibile, come sono tutti quelli di natura elementare,

³⁰ Ibidem, f. 3ra (BCC, p. 710): Sunt tria principia omnium rerum, videlicet artificiale, exemplar et materia. Primum principium artificiale est Deus omnium conditor; secundum principium, quod dicitur exemplar, movetur ab illo, qui est sapiencia; et tertium succedens principium, materia creata, creata per ipsum cum sapiencia, quae procedit ab ipso, et est primordial elementum, quod nos vocamus «yle», quod tibi declaravimus, si nos intellexisti ... Et ob hoc, si talem materiam petis aut perquisis, intellige illam esse purum subiectum, quod est unio aut motio formatum, in qua retinetur omnia forma cum possibilitate.

³¹ GIOVANNI DA RUPECISSA, *Liber de consideratione quintae essentiae*, Basilea 1561, pp. 17-20: «Ergo radix vitae est quaerere rem de se (si staret in aeternum) incorruptibilem ... Et scito sine falsitate, quod nullum quatuor elementorum est tale ... oportet rem quaerere, quae sic se habeat respectu quatuor qualitatum, quibus compositum est corpus nostrum, sicut se habet caelum respectu quatuor elementorum ... Sic et res quam quaerimus est respectu quatuor qualitibus corporis nostri quinta Essentia, in se incorruptibila ... ».

semplice o composta che sia. Solo la quinta essenza, che «rispetto ai nostri corpi è come la materia celeste rispetto ai quattro elementi» poteva renderli incorruttibili. E tuttavia essa non proviene dal cielo, ma «dal corpo della natura creata da Dio» (cioè dalla materia), ed è ottenuta artificialmente. Essa è perciò materia celeste fatta sulla terra, un trionfo de facto su ogni dualismo, un segreto che i «sommi filosofi» devono tenere celato. Mentre apriva un nuovo campo di ricerca, quello della farmacologia alchemica, Giovanni da Rupescissa rivelava, nelle caratteristiche della quinta essenza, il significato primitivo della ricerca alchemica come ricerca della «realità unica», materia/energia che pulsa nel cuore di ogni corpo materiale, prova dell'unità segreta del cielo e della terra.

Finally will better achieve and understand how they are the cause of the plague.

... Because of the nature of the disease and medicine that can be used, they will be able to cure the plague. For example, there are several medicines that can be used to cure the plague. For example, the disease is caused by the heat that is produced in the body and the cold that is produced in the body. The heat and cold are produced by the action of the elements and the action of the elements is caused by the action of the elements. For example, the disease is caused by the heat that is produced in the body and the cold that is produced in the body. The heat and cold are produced by the action of the elements and the action of the elements is caused by the action of the elements.

... In this paper we will discuss the nature of the disease and the nature of the elements. The disease is caused by the heat that is produced in the body and the cold that is produced in the body. The heat and cold are produced by the action of the elements and the action of the elements is caused by the action of the elements. For example, the disease is caused by the heat that is produced in the body and the cold that is produced in the body. The heat and cold are produced by the action of the elements and the action of the elements is caused by the action of the elements.

... In this paper we will discuss the nature of the disease and the nature of the elements. The disease is caused by the heat that is produced in the body and the cold that is produced in the body. The heat and cold are produced by the action of the elements and the action of the elements is caused by the action of the elements. For example, the disease is caused by the heat that is produced in the body and the cold that is produced in the body. The heat and cold are produced by the action of the elements and the action of the elements is caused by the action of the elements.

Traduzione di Fulvia Cirio di Pisa

Il testo è tratto dall'opera di G. da Rupescissa, *Opera Philosophica et Naturalia*, vol. II, libro 10, capitolo 20, pp. 271-272.

The text is taken from the work of G. da Rupescissa, *Opera Philosophica et Naturalia*, vol. II, book 10, chapter 20, pp. 271-272. The text is a translation of the original Latin text. The original text is in Latin and is a historical document. The text is a translation of the original Latin text. The original text is in Latin and is a historical document. The text is a translation of the original Latin text. The original text is in Latin and is a historical document.

CHIARA CRISCIANI (*)

Oro potabile fra alchimia e medicina: due testi in tempo di peste (**)

Potable gold between alchemy and medicine: two texts at the time of the plague.

Summary. The relation between alchemy and medicine had been very tight from the very spreading of Latin alchemy. For instance, there were several physicians who dealt with alchemy; also, from the 14th c., among the alchemists the opinion prevailed that the *lapis* had both transmutatory and therapeutic effects. The Black Death (1348) prompted new lines of pharmacologic research in this already thickly interwoven texture.

In this paper two medical texts are examined. The authors show how the exigencies for new remedies lead to value alchemical procedures and results, as for instance golden medicines and potable gold. Tradition and novelty, as for instance the more usual pharmacopoeia and the marvellous new drugs, appear to be united in the late medieval medical knowledge facing the emergency of the plague.

1. Se stretti e vari rapporti tra alchimia e medicina¹ sono riscontrabili fin dal primo sviluppo dell'alchimia latina, altrettanto significative appaiono le differenze di struttura e di fini: una di queste viene individuata e sottolineata, in due testi contemporanei, da un medico — Pietro Bono da Ferrara — e da un alchimista — il Magister Testamenti —, e concerne le modalità 'farmacologiche' con cui alchimia e medicina si propongono di 'curare'. Nei primi decenni del

(*) Dipartimento di Filosofia, Università di Pavia.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

¹ Cfr. B. OREY, *Alchemy and Medicine in 13. Jahrhundert*, «Archives internationales d'histoire des sciences», 45 (1993), pp. 210-246; C. CRISCIANI, *Medici e alchimia nel secolo XIV: dati e problemi di una ricerca*, in *Atti Congr. int. su medicina medievale e Scuola medica salernitana*, Salerno, 1994, pp. 102-118; EAD., *Alchemy and Medicine in the Middle Ages. Recent Studies and Projects for Research*, «Bulletin de philosophie médiévale», 38 (1996), pp. 9-21 (con segnalazione degli studi più recenti sul tema).

'300 — in un'epoca in cui comunque sono già molto vive discussioni di vario tipo all'interno della farmacologia medica scolastica² — Pietro Bono, uno tra i molti medici interessati all'alchimia, fa notare — nel corso di un complessivo confronto tra le due discipline³ — che la materia del farmaco alchemico o *lapis* non può che essere una sola, e precisamente quella che già in natura è il più possibile simile all'oro, scopo dell'*opus* trasmutatorio; in medicina invece i farmaci sono diversi per materia dal corpo umano da sanare. Pertanto, mentre in alchimia un unico agente o farmaco sarà responsabile della trasmutazione, in medicina «plurimae et quasi infinite medicinae reperiuntur», che non sono della materia del corpo umano e agiscono su di esso per alterazione, e tramite numerosi passaggi e mediazioni. La constatazione di Bono è argomentata e neutra: più assertivo ed insieme elusivo è il rilievo dell'autore (dalla vasta cultura medica) del *Testamentum*,⁴ testo in cui l'*elixir* assume funzioni sia trasmutatorie che terapeutiche. Qui il *Magister Testamenti* ammonisce chi desidera essere medico perfetto di non compiacersi nella particolarità e molteplicità delle medicine, «quia confuse sunt ... Natura enim eas pati non potest propter confusionem nimiam, sed complacere in unica medicina ... sanativa totius malitiae, privitatis et infirmitatis et confortativa spiritualium virtutum»; rileva inoltre che in quest'unico farmaco «iacet totum regimen sanitatis, ad quod omnis bonus phisicus debet multum suum intellectum applicare»; né occorrerà che il medico conosca e diagnostichi con precisione la stessa malattia poiché la *discreta natura* ha fornito al farmaco alchemico, cioè al *lapidi dissoluta*, la «virtutem sanandi omnes infirmitates et rectificandi seipsam (scilicet naturam)». Pertanto è sufficiente che il medico somministri questo rimedio, senza fare o propinare null'altro, e l'infermo «infra tres dies sanabitur aut multum meliorabitur».⁵

² Cfr. C. CRECIANI, *History, Novelty and Progress in Scholastic Medicine*, «Ostris», 6 (1990), pp. 118-39, specie paragrafo V.

³ Pietro Bono considera solo l'alchimia metallurgica, che ammette di aver praticato solo parzialmente; il suo testo, benché non di un alchimista, avrà notevole fortuna proprio per il carattere esaustivo della sua discussione sulla natura dell'alchimia e per i continui confronti tra alchimia e medicina: cfr. C. CRECIANI, *The conception of alchemy as expressed in the 'Pretiosa Margarita Novella' of Petrus Bonus of Ferrara*, «Ambix», 20 (1973), pp. 165-181; EAD., *Il corpo nella tradizione alchemica: teorie, similitudini, immagini*, «Micrologus», 1 (1993), pp. 189-233. Risulta — ma un censimento più puntuale lo confermerebbe meglio — che vari autori occidentali di alchimia sono medici o dispongono comunque di una evidente competenza medica; per il passo in questione cfr. PIETRO BONO, *Pretiosa Margarita Novella*, ed. in J.J. MANGET, *Bibliotheca Chemica Curiosa*, Genesve 1702, II, p. 27A.

⁴ Il testo (di cui M. Pereira e B. Spaggiari hanno curato l'edizione critica della versione latina e catalana — Edizioni del Galluzzo, Firenze, di prossima pubblicazione) è per ora reperibile in MANGET, cit. (3), I, pp. 707-777; cfr. M. PEREIRA, *The Alchemical Corpus Attributed to Raymond Lull*, London, 1989; EAD., *Loro dei filosofi. Saggio sulle idee di un alchimista del Trecento*, Spoleto, 1992, nonché numerosi altri studi dedicati da Pereira a questo autore e alle sue tematiche principali.

⁵ *Testamentum*, cap. 32, p. 728; *Testamentum* III, capp. 22, 19.

A parte l'evidente accentuazione di un'azione terapeutica fulminea e per virtù occulta che viene attribuita al *lapis* dal Magister Testamenti, va registrata in questi due passi coevi la tensione tra unità e molteplicità dei farmaci, tra strategie terapeutiche che coordinano le azioni cronologicamente disposte e combinate (veicolate da rimedi umoralmente connotati)⁸ e il ricorso ad un farmaco unitario e radicale; questa tensione segna una chiara differenza di procedura su un punto specifico tra alchimia medicale e farmacologia medica. Il dibattito — si è detto — è però presente, anche se non con questa radicalità, anche nell'ambito propriamente medico, e raggiunge una forte intensità quando la peste si impone come un vistoso impegno teorico e soprattutto terapeutico ai medici latini: in molti 'Pestschriften',⁹ infatti, la centralità della problematica farmacologica assume spesso la forma di un conflitto o di un'alternanza tra l'uso di molti farmaci relativi alle varie cause, ai diversi momenti del decorso patologico e agli organi coinvolti dalla peste, da un lato; e la ricerca, dall'altro, di un rimedio unico, che superi la complessità delle differenze umorali tra i pazienti e delle diverse fasi umorali che la peste sembra attivare.⁸ Contemporaneamente, forse proprio per l'evidente inadeguatezza — e in ogni caso incertezza — della farmacologia tradizionale in questo drammatico frangente, sempre più numerosi sono i medici che recepiscono e valorizzano procedure e ritrovati alchemici:

⁸ La tattica terapeutica di affrontare le diverse *dispositiones* morbose (che insieme costituiscono una patologia o si succedono in un caso clinico) una dopo l'altra con gli appropriati e specifici farmaci è ben testimoniata nei *Consilia*, soprattutto del '400 (ma è riconoscibile anche in alcuni, i più articolati, *consilia* della raccolta di Taddeo Alderotti), che vertono però quasi esclusivamente su malattie croniche, cui del resto è per lo più volta la farmacopea scolastica: appunto anche con la fulmineità del decorso la peste mette in crisi questo approccio; cfr. J. AGRIMI - C. CRISCIANI, *Les 'Consilia' médicaux*, Turnhout, 1994, specie p. 99.

⁹ Nella vasta letteratura sulla peste si è tenuto conto qui particolarmente di K. SUDHOFF (a c. di), *Pestbüchlein aus den ersten 150 Jahren nach der Epidemie des 'Schwarzen Todes'*, 1348, «Archiv für Geschichte der Medizin», 2-17 (1909-1925); per una recente messa a punto cfr. J. ARRIARALLAGA, *Facing the Black Death: perceptions and reactions of university medical practitioners*, in L. GARCIA BALLISTER et al. (eds.), *Practical medicine from Salerno to the Black Death*, Cambridge, 1994, pp. 257-288; *La peste nera: dati di una realtà ed elementi di una interpretazione*, *Atti XXX Conv. st. int.*, ToDI, 1993, Spoleto, 1994; C. CRISCIANI - M. PEREIRA, *Black Death and Golden Remedies. Some remarks on Alchemy and the Plague* (di prossima pubblicazione).

⁸ Si orientano su di un riduzionismo diagnostico (mettere in primo piano un solo umore come maggiormente responsabile) e terapeutico, ad esempio, Giovanni della Penna («Pestschriften», 1911, p. 347; nel suo *consilium* «... non sunt diversificatae medicinae, tam aherentes quam resolutivae secundum diversas ipsorum humorum corporum naturas...», giacché egli intende proporre un «unum et idem regimen contra illam unam radicem») e Bernardo di Francoforte («Pestschriften», VIII, pp. 246-7, dove viene proposto un ellettuario sudorifero che è un *medicinale universale*: provoca infatti un sudore efficace in tutti gli assetti di ogni tipo umorale). Legato a queste discussioni è il problema dell'efficacia della triaca, il cui uso appare indispensabile ma contraddittorio nel caso della peste: primi sondaggi e bibliografia su questi temi in CRISCIANI, *Medici* cit. (1); A. CALVET, *Mutations de l'alchimie médicale au XVI siècle. A propos des textes authentiques et apocryphes d'Arnaud de Villeneuve*, «Micrologus», 3 (1995), pp. 185-209; CRISCIANI-PEREIRA, cit. (7).

questi, a loro volta e nello stesso periodo (si veda il caso di Giovanni di Rupe-scissa),⁹ assumono espliciti, talora esclusivi, fini curativi.

Quale che sia il rapporto di influenza reciproca tra queste tendenze, tra la metà del '300 e la metà del '400 questo dibattito e questo incontro si esprimono in molti testi in cui elixir, tiriaca, *lapis philosophorum*, oro potabile, quintessenza, visti come farmaci eccezionali (e anche, ora, forse particolarmente validi per la peste) si presentano quasi come semanticamente sovrapponibili e intercambiabili.¹⁰ In questo quadro di considerazioni, intendo qui analizzare brevemente due di questi testi: la *Questio an lapis philosophicus valeat contra pestem*¹¹ e il trattato sull'oro potabile scritto da un *Solemnis medicus*.¹² Sono testi anonimi ma di provenienza medica; entrambi esplicitamente fanno riferimento alla peste da un lato e all'alchimia dall'altro; si inseriscono nel dibattito tra unità e molteplicità dei farmaci; si strutturano secondo terminologia, autorità, e procedure argomentative proprie della disciplinarietà scolastica, anche se l'intento del trattato è teorico-operativo, mentre la *Questio* ha finalità e andamento più decisamente teorici. A segnalare meglio che questi due scritti si collocano alla confluenza tra alchimia e medicina, va notato che i testi più citati, e comunque citati da entrambi gli autori, sono quelli medici e alchemici di (o attribuiti a) Arnaldo da Villanova, visto dunque ormai come *auctor* unificante, riferimento indispensabile sia per la medicina che per l'alchimia.

⁹ *Ibid.*; cfr. inoltre S. COGNORI-BODET, *Eau-de-vie logique et 'Banguerouters du Saint-Espirit'*, in *Culture, science et développement. Mélanges Charles Monod*, Toulouse, 1979, pp. 297-336; R. HALLIUX, *Les ouvrages alchimiques de Jean de Rupe-scissa*, in *Histoire Littéraire de la France*, XLI, Paris, 1981, pp. 241-184; M. PEREIRA, *Teorie dell'elixir nell'alchimia latina medievale*, «Micrologus», 3 (1995), pp. 103-148.

¹⁰ CRISCIANI-PEREIRA, cit. (7), paragrafo finale.

¹¹ La *Questio* è edita in L. ZETZNER, *Theatrum Chemicum*, Argentorati 1602, III, pp. 186-87; ho ipotizzato l'identificazione dell'autore, sulla base di passi paralleli, con Tommaso da Bologna, medico alla corte francese nella seconda metà del sec. XIV, che scrive a Bernardo 'Trevisano' un'epistola (inedita) sugli effetti di un suo preparato aureo (CRISCIANI-PEREIRA, cit. (7)). Leo Suavius (J. Gohory) nei suoi 'compendi e scholia' a Paracelso (Basileae 1568) accosta il farmaco della *Questio* al 'corrosivum' di Paracelso e cerca di sostanziare alcune indicazioni paracelsiane in base alla *questio* stessa (in parte riportata, pp. 275-76), il cui autore è definito: 'incertus sed doctissimus'; nel testo, pur genericamente avvicinato a Paracelso almeno nel senso che propone una farmacologia alchemico-minerale, non appaiono teorie o dati che autorizzino una datazione tarda.

¹² Il *Tractatus de investigatione auri potabilis editus a quodam solemnii medico* (l'autore d'ora in poi sarà indicato come *Solemnis Medicus*) è inedito, ed è contenuto in un manoscritto del Fondo Caprara che riporta vari altri testi sull'oro potabile: Bologna, Biblioteca Universitaria, ms. lat. 104 (Frati, n° 138), ff. 271r-283v. Sollecitato da un papa Clemente, il *Tractatus* potrebbe essere datato tra la metà del sec. XIV e il 1429. Su questi testi (che ho trascritto) e più in genere sull'interesse per l'oro potabile ho in corso una ricerca.

2. Fin dall'antichità l'oro riveste speciali proprietà terapeutiche, che soprattutto la farmacologia araba canonizza e trasmette.¹³ Speciali — perché l'oro le possiede non per dominanza umorale ma per la sua complessione equilibratissima e perché concernono prevalentemente il cuore —, ma non eccezionali: per esempio Avicenna elenca farmaci confortativi e cordiali anche più potenti.¹⁴ Prerogative dell'oro più esaltanti — prolungare la vita, ad esempio, — se possono essere derivate dalla sua funzione cordiale, di fatto non rientrano nella lista delle sue virtù se non dopo che — da Bacone in poi — il progetto di longevità — sviluppabile a partire dal *Secretum secretorum* — si innesta nella linea alchemica dell'elixir.¹⁵ Comunque, la *Quaestio* e il *Solemnis Medicus* considerano le proprietà tradizionali e l'equilibrato temperamento dell'oro solo come una condizione di partenza da cui muovere per una ricerca ulteriore su due quesiti essenziali: quali modificazioni l'oro deve subire per avere efficacia effettiva, e specifica, contro la peste? Come in pratica va propinato? Il primo punto segnala la curvatura espressamente alchemica che questa farmacologia assume, giacché non si considerano solo le proprietà dell'oro in natura, ma soprattutto quelle che derivano da una sua manipolazione artificiale; il secondo indica un'attenzione pratico-operativa più puntuale (e contestualizzata in un quadro fisiologico più preciso di quello che, invece, è di solito quasi assente nei testi alchemici che pur prevedono i mirabili effetti medici dell'elixir) circa l'uso effettivo dei risultati di questa manipolazione.

Soprattutto del primo problema si fa carico l'autore della *Quaestio*, che sviluppa una serie di argomentazioni centrate su due temi principali: come le proprietà dell'oro diventano comunicabili e diffusive; se e come — sulla base cioè di quale tipo di omogeneità, che renda possibile il transito — esse possono agire su o nell'organismo appestato. Dopo una discussione sulla natura della peste, alla fine definita come veleno che provoca massimo squilibrio nell'organismo e corrompe il sangue, l'autore argomenta che oro e organismo umano possono interagire in quanto si corrispondono e sono in certo senso omogenei: non per materia, né per struttura materiale, ma per struttura elementare formale. L'uno e l'altro cioè sono massimamente temperati: l'uomo però con massima sotti-

¹³ Cfr. E. DAMMSTÄDTER, *Per la storia dell'oro potabile*, «Archivion», 5 (1925), pp. 251-71; R. HALLEUX, *L'oro potabile*, «Kos», 12 (1985), pp. 49-64; J. PROUST, *L'aurum potabile' au temps de la Renaissance*, in M.T. JONES DAVIES (ed.), *L'or au temps de la Renaissance*, Paris, 1978, pp. 15-26.

¹⁴ Cfr. *Libellus Avicenne de virtutibus cordis...*, tractatus secundus, capitulum tertium, edito con *Liber Canonis Avicenne*, Venetis 1507 (trip. an. Hildesheim, 1964), f. 549ra.

¹⁵ Cfr. gli studi di A. PARAVICINI BAGLIANI, *Medicina e scienze della natura alla corte dei Papi del Duecento*, Spoleto, 1991, specie i capp. VI, VII, IX, X; M. PERRERA, *Un tesoro inestimabile. Elixir e 'prolongatio vitae' nell'alchimia del '300*, «Micrologus», 1 (1993), pp. 161-87; cfr. anche V. TURIZZI, *Regimina sanitatis e 'De retardanda senectute': salute e prolungamento della vita nel sec. XIII*, tesi di laurea, Università di Pavia, Facoltà di Lettere e Filosofia, a.a. 1996-97.

gliezza di elementi, l'oro con massima grossezza. Questa è una corrispondenza nella diversità, che viene constatata come variazione di un unico e comune parametro di base: garantisce dunque una interazione possibile, che diventa effettiva ed efficace se l'oro a sua volta viene assottigliato, senza però perdere il suo originario equilibrio. Qui appunto interviene la procedura alchemica,¹⁶ che trasforma l'oro in *lapis philosophicus*: la sua struttura è più sottile, raffinata e adatta a comunicare, a far uscire le virtù: in questo modo l'oro di partenza resta equilibrato ma diventa diffusivo, si moltiplica, è dinamico, è in grado di trasmettere l'equilibrio all'organismo disequilibrato e al sangue corrotto dalla peste.

Nel corso della *Questio* emergono, come esiti di argomentazioni e non primariamente come avvisi terapeutici, quelle che comunque potremmo considerare le pesanti controindicazioni e le cautele attente legate al nuovo farmaco aureo: stolto è tentare una assimilazione materiale tra oro e organismo; l'oro alchemicamente trattato non viene digerito, non può e non deve assimilarsi al corpo umano: se così fosse, l'organismo diventerebbe sì immortale e incorruttibile ma a prezzo di una sorta di mineralizzazione. Il farmaco inoltre non va assunto quando il sangue dell'appetato è tutto o troppo corrotto: in questo caso il contrasto tra massimo equilibrio, di cui è portatore l'oro, e squilibrio massimo, indotto dalla peste-veleno, darebbe luogo ad una incompatibilità tale per cui l'antidoto aureo letteralmente eliminerebbe (per emorragia, per essiccazione, per assorbimento?) il sangue, con morte immediata del paziente. La terapia deve essere dunque media tra i rischi opposti di una troppo solida immortalità minerale e un'assottigliamento fino all'evanescenza, e va intrapresa tempestivamente, quando la corruzione è appena iniziata. Solo in queste condizioni il farmaco riconosce (si potrebbe dire) il nemico, cioè lo squilibrio e la corruzione nel sangue, non lo espelle ma lo contrasta col proprio diffusivo equilibrio, attivando una sorta di contagio positivo. Meglio: poiché rettifica il sangue non per cambiamento di materia (non lo rende minerale) ma di forma strutturale (lo riporta all'equilibrio), il farmaco funziona come una specie di elixir che agisce in un dinamico processo 'alchemico' interno. Questo rimedio è certo mirabile ma inquietante: non ci viene detto se e con che effetti sia mai stato usato.¹⁷

¹⁶ Per questo processo l'autore rinvia al *Rosario* di Arnaldo: la procedura non viene analiticamente presentata, è piuttosto discussa, difesa e precisata come se si trattasse di una pratica, e di un testo, ben noti. Riferimenti ad Arnaldo e discussione delle sue indicazioni alle pp. 181, 182, 184, 185; è citato anche il *Lumen lunivis* di Rasis (p. 186); sono questi gli unici due autori cui fa esplicito riferimento la *Questio*.

¹⁷ Si noti che, più in generale, quando si parla di farmaci alchemicamente trattati e prodotti, nei testi che hanno una origine alchemica (nel *Testamentum* dello Ps. Lullo, nel *Rosarium* dello ps. Arnaldo, e in parte anche in Rapesccia, autori centrali della linea dell'alchimia terapeutica) non viene spiegato, in termini fisiologici, il modo di agire del medicamento: principalmente perché questo agisce per virtù occulta che promana dal suo nucleo e va a influire sull'altrettanto intima struttura dell'organismo; in parte anche — si può supporre — per una

Al di là del fascino non poco sinistro che suscita il testo, si possono sottolineare alcuni motivi e snodi significativi nella *Quaestio*. Innanzitutto, benché la fisiologia sottesa — e ben padroneggiata dall'autore — sia morale, l'approccio terapeutico non lo è. Inoltre, il modo d'azione del *lapis philosophicus* è pur sempre ex contrario, ma le qualità in gioco non sono quelle elementari: sono piuttosto caratteri e stati degli elementi che potremmo definire formali, se non geometrici: grossezza contro sottigliezza, rapporto tra squilibrio ed equilibrio. Infine, malattia e terapia sono viste come processi dinamici accelerati: veleno che penetra fulmineamente col fiato o l'aria; rapida corruzione del sangue; veloce moltiplicazione e diffusione dell'oro trattato; rettificazione — nell'istante giusto — della corruzione: quasi che l'organismo non sia solo sede di, ma sia come attraversato da processi più ampi. Ora, da un lato, che l'organismo sia considerato come integrato in un contesto è vero sempre nella medicina ippocratico-galenica-araba (si pensi solo al ruolo diagnostico e soprattutto terapeutico del reticolo delle sei *res non naturales*); e sicuramente, d'altro lato, la peste — patologia estremamente dinamica in ogni senso — più che mai impone una considerazione eziologica 'ristretta', che valuti cioè, in ogni fase del decorso, le specifiche condizioni di contorno che l'organismo man mano attraversa;¹⁸ ma qui sembra che la contestualizzazione sia presentata in termini di inusuale, maggiore fluidità nei cambiamenti e trasformazioni. Oltre che a produrre questo effetto, la tonalità alchemica che pervade la *Quaestio* non si manifesta solo nell'aspetto più evidente (il ricorso a procedure alchemiche per assottigliare l'oro), quanto anche nell'aprire (almeno di principio) una prospettiva teorico-diagnostica in più, che cioè 'va sotto' organi, umori e qualità (che pure il medico tiene in conto nella sua trattazione) e si attesta su stati di materia e di elementi.

relativa incompetenza fisiofarmacologica. Per converso, nei testi ad orientamento medico, non viene approfondito il trattamento da cui il farmaco risulta, per una troppo generica conoscenza dei procedimenti alchemici. Si può pensare a forme di specialismo e di fiducia nelle reciproche competenze da parte di esperti in ambiti non troppo lontani. Resta tuttavia evidente, in medici e alchimisti, uno scarso approfondimento proprio della parte applicativa di ciò che ciascuno mutuava dall'altro. Testi come la *Quaestio*, l'*Epistola* di Tommaso, la *Responso* di Bernardo Trevisano e il *Tractatus* del Solemnis medicus presentano anch'essi questo carattere, anche se tentano in vario modo, e non senza lacune e incertezze, di coordinare, proprio da un punto di vista operativo, le due prospettive, medica in senso proprio e alchemica: di qui anche il loro peculiare interesse.

¹⁸ È noto che l'eziologia della peste mette in campo una gerarchia di cause e concause, a partire dalle più universali cause astrali. Quando, nella trattistica, si passa alla terapia, sono ovviamente valorizzate le cause più determinate e legate alla struttura fisiopatologica dell'organismo: si tenta cioè, pur ostacolati dalla rapidità del decorso, di scandire *dispositiones* e relative cause puntuali, nonché varianti regionali; Giovanni di Sassonia (1424), elencando le cause di peste, mette a fuoco il problema, rilevando («Pestschriften», 1924, p. 22) che «... pestilentiæ causa licet sit uniformis et generalis, nichilominus tamen ipsa est difformis et particularis».

Come però il farmaco è applicato (*applicitus* è il termine che l'autore usa)? Forse è fluido — se si interpreta così, ma non è del tutto corretto, la qualifica di *solutum*,¹⁹ che indica primariamente la 'apertura' della sue *naturae*, la capacità di diffondere le proprie virtù; certo non è nutrimento e non va digerito; e però provoca reazioni interne che implicano vicinanza e contatto e non solo azione a distanza. Al problema di una sicura assunzione e azione dall'interno di un oro portabile antipestifero è appunto dedicato l'altro testo, il *Tractatus*, opera decisamente più tranquillizzante e più strutturata secondo dettagliate considerazioni mediche. Anche qui si parte dalle tradizionali proprietà terapeutiche dell'oro, dovute al suo proporzionato temperamento che è analogo alla proporzione armonica in cui consiste la salute dell'organismo sano. Anche qui, su questo dato di partenza, deve intervenire sia una procedura alchemica di rettificazione — per cui anche qui si rinvia ad Arnaldo,²⁰ ignota agli antichi²¹ e su cui il *Solemnis Medicus* dà dettagli meno consistenti che non la *Questio*, pur parca su questo punto —; sia un processo di liquefazione che non annulli le virtù del metallo ma lo renda *flexibilis* e idoneo all'uso umano dall'interno. Anche qui — e più dettagliatamente che nella *Questio* — è analizzato il processo alterno di contrasto, repulsione, concentrazione della corruzione all'interno e sua attrazione verso l'esterno che l'oro portabile attua. Infine, anche per il *Solemnis Medicus* l'oro portabile, una volta alchemicamente trattato, agisce essenzialmente non per contrarietati o sommatoria umorale ma in base alla sua medieta: con ciò si intende il perfetto equilibrio elementare che lo abilita a contrastare ogni tipo di morbo.

¹⁹ Con un termine analogo, per altro non strano, il *Magister Testamenti* indica il suo *lapis* medicale (vedi qui, p. 2 e n. 5); l'autore della *Questio* fa riferimento alle tre *solutiones* cui va sottoposto l'oro secondo Arnaldo (p. 184), ed esplicitamente nega che il *lapis* possa essere ridotto tramite un processo di separazione dei suoi elementi ('resoluum ... per elementa': p. 186) che — secondo un obiettore — lo renderebbe assimilabile come nutrimento; dal contesto (pp. 182-83) ho inteso questa *solutio* come implicante assottigliamento, anche se mai nella *Questio* si usa il termine *subtiliatio-subtilitatus*, più appropriato.

²⁰ I riferimenti qui sono prevalentemente alle opere *De visis* e *De retardanda senectute* la cui attribuzione ad Arnaldo è discussa, o negata: si tratta comunque di testi più decisamente medici, con interessanti spunti alchemici: sono connessi riconoscibilmente alla produzione autentica di Arnaldo (il *De visis* è forse di un allievo), o sono parte (il *De retardanda*) di quel complesso di scritti sulla longevità strarificati, attribuiti a Ruggero Bacon e ad Arnaldo, su cui, a partire dagli studi di Paravicini Bagliani (qui n. 13) e di Antoine Calvet, ancora occorrerebbe addentrarsi.

²¹ Cfr. *Tractatus*, l. 274v: «Et si tale aurum rectificetur bene, ut *hodie* sit ...»: «Doctores vero antiqui non posuerunt illum modum clarum sub forma potabilis, ideo quia alius noluerunt omnia secreta manifestare, vel quia sub verbis obscura atque enigmatibus talia posuerunt, vel forsitan quia nescierunt bene modum liquefacibilitatis, vel verius rectificacionis rerum tali auro impressarum pro sua liquefacientia quemadmodum *hodie* scitur»; l. 278r: «Si autem [aurum] capiatur ut potabilem non rectificatum, ut quidem dederunt tempore Arnaldi ...».

Per il *Solemnis Medicus*, anzi, questa medietà entra in un più ampio gioco di influenze. Dalla corrispondenza che egli istituisce tra sole (medio tra gli astri), cuore (medio nell'organismo) e oro (medio nella terra, e vicario del primo), si ricava che l'oro è medio tra sole e cuore, perché 'partecipa' di entrambi: esso è cioè medio tra i corpi celesti — da cui riceve benefiche influenze — e gli spiriti umani (prodotti dal cuore e a lui vicini), su cui, e specie nel caso di peste, l'oro esercita le sue virtù terapeutiche.²² E poiché solo in questo contesto il *Solemnis Medicus* chiama il suo oro potabile elixir, sembra suggerire che il trattamento alchemico dichiarato indispensabile per la fruizione interna del preparato sia anche necessario per rendere l'oro meglio disposto a caricarsi di influenze positive e a svolgere questa sua funzione salutare di connettivo tra sole e cuore.²³ Anche qui dunque l'azione terapeutica specifica è inserita in una più ampia dinamica di processi tra esterno e interno, di legami tra cosmo e organismo: questi ultimi in particolare non sono intesi solo come nessi analogici ma come scambi concretamente realizzati dalla funzione mediana e mediatrice dell'oro potabile alchemico che veicola all'interno la virtù astrale.

D'altra parte il *Solemnis Medicus* non disdegna affatto di scendere da queste altezze all'analisi di più prosaici processi interni, come ad esempio la possibile mescolanza di oro potabile con i fluidi di chimo e chilo da cui sarebbe traslato più vicino al cuore; e valuta sensatamente l'azione dell'oro potabile sia per virtù occulta sia secondo le qualità primarie. Soprattutto, pur valorizzando l'eccezionalità dell'oro potabile, e dando effettivi consigli sulla sua utilizzabilità, questo medico non rinuncia alla tradizionale farmacopea; nel capitolo finale²⁴ del *Tractatus*, anzi, l'oro potabile è presentato come una sorta di additivo che moltiplica gli effetti e rafforza le virtù degli usuali preparati. Questo esito — per cui un farmaco mirabile, esaltato come quasi miracoloso, non cancella gli altri ma funge da loro integratore — è forse sorprendente ma non isolato: si riscontra anche nell'uso della quintessenza in Rupescissa e nel dibattito sulla tiriaca

²² *Ibid.*, ff. 279r: «Nam sicut sol est fons luminis ita cor est fons vite, et sicut sol est in medio ... planetarum tamquam rex in medio sui regni, ita cor similiter est in medio celestium orbium sui corporis seu membrorum eius ...»; f. 280r: «(l'oro) est quasi medium inter corpora celestia et spiritus humanos ... quia cum utrisque multum participat. Cum sole in splendore, calore et incorruptibilitate, et in medio terre est velut alter sol et vicarius primi qui est in medio celi ...».

²³ In queste analogie retoriche, lodi al sole-oro-cuore, argomentazioni sui rapporti d'influenza l'autore, oltre a citare (o a tenere sullo sfondo) Alberto Magno e Avicenna, risulta collegato e collegabile ad una serie di scritti — da 'Bacose' ad 'Arnaldo', da Guglielmo Fabri a Ficino (solo per indicare gli autori principali) che in vario modo connettono sole, oro, spiritus, sangue. Anche nella *Quaestio* viene istituita una corrispondenza, meno pregnante, tra oro e sangue: entrambi temperati, sono l'uno costituente del *lapis*, l'altro connettivo e portatore di omogeneità nell'organismo (pp. 185-86).

²⁴ *Cfr.* ff. 282v-283v.

negli scritti medici sulla peste.²⁵ Segno, tra molti, delle forti incertezze, in genere, della farmacologia scolastica; della ulteriore tensione tra istanza all'accumulo e tendenza alla semplificazione che la peste provoca a questo livello; e soprattutto di uno scollamento programmatico di fondo (rilevabile in questo campo in autori anche più coerenti e impegnati, come Arnaldo) tra analisi teorica e applicazione operativa di tipo professionale in ambito farmacologico.²⁶

3. Qualche considerazione per concludere. 1) Certo la situazione creata dalla peste, che essa stessa non si lascia inquadrare facilmente nella diagnostica umorale, accelera e dà nuova forma a ricerche e discussioni farmacologiche già in corso nella medicina scolastica. Proprio nei testi sulla peste si ripetono sconfortati lamenti sui farmaci molti e vari, che sono troppi, e generano confusione più che portare giovamento. Tali lamenti sono affiancati però, da un lato, da proposte semplificative in direzione di un farmaco unico e universale; dall'altro, da tendenze accumulative ed esuberanti: meglio avere quante più armi è possibile in questa così impari lotta. L'oro potabile e il lapis filosofico a base d'oro dei due testi esaminati, cui si può aggiungere la quintessenza rupescissiana, sono preparati alchemici che rispondono certo — innanzitutto con il vantaggio di un'azione non umorale — all'aspettativa radicale di unità e semplificazione; tuttavia il Solemnis Medicus e Giovanni di Rupescissa, con la concezione di 'farmacopea arricchita' (antichi rimedi potenziati da ritrovati alchemici) soddisfano anche l'esigenza prestigiosa della tradizione e della molteplicità e varietà dei farmaci; né, nel proporre queste soluzioni, essi si fondano solo sull'impotenza operativa (che suggerisce di usare tutto ciò che è a disposizione) o sulla opportunità di avere un arsenale di medicine quantitativamente il più ampio possibile. A parte il fatto che il potenziamento suggerito è qualitativo, prioritario pare l'intento di incrementare, fortificandolo, un patrimonio esistente. Una volta di più nelle vicende della medicina tardo-medievale continuità e cambiamento sembrano dunque integrarsi.²⁷ 2) Unificante nelle proposte farmacologico-alchemiche per la peste è l'oro: in particolare l'oro potabile trattato alchemicamente emerge

²⁵ Cfr. CRISCIANO-PEREIRA (n. 7), ultimo paragrafo.

²⁶ Cfr. l'analisi di M. McVAUGH nella sua introduzione a ARNALDO DA VILLANOVA, *Aphorismi de gradibus* (Arnaldi Villanovani Opera Medica Omnia, II), Granada-Barcelona, 1975; cfr. anche C. CRISCIANO, *L'individuale nella medicina tra medioevo e umanesimo: i 'consilia'*, in R. CADEINI - M. REGOLIOSI (eds.), *Umanesimo e medicina*, Roma, 1996, specie pp. 25-26.

²⁷ Che in ambito medico la transizione all'età moderna non comporti drastiche rifondazioni, quanto ampliamenti, affiancamento di procedure e rinnovamenti di metodi, coesistenza di novità e tradizione anche nei settori più innovativi già per la loro sola presenza (l'anatomia, ad esempio), forme di novità più che di rivoluzione è un aspetto su cui recentemente la storiografia ha insistito: per una rassegna e valutazione di queste posizioni cfr. J. ACQUINI - C. CRISCIANO, *La medicina scolastica: studi e ricerche (1981-1991)*, in L. BIANCHI (a c. di), *Filosofia e teologia nel Trecento. Studi in ricordo di Eugenio Randi*, Lovain-la-Neuve, 1994, pp. 381-412, paragrafo VII.

SERGIO TIRA (*)

L'alchimia di Geber riveduta da Giovanni Bracesco da Orzi Nuovi nel 1544 (**)

The alchemy of Geber revised from Giovanni Bracesco of Orzi Nuovi in 1544.

Summary - The book "La Expositione di Geber Philosopho, nella quale si dichiarano molti nobilissimi secreti della natura", is published (1544) in Venezia from G. Giolino di Ferraril. The author is messer Giovanni Bracesco, Prior of the St. Second Canons, born in Orzi Nuovi near Brescia and report a reading of alchemy by the mysterious and famous arabic alchemist Geber (Gebe, Gidr, Jabir, or Abu-Muss-sah-Djafahar-al-Sofi), (of course by himself interpreted), active in Seville where he died in 765 (or maybe never lived?). The original text is in italian of the day, by us actualized and in dialogue form with the alchemy's student Demogorgon.

Poggendorff 1893 [1] al nome scrive BRACESCO (Braceschi). — *Prior d. regulirten Chorberren von St. Second, geb ... Orzi nuovi bei Brescia, Blühte in d. Mitte d. XVI. Jahrb.* E segue con la bibliografia dell'Autore, che ha pubblicato: *La expositione di Geber filosofo, nella quale si dichiarano molti nobilissimi secreti della natura, Venezia 1544, 1551, 1562; De Alchimia dialogi duo, Lugd. 1548; Venae Alchemiae artisque metallica doctrina, Basil. 1561.*

Naturalmente Bracesco era stato ricordato prima, e L. Cozzando [2], nel 1694 aveva scritto *Gio: Bracesco fu' homo vago di varia, & curiosa cognitione. Non volte mai egli ad vn'ol'studio obligarsi senza potertene dissociare a suo talento. E la nostra principal sufficienza deue essere lo sapersi applicare a' diuersi vsi, diuisar' di varie materie, discorrere di vari argomenti. Quand'io m'auuengo in soggetti di questa voga, l'animo mio ne resta soauemente sorpreso. Scrisse alcuni Dialoghi De Alchimia, 1673.*

(*) Dip. di Chimica Generale ed Organica Applicata, Università degli Studi di Torino.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

G. Mazzuchelli [3] scrive che BRACESCO [Giovanni] degli Orzi nuovi, Castello ragguardevole del nostro Territorio Bresciano verso Crema, fioriva circa la metà del Secolo XVI. Scrive il Cozzando che ... [2]. Segnala *Il Legno della vita nel quale si dichiara qual fosse la Medicina per la quale li primi padri vivevano novecento anni*, Roma 1542. È un'Operetta in Dialogo, consistente in pochi fogli, ma assai curiosa, e sta anche unita in fine della seguente di cui cita il titolo: (*La esposizione di Geber Filosofo, di Messer Giovanni Bracesco dagli Orzi nuovi ... con Dedicatoria al Conte Bartolomeo Martinengo ...*). È questo un Dialogo tra Demogorgon nipote di Maometto [???] e Geber ...

Compare anche nella Enciclopedia spagnola [4], *Escribió: La exposición de Geber filosofo ... De Alchimia ... Verae Alchimiae ...*

V. Peroni [5] ripete che Bracesco Giovanni degli Orzi Nuovi è uomo vago, di varia e curiosa cognizione nelle scienze e che non volle mai obbligarsi ad un solo studio senza potersene divviare a suo talento.

J.A.S. Collin de Plancy [6] nel suo Dictionnaire scrive che il Bracesco è un alchimista di Brescia il quale viveva nel secolo XVI. Egli scrisse commenti intorno all'opera di Geber, in uno zibaldone più oscuro del libro che egli riprende a delucidare.

K.C. Schmieder [7] dice che Giovanni Bracesco, da Brescia, nel 1544 scrive un Commentario sull'Alchimia di Geber in latino (Leida 1548, ed Amburgo 1678) ripetuti anche nella raccolta di Gratarolo (1° e 2°) [8].

Nel 1868 il chimico, storico dell'Alchimia, H. Kopp [9] cita il Bracesco medico ad Orzi nuovi (Brescia) nel Secolo XVI, (probabilmente Priore dei Chierici di S. Secondo), che nel *Dialogus veram et genuinam librorum Gebri sententiam explicans* fa parlare un sedicente Geber (!) che spiega le sue opere dialogando con lo studioso di Alchimia Demogorgon.

L'americano L. Thorndike [10] informa che Giovanni Bracesco di Brescia nel 1544 pubblica a Venezia una sua esposizione di Geber in forma dialogata italiana. Compare anche in latino a Norimberga nel 1548 unita a un altro discorso colloquio sui misteri dell'alchimia di Lullo. L'editore, Johannes Petreus in una nota al lettore allude alla sua recente edizione dei lavori di Raimondo Lullo e Geber i cui segreti vuole ora far conoscere. Lo stesso volume include anche un discorso sull'Albero della vita che Bracesco ha pubblicato a Roma nel 1542. Questa versione latina del lavoro di Bracesco è stata stampata a Lione nel 1548 mentre il dialogo su Geber viene tradotto ancora dal Gratarolo [8] per la sua collezione 1561 (*Verae Alchimiae*), il quale dice che Bracesco si presentò a lui con questo dialogo dieci anni prima in Italia, quindi settantenne ed ha dedicato quasi tutta la sua vita ai libri degli antichi. L'Albero della vita, consiste specialmente di citazioni. L'idea portante di Bracesco, se ammessa sua, è che l'acqua mercuriale, l'oro dei filosofi, e il mercurio possono essere prodotti dal ferro perché è il minerale a cui, per il basso prezzo, ogni ricercatore chimico si rifà. Gratarolo poi stampò alcune istruzioni pratiche spiegate da Geber per mezzo del dotto e più esperto Giovanni Bracesco, un

testo di sole due o tre pagine. Thorndike riferisce ancora che Bracceso fu soggetto a giudizi critici di Tauladano [11], scandalizzato soprattutto dall'ottenimento della pietra filosofale dal ferro, disapprovato anche dal Merula [12].

La raccolta di biografie di italiani illustri [13] inserisce anche il nostro Autore, a cura di G. Gliozzi, che ne pone l'incognita data di nascita nel 1481 e dice che l'interesse all'alchimia si manifesta in un Bracceso più che settantenne.

Secondo l'autore *I dialoghi del Bracceso ebbero notevole diffusione come dimostrano le ristampe e le traduzioni latine, e non è facile indicare il motivo di tanta fortuna, perché non vi si trovano idee o procedimenti originali; l'esposizione procede secondo le linee tradizionali dell'alchimia e le consuete involuzioni di linguaggio. I dialoghi si attinarono, tuttavia, anche le critiche di alcuni alchimisti contemporanei, in particolare del francese R. Tauladanus [11], che nel 1554 scrisse un opuscolo (in G. Gratarolo, De Verae Alchemiae ... pp. 49-111), nel quale rimprovera al Bracceso il carattere chimerico delle sue ricerche e l'oscurità del suo linguaggio; analogo giudizio formulava Gaudenzio Merula [12], ritenuto un'autorità negli studi alchimistici dell'epoca, come attesta lo stesso Tauladanus in una lettera a M. Sterpino [14].*

V. Tolasi [15] riporta che nell'intorno del 1542 visse il Bracceso diligentissimo commentatore di Geber principe degli alchimisti, mentre diversi storici lo citano come autore filosofico-scientifico e non danno altre notizie. Tolasi ancora sostiene che Bracceso si presenta come un cultore dell'alchimia, un filosofo della magia, un amorevole professore di questa divina scienza, come ama definirsi... Nasce però l'impressione di trovarci di fronte ad un suggestivo mescolatore di intrugli misteriosi, ritirato in un inaccessibile laboratorio tra alambicchi, beccbi e polveri strane a suscitare i segreti della natura in un'atmosfera di ariostesca memoria. In verità Bracceso è un rinascimentale, scienziato dei minerali e fa uso della sua cultura classica per decifrare ed esporre in forma accessibile nozioni di chimica. Ed aggiunge ancora: *Bracceso si illude di aver letto Geber; semmai conosce un testo o diversi libri, lontanamente collegati con qualche passo di Geber, perché incappa in un tipico tradimento della fonte.*

Lo Zedler-Lexikon [16] alla voce *Braccesco, o Braccesbus o Braccescus (Giovanni)*, medico di Brescia attivo nella metà del XVI secolo ricorda l'Expositione di Geber, Venezia 1555, due dialoghi che sono detti il Demogorgon e Lignum Vitae.

Il volume in nostra visione dal titolo «LA ESPOSITIONE DI GEBER PHILOSOPHO di misser Giovanni bracesecho da Iorci noui, nella quale si dichiarano molti nobilissimi secreti della natura. Con privilegio del Sommo Pontefice Paulo III, & dello illustriss. Senato Veneto per anni dieci. In Venetia Appresso Gabriel Giolito di Ferrarii. MDXLIII», che, dello stesso autore, edita anche il LEGNO DELLA VITA, che occupa venti pagine su un totale di centosessanta. Il frontespizio riporta alcune firme (Calisto fra Nicolino Chialmicis, S.r Marie Angela Conuennas Taurini). Il testo ha il timbro della Biblioteca della

LA ESPOSIZIONE
DI GEBER PHILO.

scoperto da misser Giovanni braescho

da torci noui,

NELLA QUALE SI DICHIARA

rano molti nobilissimi secreti

ti della natura.

Caracas

Tauvini



Marie Angela

CON PRIVILEGIO DEL SOM.
mo Pontefice Paolo III. & dello illust. siema.
to Veneto, per anni dorec.

R. M. 41

ETERNA



DE LA MIA MORTI

In Venetia Appresso Gabriel

& Giulio di Ferrari.

M D XLIII.

Calisto for

Al. d. ...

R. Università di Torino, ed è oggi custodito alla sede torinese dalla Biblioteca Nazionale, che ringraziamo. Segue ancora una dedica ALL'ILLUSTRISSIMO SIGNOR CONTE Bartholomeo Martinengho da Villa Chiara in cui l'Autore si dice *amoreuole professore di questa diuina Scientia* (che prima ha denominata *Secreta phylosophia*) e si firma *Gioanni Bracesco*. Le otto pagine successive riportano le TAVOLE (grosso modo «indici») relative ai due testi predetti e quindi inizia il DIALOGO DI M. GIOVANNI BRACESCO da Iorci noui, in dichiarazione di Giebero Philosopho, cui seguirà al folio 75 il secondo testo.

Un punto importante è chi sia, meglio chi fosse, questo Maestro Geber. Non sarà cosa facile, non solo, ma pensiamo che non riusciremo perché finora pare proprio non sia riuscito nessuno, non solo ma si direbbe che nessuno abbia mai detto che sia stato un vivente o se non sia mai esistito fino allora o finora. Facendo un passo indietro nel tempo ci si può chiedere chi e quando ha inventato questo gioco di molecole che si legano e si rilegano e si ristaccano tra di loro e che prese allora il nome di al-chimia e poi di alchimia e poi infine genera quella che è la nostra chimica odierna. Martin Levey [17] dice che *i più antichi chimici della storia si trovano annotati, anzi annotate, nelle tavolette cuneiformi mesopotamiche e sono Tapputi e [—]nino*. Storicamente è importante il linguaggio semitico usato di solito per le tavolette nel II millennio a.C. in Mesopotamia. Queste «fondatrici» della chimica, mediante la quale estraggono i profumi dai vegetali, operano sotto il regno di Tukuliti-Ninurti I (1256-1209 a.C.), prima generazione dell'alchimia che dal luogo dissei Mesopotamica e si sposterà in Arabia, anche perché nell'Egitto dove si sviluppa, trova una situazione decisamente non favorevole.

Seondo F. Jollivet-Castellot [18] *di per certo il più celebre alchimista arabo fu JEBER ABU MUSA GIAFAR ES-SOFI, o più brevemente GEBER (o GLABER) che nacque ad Haran, nella Mesopotamia alla fine dell'VIII secolo, o, secondo altri a Thus (Persia). C'è pure chi lo vuol greco di nazione e di religione, quindi convertitosi all'Islamismo*. Comunque scrive che *l'adepto alchimista deve avere volontà, perseveranza e pazienza. Paracelso stesso l'ebbe in grande stima e lo chiamò magister magistrorum*.

Geber oltre all'alchimia studiò ed approfondì la scienza medica, l'arte della guerra e la musica. *Trascorse la sua vita a corte godendo del favore e del rispetto tributati ad uno studioso ... Gli vengono attribuiti circa un centinaio di libri, in gran parte però scritti da altri che usarono il suo nome. Alcuni metodi descritti sono così complessi e tortuosi che il nome di Geber diede origine al termine inglese «gibberish» (incomprensibile)!*

Al folio 7 del testo, inizia il primo lavoro che, stranamente, porta un titolo diverso da quello di copertina e diventa più semplicemente DIALOGO DI M. GIOVANNI BRACESCO da Iorci noui, in dichiarazione di Giebero Filosofo.

DEMOGORGON ET GEBER, ed inizia appunto come colloquio tra i suddetti. Demogorgon dice *da venticinque anni io studio a fondo le tue opere ma non sono riuscito a penetrarne il vero senso ed allora ho cercato in diverse parti del mondo sperando di trovare qualcuno tanto sapiente, che mi sapesse dare notizie di questa tua tanto divina e segretissima parte di filosofia; e quantunque quasi infiniti uomini io abbia trovato che temerariamente dicevano di conoscere la tua dottrina nientemeno di te si sono lamentati. E poiché tu sei maestro dei maestri, perciò io son partito d'Italia non curando i grandissimi pericoli e son venuto qui in Persia per imparare questa profondissima scienza se a te piacerà di insegnarmela. Gli risponde Geber Poiché la tua domanda è onesta e questo tuo desiderio procede da animo generoso e ancora per l'amor che mi porti son contento di accettarti con gli altri miei discepoli e mi farà piacere sapere la ragione per cui quegli ignoranti si lamentano di me. DEM. Questi dicono di avere operato secondo quel che insegna il tuo libro, e non aver mai fatto cosa buona, anzi avere perso tempo, roba e, peggio, l'onore. Perciò ti bestemmiano e ti maledicono come uomo falso e ingannatore che ti diletta a pungere il cervello a ogni persona, di qualunque grado e dignità sia. GEB. Io ho scritto che quest'arte è conservata nella potenza di Dio, il quale la dà a chi vuole, e la toglie a chi gli piace. E ho scritto questa dottrina in modo tale che solo Iddio la intenda, ovvero colui al quale Dio infonde la sua grazia, ovvero io che l'ho scritta. DEM. Allora non bisognava scrivere né pubblicare tale scienza se non vi è alcuno che la possa intendere. GEB. Io ho detto che ho scritto questa divina scienza in modo che solo l'artefice ed i figlioli della dottrina la possano intendere e loro ho parlato chiaramente, ma agli altri ho detto di fuggire da questa scienza perché è nemica e contraria a quelli, e li porterebbe alla povertà e alla miseria. E se sono diventati poveri non hanno dato fede alle mie parole perché io ho detto che non gli bisognava consumare i suoi beni né spendere denari perché con prezzo vile si perviene al fine di questa opera massimamente quando l'artefice ha vera conoscenza dei principi di questa arte. DEM. Leggendo i tuoi libri io ho compreso che i principi della natura sono anche i principi dell'arte. E particolarmente parlando dei principi naturali dei metalli tu hai detto che i principi naturali nell'opera della natura sono lo spirito fetente e l'acqua viva che chiamiamo anche acqua secca. Se adunque i principi naturali dei metalli sono ancora principi di questa arte, dammi notizia dei principi naturali. GEB. Quello che non saprà i principi naturali sarà remoto e lontano dall'arte nostra perché non ha vera radice su cui fondare la sua intenzione. Tu devi dunque sapere che i principi naturali dei metalli sono in tre differenze. Alcuni remotissimi, alcuni remoti ovvero mezzi minerali ed alcuni sono immediati. DEM. Dimmi per ordine tutti questi principi in modo perché io possa interamente avere tutto l'ordine naturale della generazione dei metalli e con l'artificio io possa imitare in qualche modo la natura. GEB. I principi remotissimi e radici di metalli quantunque, (secondo Hermete), siano i quattro elementi, perché la denominazione si fa dal predominante, io dico che la terra mista con l'acqua è la radice principale e il fondamento di tutte*

le cose minerali. Di terra e di acqua sono i metalli e tutte le cose che si liquefano al fuoco e lo confermano Aristotile, Avicenna, Alberto e S. Tomaso. Il sole, stelle e pianeti, per il lume ricevuto dal sole continuamente riscaldano la terra, disotto e di sopra, di dentro e di fuori, per il loro continuo moto circolare e riverberazione dei suoi raggi e la sottilissima e potente virtù penetrativa. E perché ogni cosa arsa e decotta, finalmente si corrompe e tramuta, e la corruzione di una sostanza è generazione di un'altra perciò la terra mista con acqua, lungo tempo decotta e tramutata, si converte in un'altra natura terrea come noi vediamo delle legne e pietre bruciate, le quali si convertono in cenere e calce. DEM. La terra così tramutata in qual terra si converte? GEB. In una sorta di sale ovvero allume, come vediamo che le cenere, la calce, il sudore, l'urina, l'acqua del mare dal sole decotta tengano in sé alcuni sali. E perciò io ho detto che da ogni cosa combusta si può fare il sale. DEM. Come si nomina questo sale ovvero allume occulto in quella terra decotta? GEB. Si nomina VETRIOLO. DEM. Dal vetriolo si generano i metalli? GEB. Tutti si generano da vetriolo e solfo. Ogni cosa si risolve in quello nel quale è composta. Se tu saprai farlo vedrai che i metalli si risolveranno in vetriolo che io ho denominato acqua secca. È certo che dai metalli imperfetti si cavano diversi vetrioli a noi necessari. DEM. Mi pare che tu ti contraddica; tu hai detto in più luoghi che solfo e argento vivo sono principi naturali dei metalli e ora parli di vetriolo? GEB. Argento vivo e solfo comuni non sono principi naturali dei metalli in natura sua ma altro, che segue per l'alterazione delle sostanze loro nella radice della natura alla sostanza terrea. DEM. Io non ti intendo. GEB. Non ti ho detto che la radice e il principio di tutte le cose minerali è la terra mista con l'acqua? Ora la alterazione di questi, alla sostanza terrea, non produce nella sostanza stessa, essenza di solfo e argento vivo comuni, ma nella radice, cioè nella terra mista con l'acqua, i quali per il calore minerale e celeste si concentrano e tramutano come io ho detto. DEM. Dimmi ora dei principi e mezzi minerali. GEB. Il mezzo minerale dal quale si generano tutti i metalli, e l'argento vivo, la marchesite, l'antimonio e molti altri minerali è principalmente quel vetriolo occulto in quella terra arsa. Ridurre i metalli alla materia prima, cioè prossima alla natura metallica si intende a vetriolo e solfo. DEM. I metalli si generano più dal vetriolo che dall'allume e sale? GEB. Perché quello è più sulfureo e più prossimo alla natura dei metalli e dai cieli ha virtù più prossime al minerale da convertirsi in metallo mediante il solfo, il luogo minerale e il sufficiente calore. DEM. Qual è il luogo minerale? GEB. È il sasso nel quale sta la virtù minerale indurente e fissativa dei metalli. DEM. Che cosa è questa virtù minerale? GEB. È una virtù celeste di metallare, celata in un certo solfo lavato e lucido come argento. DEM. Io non conosco questo solfo lavato. GEB. Hai tu mai visto nell'arena e nei sassi che si cavano di sottoterra alcune squame sottilissime che luccicano come argento? DEM. Io credevo che quello fosse sostanza di argento. GEB. Quello è un solfo dalla natura lavato, seccato e in parte fisso il quale partecipa di natura, splendore e fusione metallica. E senza questo mai si potrebbero generare metalli e dove è

presente in buona quantità i metalli possono generarsi. DEM. Si genera dunque il vetriolo tra i sassi? GEB. In terra, si genera. DEM. Come si fa a trovare lo zolfo lavato? GEB. Perché per le opere della natura si prova che solo cose come sali, allumi e simili sono solubili. Il vetriolo al calor sotterraneo si scioglie e dà un doppio fumo perché il caldo è sempre mescolante e unisce e lega il terreo sottile e l'umido acquoso così che il vapore umido includente e il secco incluso sono innalzati insieme e l'essenza dell'uno è mossa nell'essenza dell'altro e questi due vapori sono il zolfo e l'argento vivo dei filosofi perché quel vapore terreo sottile è alquanto digerito. DEM. Allora nei metalli esistono due zolfi, uno dal vetriolo e l'altro che si trova nelle pietre e nei luoghi minerali. GEB. I principi naturali dei metalli sono tre: zolfo, arsenico e argento vivo. Dei due zolfi Avicenna parlando di attramenti diceva che questi sono composti di sale, di zolfo e di pietra. Questo zolfo che si genera nelle pietre è composto di zolfo e di pietra, ma quello del vetriolo è fatto di sale e zolfo. I zolfi metallici hanno già acquistata la virtù minerale di generare metalli, in alcuni corpi metallici e specie in uno nel quale hanno acquistato la virtù ferrea e la virtù crea benché acquistino ancora la virtù dell'oro e dell'argento e qualche volta si nominano oro e argento e quello che è generato fra la pietra nel suo metallo ha acquistato la virtù ferrea e prima del lavaggio è rosso ovvero giallo e ha le proprietà del ferro ed il nome, e quello che ha acquistato la virtù crea ha le proprietà del rame e si nomina verde rame o Venere. E il zolfo verde si fa puro e chiaro con la rubedine e in quello però è cosa ottima la quale possono trovare gli alchimisti per fare l'oro e quello si nomina oro. DEM. Ora dimmi come quel doppio fumo viene al sasso. GEB. Quelle due esalazioni vaporese tratte dal caldo celeste, se trovano il luogo terrestre, poroso ovvero aperto, per il quale possano esalare sono tirate nell'aria e qui si convertono in comete ovvero stelle cadenti, circoli apparenti intorno al sole e alla luna, e in quell'arco celeste, ovvero in venti, tuoni, fulmini, nuvole, nebbie, grandine e neve, brina, rugiada e altre cose simili apparenti nell'aria; e vince nel naturale, ma se trova il monte ovvero luogo ben ferrato e circondato di pietra, in modo che né il calore minerale né il doppio fumo possano fuggire, allora questo sublimando tende a ingrossarsi e moltiplicarsi e va cadendo e colando per il sasso e luogo minerale. E questi vapori inclusi nei luoghi pietrosi, sono mezzi minerali, ovvero materia remota dei metalli. DEM. Se tutti i metalli vengono da vetriolo e zolfo e per prolungato riscaldamento tramutati in altra sostanza di zolfo e argento vivo, come nasce tanta diversità tra di loro? GEB. Dalla diversità dei luoghi minerali e dai diversi accidenti sopravvenuti nella materia prima e dalla diversità di quel zolfo lavato e dal calore diverso. DEM. Va bene. Dimmi ora dei principi dell'arte, e come questa possa imitare la natura. GEB. Io ho scritto che è utile all'operatore conoscere i principi dell'arte e le radici principali che sono della sostanza dell'opera perché quello che non sa i principi non troverà il fine. Tutte le opere che fa la natura mediante qualche seme si possono fare artificialmente con quel seme. San Tommaso disse che gli alchimisti coi predetti principi naturali, zolfo e argento,

fanno vera generazione di metalli. Ora, se noi vogliamo fare lo Elixir, il quale è un metallo più che perfetto è necessario agire mediante il proprio seme della natura senza il quale Dio solo creatore della natura potrebbe tal cosa fare, come farebbe di pietre pane o di una costa di uomo fare una donna. DEM. Tutti i filosofi dicono che i principi di tutte le cose miste siano i quattro elementi e tu hai scritto che la diversa proporzione degli elementi è causa della diversità delle specie. I principi della natura e dell'arte sono in ogni cosa elementata e si possono ottenere da ogni cosa. GEB. Gli elementi della pietra dei filosofi non sono come i primi e remotissimi elementi né come gli elementi delle altre cose perché gli elementi della pietra dei filosofi sono stati alterati e tramutati dalla prima sua natura e hanno acquistato natura e proprietà da convertirsi in metallo, la qual cosa non è per gli elementi delle altre cose. DEM. Tu ti meravigli perché dici che per elixir dobbiamo pigliare il seme della natura ma non il vetriolo. C'è un altro vetriolo più vicino all'arte che possa fare l'elixir, e dove si trova? GEB. Si trova dove la natura l'ha messo. DEM. Ma nei vegetali o negli animali? GEB. Arnaldo dice sui vegetali ed animali che essendo totalmente alieni dalla natura dei metalli è impossibile che generino metalli, e in questo molti sbagliano perché l'elixir è di natura metallica e quindi deve nascere dai semi dei metalli e che sia simile a quelli perché solamente le cose simili si uniscono. Arnaldo, al Re di Napoli, dice che la pietra dei filosofi è una sola cosa, di una natura, e in essa è tutto quello che gli è necessario, e in essa è quello che la migliora, per le predette sentenze, così tu puoi credere che lo Elixir si fa di una cosa sola, cioè di un metallo solo, detto pietra, quando viene ridotto in forma di pietra, e di questo si fanno le gemme e la quintessenza e l'oro potabile, tutti della stessa materia come è scritto nel Cielo dei filosofi. DEM. Questo metallo non può essere che oro. GEB. Perché? DEM. Perché è più virtuoso, più perfetto, più incorruttibile e incombustibile degli altri, perché le sue parti furono sottilissime, omogenee, e pure. Essendo dunque tanto incorruttibile, per distillazione è ridotto all'ultima purezza, sottigliezza... Tu ancora hai detto che i corpi perfetti si possono fare più perfetti e ridurre alla sottilità e spiritualità. GEB. Bravo te! Ma ricordati che l'oro è più perfetto metallo che non è l'elixir, il quale quantunque eccellentemente ritenga in sé la sostanza metallica, non è però metallo, perché è frangibile e composto di spiriti soli e la sua tintura eccede la comune tintura metallica. DEM. Arnaldo dice che la riduzione del metallo a materia prima è facile, quindi la trasmutazione è facile. GEB. No. Arnaldo non parla di oro comune che si può appena e con grandissima difficoltà distruggere. Come si può fare l'elixir d'oro, secondo tutti i filosofi, quello si fa di cosa vilissima e Morieno dice che per quest'opera tu non spenda cosa alcuna e specie nell'opera dell'oro. DEM. Cosa rispondi alle mie ragioni? GEB. Dico che l'umido radicale degli altri metalli è virtuoso, incorruttibile quanto l'oro. E se i medici moderni usano quello nelle loro medicine non fanno alcun profitto perché se non lo corrompe il fuoco, neanche lo digerisce lo stomaco. E se i medici antichi filosofi e poeti hanno lodato l'oro, non pensavano all'oro comune ma all'oro

dei filosofi perché l'oro comune per sé solo non si può distillare e sciogliere perché non si può convertire in sale; riguardo a quanto tu dici che è razionale che l'Elixir aureo si faccia d'oro dico che nell'opera breve in cui non devi sciogliere né congelare l'oro, è migliore l'oro di ogni altro metallo, ma solo perché nell'opera maggiore il metallo si deve ridurre alla materia prima. DEM. Grazie se mi dirai cosa siano l'oro dei filosofi e l'oro potabile. GEB. È un solfo radicale e puro che prima ho detto arsenico. Nello Specchio dell'alchimia è scritto, il solfo nostro è oro buono e puro. Rasi dice: Folto il quale piglia il colore rosso è solfo e quello ancora è es, ed è comparato al sole e all'oro. Il Seniore filosofo dice: l'oro da questa pietra è oro dei filosofi, ed è tintura, la quale è aria con la quale ascende lo spirito. L'acqua divina spirituale nella quale è l'anima, dalla quale portata, la quale nominano oro. L'acqua l'hanno nominata anima e Hermete l'ha nominata oro quando dice seminate l'oro nella terra fogliata. DEM. Cos'è la terra fogliata? GEB. È l'argento vivo dei filosofi preparato per unirlo con l'oro, ma è meglio dire che per terra fogliata si intende il solfo, che sublima come foglie di oro e di argento e di altri colori ed io ho detto che il solfo con il suo compare si fa tintura. Di questa anima detta oro Hermete disse: L'ha portata il vento nel suo ventre. DEM. Questo vento e ventre cosa sono? GEB. Alberto dichiara questo dicendo che secondo Hermete il vento porta l'anima nel ventre suo, quando la materia si mette nell'alambicco, e distilla fuori dalla sua bocca un liquore di acqua ovvero di olio, con tutte le virtù degli elementi. Vento quindi è quel fumo bianco che porta dentro di sé quel fumo rosso detto anima, oro, es venere, nummo, arsenico, vetro, vetriolo, olio, solfo, acqua verde, leone verde, verdegame, vino, sangue di drago, orpimento, acqua permanente e in molti altri modi. Mireris filosofo dice che cuoce finché la sua umidità sia salita nell'alambicco perché è sudore simile all'oro. Nel cielo dei filosofi, sia accresciuto il fuoco fino al quarto grado per un'ora e uscirà l'acqua colore di oro. Quest'acqua è la pioggia d'oro nella quale Giove si tramutò. Quest'acqua è l'oro potabile.

Si giunge così al folio 31 del Bracesco, che poi continua fino al 72, mantenendo il suo stile caratteristico. Per quanto resta ci affideremo, per evidenti ragioni di spazio, a quella sorta di indici che Bracesco definisce TAVOLE, dove indica quel che tratta nelle singole pagine numerate. Di queste Tavole il punto curioso è la presenza di argomenti ben poco legati all'Alchimia e riferiti in modo anche difforme dal classico.

Dice ancora GEBER che la quinta essenza rossa è detta acqua permanente; ma perché la quinta essenza mercuriale si ha da pigliare per bocca come medicina penetrante per tutti i membri, e conservante dalla corruzione, non deve essere tanto fissa, ma basta che sia tanto cotta e digesta, si consumi l'umidità fetida e acuta e diventi dolce, e per bocca penetri per tutto il corpo e per la sua potente e divina virtù talmente farà incorruttibile ogni luogo dove penetra che chi ne prenderà tre gocce vivrà sicuro per qualche tempo. Le sopradette cose hanno occultato gli antichi poeti nella favola di Orfeo.

Secondo GEBER le pietre sono generate nel fuoco, ma dette ossa per la loro durezza, e sono composte di parti di Vulcano, cioè solfo con molta terra; e cita Deucalione e Pirra, che, dicono i poeti, si salvarono dal diluvio in una navicella, paragonandoli al solfo sottile salvato sulle acque bianche. Nell'arca di Noè si salvarono maschio e femmina; le pietre che getta Pirra che si convertono in femmine, significano l'argento vivo che dopo la distillazione resta nella boccia fisso e terreo, quelle di Deucalione (maschi) danno solfo grosso detto Marte.

GEBER *Il ferro si chiama vegetabile non solo perché è composto di vetriolo verde, e perciò fa nero l'inchiostro, ma perché al fuoco si tramuta ed ha potere e potenza propinqua di trasformarsi in Elixir.*

GEBER *Premetto che il ferro si riduce in forma di una pietra vilissima e di quella si fa l'Elixir Aristotele dice: Piglia la pietra animale e minerale. E quando avrai l'acqua dall'aria e l'aria dal fuoco, e il fuoco dalla terra, allora pienamente tu avrai l'arte... DEM. Credo ben che queste cose siano impossibili. GEB. I filosofi parlando per metafora non mentono. Aristotele ti insegna la distillazione e separazione degli elementi. Haly filosofo dice che sono pietre e non sono pietre, ... ma le diciamo pietre per la similitudine.*

GEBER. *Demogorgon in greco vuol dire Dio della terra, Dio del popolo o Dio terribile e significa il ferro, bisavo degli Dei dei gentili perché da quello tutti sono derivati, da ogni parte è circondato di nebbie e caligine, sostanze terrestri, passeggia nel mezzo delle viscere della terra, perché sotto terra è generato e nutrito. Dicono essere eterno, non generato da alcuno, perché da quello ogni cosa secondo qualche similitudine è generata. Però si dice padre di tutte le cose, ovvero si dice eterno perché avanti la terra e altri elementi non vi è cosa elementata, cioè perché in se tiene chiusa la vera quinta essenza incorruttibile, è vestito di una certa umidità disprezzata cioè di ruggine, e di una certa pallidezza verde, cioè di vetriolo terrestre e sulfureo. Getta odore terrestre, orribile, fetido, cioè sulfureo, posto al fuoco, e di quello si fa una acqua fetida. A questo, gli antichi hanno dato l'eternità e il Caos per compagni. La eternità e la quinta essenza, cioè l'umidità radicale, ovvero l'argento vivo è un liquore eterno. E questo argento vivo preparato lo dicono serpente, il quale, nella coagulazione mangia e divora la sua coda, cioè l'acqua mercuriale, da esso argento vivo distillata in forma di coda di leone e serpente; il Caos è quel sale terreo detto Saturno. Perché è materia confusa in quello e in ogni cosa senza forma, cioè il Sole, la luna, le stelle, cioè i pianeti sopradetti i quali non danno il suo lume, i quattro elementi, le cose vegetabili, animali e minerali. E con Demogorgon abitano figure di diverso metallo. Et io ho sopradetto che nel ferro sono tutti i metalli dei filosofi. Il primo figlio di Demogorgon fu il letigio, cioè il solfo detto Marte, il primo a nascere nella putrefazione e fa tumulto nel ventre di Cbaos, cioè di quel sale, perché è materia prima dei*

metalli che dicono bylen cioè sylvia; perché è la parte vegetabile e da quello per distillazione nascono tutti gli elementi, e perché il sopradetto solfo si vorrebbe separare, essendo diverso in natura perché non ha parti salsuginee, perciò aperto il ventre di questo Chaos, cioè sciolto nell'aceto, Demogorgon distese la sua mano e ne cavò il letigio, cioè quel solfo detto ferro. Per la mano di Demogorgone è significato quell'altro solfo detto arsenico, perché il marte si leva con l'arsenico; e perché per Vulcano e Marte è significato una medesima cosa. Vulcano appena nato era brutto, e perciò fu gettato nell'isola di Lemno, ed anche dicono che questo letigio, appena nato era brutto e per la sulfureità e untuosità adustina fu gettato nelle aure, cioè nelle acque distillate e qui si lava, si scioglie, e vola in alto, cioè in quelle acque, perché non poteva andare più al basso in quanto quell'arsenico che lo aveva separato dal ventre di quel sale, e più basso di tutte le cose, perché sta nel centro della terra di esso sale detto Chaos.

DEM. Una lunga esposizione è stata questa, e perché non ne posso dare giudizio, io però son contento di questa dichiarazione, fin tanto che io vedrò la pratica.

Per me, autore, dire il mio pensiero non è coattivo, ma se mi si vuol porre la domanda, per certo risponderai che mi affianco a braccio al parere formulato da G. Gliozzi [13], per me logicamente accettabile, per il chiaro senso di equilibrio nel presentarne la fortuna critica peraltro accoppiata ad una certa assenza di originalità.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C. POGGENDORF, *Handwörterbuch*, I, 269 Barth, Leipzig 1865.
- [2] L. COZZANDO, *Libreria bresciana*, 265, Rizzardi, Brescia 1694.
- [3] G. MAZZUCHELLI, *Gli scrittori d'Italia*, II/IV, 1966, Bassini, Brescia 1763.
- [4] *Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo Americana*, IX, Madrid.
- [5] V. PERONI, *Biblioteca Bresciana*, Forni, Bologna 1968. (*R. anastatica dell'ed. di Brescia 1818-1823*).
- [6] J.A.S. COLIN DE PLANCY, *Dizionario infernale*, 228, Xenia, Torino.
- [7] K.C. SCHMEIDT, *Geschichte der Alchimie*, 260, Arkana Verlag, Ulm 1832.
- [8] G. GRATABOLO, *Versae Alchemiae, Petri*, Basileae 1561.
- [9] H. KOPP, *Die Alchemie in älterer und neuerer Zeit*, I, 99, 321, Winter, Heidelberg 1886.
- [10] I. THORNDIKE, *A History of Magic and experimental Science*, V, 544-549, Columbia Univ. Press, New York 1941.
- [11] R. TALLADANO, in GRATABOLO [8], 49 seg.
- [12] G. MERULA, in *idem* [8], 47 seg.
- [13] G. GLIOZZI, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, 654, Roma 1951.
- [14] M. STERPINO, in GRATABOLO [8], 47.
- [15] V. TOLANI, *Fatti e personaggi nella storia di Orzi Nuovi*, 231, Sardini, Brescia 1975.
- [16] J.H. ZEIDLER, *Universal Lexicon*, Band 4, 958, Ak Druck - U.V., 1961.
- [17] M. LEVY in E. Farber, *Great Chemists*, Interscience Publ. New York - London 1961.
- [18] F. JOLLIVE-CASTELLOT, *Storia dell'Alchimia, Bastogi*, Foggia 1992.

La storia della ricerca viene ricostruita con modalità che sono vicine
all'idea di "ricerca in senso progressivo" della ricerca. La ricerca storica fo-
data sul recupero del sapere si appropria di un suo momento della ricerca di
tipo scientifico perché nasce al congiungimento sostanziale di possibilità
della contemporaneità metodologica, del momento che della ricerca è con-
scio della possibilità scientifica che si affonda nel campo del "conoscimento
scienze". Questo movimento si basa su un duplice rapporto: il primo è quello
di spiegare le pratiche di ricerca contemporanee nell'ambito — storico — dei
metodi, in senso di "regole" della ricerca, e il secondo è quello di
ricostruire, nel senso di "regole" della ricerca, il momento "scientifico" della
ricerca, in senso di "regole" della ricerca, e il terzo è quello di ricostruire
la storia "scientifica" della ricerca, in senso di "regole" della ricerca.

[1] *Storia della ricerca in senso progressivo*, Edizioni di Franco Angeli.
[2] *Storia della ricerca in senso progressivo*, Edizioni di Franco Angeli.
[3] *Storia della ricerca in senso progressivo*, Edizioni di Franco Angeli.
[4] *Storia della ricerca in senso progressivo*, Edizioni di Franco Angeli.
[5] *Storia della ricerca in senso progressivo*, Edizioni di Franco Angeli.
[6] *Storia della ricerca in senso progressivo*, Edizioni di Franco Angeli.
[7] *Storia della ricerca in senso progressivo*, Edizioni di Franco Angeli.
[8] *Storia della ricerca in senso progressivo*, Edizioni di Franco Angeli.

ANTONIO CLERICUZIO (*)

Alchimia e teorie della materia nel Seicento (**)

Summary - Alchemy played a prominent role in the seventeenth-century discussions on the structure of matter. Alchemy was not deemed as incompatible with the corpuscular philosophy. The present study takes into account the alchemical views of Francis Bacon, Pierre Gassendi and Robert Boyle and their relationships with the particulate theories of matter. In Bacon's alchemy the key notion is *spiritus*, a semi-material active agent which modifies the texture of the metal to be transmuted. According to Gassendi, the alchemical work can be achieved if one can extract the seed of gold. For Gassendi, seeds are complex corpuscles made of atoms. Boyle focuses on the extraction of philosophical mercury from metals as the preliminary step for the transmutation. Boyle interpreted the elixir and the seeds of metals as active corpuscles, i.e. as particles of matter endowed with plastic power.

Gli storici della scienza hanno tradizionalmente stabilito una netta demarcazione tra alchimia e teorie corpuscolari della materia. La prima sarebbe fondata su concezioni del sapere di tipo esoterico e su una visione della natura di tipo vitalistico, mentre invece il corpuscolarismo costituirebbe il presupposto della interpretazione meccanicistica, che rappresenta una delle principali conquiste della rivoluzione scientifica che si afferma nel corso del diciassettesimo secolo.¹ Questa demarcazione si basa su un duplice equivoco. Il primo è quello di ignorare la presenza di motivi corpuscolari nell'alchimia — motivi che, benché non riscontrabili in tutte le maggiori opere della tradizione alchemica (come invece sostiene, non senza qualche forzatura, W. Newman), non sono tuttavia del tutto marginali.² La *Summa Perfectionis* dello pseudo Geber contiene infatti

(*) Università degli Studi di Cassino, Dipartimento di Scienza e Società.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

¹ Si veda ad esempio A.R. HALL, *The Revolution in Science 1500-1750*, London, 1983, tr. it.: *La Rivoluzione nella Scienza 1500-1750*, Milano, 1986, pp. 105-106.

² Cf. W.R. NEWMAN, *Geheimschrift Five. The Lives of George Starkey, an American Alchemist in the Scientific Revolution*, Cambridge, Mass., 1994. Per una discussione delle tesi di Newman,

un'embrionale concezione particellare della materia, che costituisce una versione in chiave alchemica della dottrina scolastica dei *minima naturalia*. La purificazione del mercurio avviene, secondo quanto si legge nella *Summa Perfectionis*, quando le particelle che lo compongono, essendo omogenee, sono strettamente unite, cosicché esso diviene fisso.³

Il secondo equivoco è quello di considerare le teorie corpuscolari come identiche al meccanicismo, oppure (nel caso degli atomisti del primo seicento) come una prima tappa di un processo che necessariamente conduce alla meccanicizzazione dell'universo.⁴ La varietà di versioni dell'atomismo (e più in generale del corpuscolarismo), alcune delle quali basate sull'idea di una materia attiva, dotata di forze e impulsi al moto, indica invece che il meccanicismo (almeno nella versione cartesiana) costituisce solo uno dei possibili esiti dell'atomismo nel seicento.⁵

In questo studio mi soffermerò su tre dei più significativi esponenti delle nuove teorie della materia che nel XVII secolo si affermano in opposizione alle concezioni aristoteliche: Francis Bacon, Pierre Gassendi e Robert Boyle. Il mio scopo è di mettere in luce la stretta connessione tra teorie della materia e alchimia presente nelle loro opere.

In tutti e tre questi autori le teorie e pratiche alchemiche sono connesse alla definizione di una teoria della materia alternativa a quella peripatetica. Se in Bacon non è ancora definibile in termini puramente corpuscolari, in Gassendi e Boyle è invece pienamente e coerentemente basata sull'idea che le interazioni tra i corpi avvengono a livello di corpuscoli (indivisibili per Gassendi, divisibili per Boyle). Sul piano teorico i tre autori operano un significativo sforzo di ridefinire il tema della trasmutazione dei metalli alla luce di una filosofia della natura che, abbandonate le teorie aristoteliche relative a materia e forma e ai quattro elementi, si basa sull'idea che la materia sia costituita di corpuscoli.



si veda il mio Essay Review pubblicato in «Studies in History and Philosophy of Sciences», vol. 28 (1997), N. 2, pp. 369-375.

³ Si veda W.R. NEWMAN (ed.), *The Summa Perfectionis of Pseudo-Geber*, Leiden, 1991 e H.H. KUBRINGA, «La théorie de la matière de 'Geber'», in Z.R.W.M. van Martels (ed.), *Alchemy Revisited*, Leiden, 1990, pp. 133-138. Sulla teoria dei *minima naturalia* si veda N.E. EMERTON, *The Scientific Reinterpretation of Form*, Ithaca-London, 1984, pp. 76-125.

⁴ V. ad esempio E.J. DIJSTERHUIS, *De Mechanisering van het Wereldbeeld*, Amsterdam, 1950, tr. it. *Il meccanicismo e l'immagine del mondo*, Milano, 1971 e M. BOM, *The Establishment of the Mechanical Philosophy*, «Osiris», 10 (1952), pp. 412-541.

⁵ Una revisione della interpretazione tradizionale dell'atomismo è in J. HEYER, *Occult Qualities and the Experimental Philosophy: Active Principles in Pre-Newtonian Matter Theory*, «History of Science» 24 (1986), pp. 335-381; A. CLEGGIOZZI, *A Redefinition of Boyle's chemistry and corpuscular philosophy*, «Annals of Sciences», 47 (1990), pp. 561-589.

Con Francis Bacon il tema della trasmutazione dei metalli entra a pieno titolo nella filosofia della natura del seicento.⁶ La concezione della materia di Bacon presenta una combinazione (nient'affatto anomala nel primo seicento) di atomismo e concezioni vitalistiche, concezioni che si basano sul concetto di spirito.⁷ Secondo Bacon, la materia esiste in due stati: materia tangibile e spirito. La prima è inerte, mentre il secondo è una sostanza finissima, attiva e diffusa in tutto l'universo.⁸ Lo spirito gioca un ruolo centrale nelle indagini baconiane relative alla trasmutazione dei metalli, così come in quelle relative alla materia vivente.

Per operare la trasmutazione occorre, secondo Bacon, modificare il rapporto tra spiriti e parti tangibili nel metallo da trasmutare. Adottando un modello di carattere biologico, Bacon sostiene che gli spiriti devono digerire e assimilare le particelle più grosse di materia, così da produrre artificialmente la maturazione dei metalli. Gli spiriti devono essere rivitalizzati e attivati e le parti tangibili aperte, affinché i primi possano distribuirsi in modo regolare all'interno del metallo. Affinché la fissità sia introdotta in un determinato corpo è necessario che corpuscoli di materia e parti pneumatiche siano ugualmente distribuiti nel corpo. Inoltre, gli spiriti devono essere particolarmente assottigliati. Queste sono le condizioni necessarie per operare la trasmutazione dei metalli vili in oro. La sostanza che può rivitalizzare gli spiriti, è secondo Bacon, il mercurio. Si tratta ovviamente del mercurio filosofico, le cui proprietà non sono però ben chiarite dal Verulamio, che si limita ad affermare che tra l'argento vivo e l'oro sussiste una certa affinità.⁹ Bacon non si limita a fornire il quadro teorico (basato, come abbiamo visto sulle nozioni di corpuscolo e di spirito), ma nella *Sylva Sylvarum* indica una serie di procedure pratiche per la fabbricazione dell'oro.¹⁰ Gli aforismi del *Novum Organum* relativi all'utilità della

⁶ Cfr. P. ROSS, *Francesco Bacon. Dalla Magia alla Scienza*, Torino, 1974 (2^a ed. Bari, 1957), p. 49 e J. LINDEN, «F. Bacon and the Alchemy: the Reformation of Vulcan», *Journal of the History of Ideas*, XXXV (1974), pp. 547-560.

⁷ Sulla teoria della materia di Bacon si veda B. GEMELLI, *Aspetti dell'Atomismo Classico nella Filosofia di Francis Bacon e nel Seicento*, Firenze, 1996, il quale giustamente sottolinea che tra la teoria atomistica (che in Bacon è diversa dall'atomismo democriteo) e il concetto di spirito non sussiste una incompatibilità, v. p. 174n. Il concetto di spirito o etere ha un ruolo centrale nella *Philosophia Naturalis adversus Aristotelem*, Ginevra, 1621, di S. Basso, in cui è presente una articolata teoria atomistica della materia. Secondo Basso, l'etere è la sostanza da cui dipende il moto degli atomi.

⁸ «Spiritus autem ille (de quo loquimur) non est virtus aliqua, aut energia, aut entelechia, aut nubes: sed plane corpus tenue, invisibile; utamen locatum, dimensum, reale». F. BACON, *Historia vitae et mortis, Works of Francis Bacon*, ed. Spedding, Ellis, Heath, London, 1887-92, rist. Stuttgart, 1962, vol. II, p. 213. Cfr., D.P. WALKER, «Francis Bacon and Spiritus», in *Science, Medicine and Society. Essays in honour of Walter Pagel*, ed. by A.G. Debuss, New York, 1972, t. I, pp. 121-130. Id., *Spiritual and Demonic Magic from Ficino to Campanella*, London, 1958, pp. 189-202.

⁹ F. BACON, *Novum Organum, Works of Francis Bacon*, cit., vol. I, p. 357.

¹⁰ F. BACON, *Sylva Sylvarum, Works of Francis Bacon*, cit., vol. II, pp. 448-449 e 599.

trasmutazione hanno un'ampia eco nel corso del XVII secolo e contribuiscono a dare legittimità alle indagini sulla trasmutazione, che infatti saranno ufficialmente promosse dalla Royal Society.¹¹

* * *

Restauratore dell'atomismo epicureo in una versione creazionista, Gassendi è stato tradizionalmente presentato come un sostenitore di una concezione meccanicistica e anti-vitalistica della natura. Tuttavia, malgrado la polemica contro l'alchimista e rosacrociano Robert Fludd — polemica che è stata letta come opposizione di Gassendi alle concezioni alchemiche e mistiche tardo-rinascimentali — nel *Syntagma Philosophicum* (1658) troviamo una fusione di alchimia e teorie corpuscolari. Per comprendere la posizione di Gassendi al riguardo occorre fare due considerazioni preliminari. La prima è che la ben nota polemica di Gassendi con Fludd non significa, come invece aveva sostenuto Cafiero, la contrapposizione tra una concezione meccanicistica e quantitativa della natura (quella di Gassendi) e una di carattere vitalistico e qualitativo (di Fludd).¹² In realtà, le obiezioni di Gassendi sono rivolte alla fusione di alchimia e religione operata da Fludd. Gassendi critica l'interpretazione in termini alchemici del *Genesis*, che è alla base delle speculazioni di Fludd, nonché l'identificazione di Dio con l'Anima del Mondo.¹³ Le accuse di Gassendi non sono quindi riferite all'alchimia tout-court, nei confronti della quale, anche in quest'opera polemica, Gassendi esprime un giudizio favorevole.¹⁴

¹¹ La fusione delle concezioni utilitaristiche baconiane e di temi alchemici è uno dei motivi principali delle attività del circolo di Samuel Hartlib, cui fece parte il giovane Robert Boyle. Cfr. C. WINTER, *The Great Instauration. Science, Medicine and Reform 1626-1660*, London, 1973. Si veda anche B.J.T. DOUGLAS, *The Foundation of Newton's Alchemy or 'The Hunting of the Green Lyon'*, Cambridge, 1975, pp. 62-92. Sull'esperimenti di trasmutazione dei metalli condotti dalla Royal Society, v. T. BURNET, *History of the Royal Society*, 4 voll., London, 1756-1757, vol. II, p. 113.

¹² Questa interpretazione è contenuta nell'unico studio esistente della polemica Gassendi-Fludd: L. CAFIERO, *Robert Fludd e la polemica con Gassendi*, «Rivista Critica di Storia della Filosofia», 19 (1964), pp. 367-410 e 20 (1965), pp. 3-20.

¹³ L'interpretazione in chiave alchemica della Creazione è presente in Paracelso, *Philosophia ad Athenienses*, v. *Theophrasti Paracelsi Opera Omnia*, Ginevra, 1658, II, pp. 257-252. L'interpretazione alchemica del *Genesis* è in varie opere di Fludd. Si veda, ad esempio, R. FLUDD, *Philosophia Mystica*, Gouda, 1638, fol. 86r. Su Fludd e la Bibbia, v. N.E. EMERTON, «Creation in the Thought of J.B. van Helmont and Robert Fludd», in P. RATANSI and A. CLEGGIOLO (eds.), *Alchemy and Chemistry in the 16th and 17th Centuries*, Dordrecht, 1994, pp. 85-101 e A. CLEGGIOLO, «Alchemia Vetus et Vera. Les théories sur l'origine de l'Alchimie en Angleterre au XVII^e siècle», in *Alchimie, art, histoire et mythes*, sous la direction de D. Kahn et S. Matton, Paris-Mila, 1995, pp. 737-748.

¹⁴ P. GASSENDI, *Epistola Exercitatio* ..., Paris, 1630, ristampata, con il titolo *Examen Philosophiae Roberti Fluddi*, in *Petri Gassendi Opera Omnia*, 6 voll., Lione, 1658, vol. III, pp. 213-269, si veda in particolare p. 258.

La seconda premessa è che la teoria atomistica della materia di Gassendi, lungi dall'essere una concezione rigorosamente meccanicistica della natura, contiene in sé numerose idee di carattere vitalistico. Ne è un esempio la nozione di *semina rerum*, che costituisce una nozione-chiave della filosofia paracelsiana (e helmontiana) della natura. L'atomismo di Gassendi è dunque una teoria che non nega la presenza di un'energia, un principio plastico interno alla materia. È quindi erroneo definire quella di Gassendi una teoria della materia meccanicistica, definizione che invece si addice alla teoria di Descartes e dei suoi seguaci, per i quali la materia è inerte e le interazioni tra i corpi avvengono solo attraverso processi di urto tra le particelle.

Secondo Gassendi, in natura è presente un agente plastico, un seme metalifero, dal quale hanno origine i metalli. L'esistenza in natura di principi seminali (che in Gassendi divengono corpuscoli dotati di un principio interno di attività) è confermata, secondo Gassendi, dalla regolarità delle forme che si osservano nel mondo minerale. I principi seminali sono da Gassendi considerati corpuscoli composti (il termine che Gassendi impiega è *moleculae*) dotati di energia e di uno specifico programma, in virtù del quale producono le strutture organizzate della materia.

Gassendi non sembra nutrire dubbi sulla possibilità di estrarre il seme contenuto nell'oro e di utilizzarlo per la produzione artificiale del metallo prezioso.¹⁵ Il seme dell'oro produce una trasmutazione nella materia debitamente preparata operando, secondo Gassendi, come un coagulo. È evidente l'adozione da parte di Gassendi di un modello di carattere di biologico nelle pagine dedicate alla mineralogia, un modello che infatti ritroveremo ancora in Boyle e in alcuni manoscritti alchemici newtoniani, in particolare nel manoscritto intitolato 'Of natures obvious laws and processes of vegetation'.¹⁶ In Gassendi la trasmutazione dei metalli è giustificata sulla base di una teoria atomistica che contempla l'esistenza di principi plastici, i semi dei metalli, le cui modalità di azione non sono riconducibili a un modello rigorosamente meccanicistico.

* * *

Robert Boyle affronta il tema della trasmutazione in un duplice modo. Se nelle opere a stampa l'intera tematica delle trasmutazioni è interpretata in ter-

¹⁵ «Quare nihil videtur dici probabilis, quam esse quoddam quasi germen, seu mavis semen metallicum, quod in apparatus materiam halitusque specie diffusum, ut quondam per lactis substantiam consilium diffusitur, Metalli formam faciat, ac praestet». GASSENDI, *Syntagma Philosophicum*, in *Opera Omnia*, cit., vol. II, p. 141. Sulla nozione di seme metalifero, v. F.D. ADAMS, *The Birth and Development of the Geological Sciences*, New York, 1954 (prima ed., 1938), pp. 289-296.

¹⁶ Pubblicato in B.J.T. DOBBS, *The Janus Faces of Genius. The Role of Alchemy in Newton's thought*, Cambridge, 1991, pp. 256-270.

mini corpuscolari (che, come in Gassendi, non significa rigorosamente meccanicistici), nei manoscritti e nella corrispondenza è documentato un suo interesse anche per un'alchimia di carattere spirituale. Le riflessioni di Boyle al riguardo indicano una seria preoccupazione di carattere religioso circa la natura degli agenti che intervengono nell'*Opus*. Boyle si pone la questione se spiriti impuri possano intervenire nell'*Opus*.¹⁷ Non mi soffermo su questo tema, in quanto qui mi interessa esaminare i rapporti tra concezioni corpuscolari e alchimia in Boyle.

Da un punto di vista teorico la trasmutazione dei metalli non è in contraddizione con le concezioni meccanicistiche: una materia omogenea, le cui parti sono differenziate solo dalla loro grandezza e forma geometrica e moto non sarebbe di per sé un ostacolo alla trasmutazione. Se infatti si determina un cambiamento nella struttura dei corpi, sarà allora possibile trasmutare i metalli in oro. Questo punto di vista è presente in varie opere dello scienziato inglese, ma certo non esaurisce le concezioni boyleane della trasmutazione dei metalli.¹⁸ Nelle opere di Boyle è presente più di una interpretazione dell'*Opus* e non tutte sono riconducibili ai principi della filosofia meccanicistica.

Uno dei documenti più significativi per lo studio dell'alchimia boyleana è la memoria sulle proprietà di un mercurio filosofico pubblicata nelle «Philosophical Transactions» della Royal Society del 1676 — un mercurio che, a contatto con l'oro, genera calore. Esso è — afferma Boyle — «so congruous to gold» che si amalgama perfettamente con esso.¹⁹

Il mercurio occupa infatti una posizione del tutto particolare nell'appendice alla seconda edizione dello *Sceptical Chymist*, intitolata *Experiments and Notes about the Producibility of Chymical Principles* (1680), opera dedicata esplicitamente alla confutazione della dottrina dei *tria prima* paracelsiani. Mentre Boyle nega in maniera perentoria che sale e zolfo possano essere considerate sostanze

¹⁷ Cfr. M. HUNTER, *Alchemy, magic, and moralism in the thought of Robert Boyle*, «The British Journal for the History of Science», 23 (1990), pp. 387-410.

¹⁸ «So that though I would not say that any thing can immediately be made of every thing, as a gold-ring of a wedge of gold, or oil or fire of water; yet since bodies having but one common matter can be differenced but by accidents, which seems all of them to be the effects and consequents of local motion, I see not why it should be absurd to think that (at least among inanimate bodies) by the intervention of some very small addition or subtraction of matter ... and of an orderly series of alterations, disposing by degrees the matter to be transmuted, almost of any thing, may at length be made any thing ...» BOYLE, *The Origine of Formes and Qualities*, Oxford, 1666, rist. in *The Works of the Honourable Robert Boyle*, ed. by T. Birch, 6 voll. London, 1772^a (prima edizione, in 5 voll. London 1744), vol. III, p. 35.

¹⁹ BOYLE, *An Experimental Discourse of Quicksilver growing hot with Gold*, «The Philosophical Transactions of the Royal Society», n. 122 (21 febbraio 1676), pp. 515-533, rist. in *The Works of Robert Boyle*, cit., vol. IV, pp. 219-230. Questa memoria di Boyle fu commentata da Newton in una lettera a Oldenburg del 26 aprile 1676, v. *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. by H.W. Turnbull, J.F. Scott, A.R. Hall, L. Tilling, 7 vols., Cambridge, 1959-1977, vol. II, pp. 1-2.

pure e omogenee di cui sarebbero formati tutti i corpi misti, la sua posizione riguardo al mercurio è più complessa: Boyle sostiene la possibilità che un mercurio puro sia effettivamente contenuto nei metalli.²⁰ Ciò sarebbe, secondo Boyle, provato da fenomeni come l'incalcescenza del mercurio messo a contatto con l'oro. Tra questo mercurio, di cui egli ha scritto alla Royal Society, e i mercuri dei metalli esisterebbe un'affinità (il termine usato da Boyle) è 'cognition'.²¹ Le proprietà del mercurio filosofico di cui Boyle tratta nella *Producibleness* non possono essere ricondotte alle 'mechanical affections of matter', ma rimandano ad una concezione vitalistica della materia che non è mai del tutto scomparsa dal corpuscolarismo del seicento.

Ugualmente estranee (o almeno difficilmente riconducibili) alla 'mechanical philosophy' sono le proprietà che Boyle attribuisce all'elixir, che in quantità limitatissime, riuscirebbe a trasmutare il piombo in oro e a rendere il mercurio fissa.²² L'azione dell'elixir è paragonabile a quella del fermento — termine-chiave nella tradizione alchemica che Boyle adotta nella versione helmontiana.²³

Un altro aspetto della filosofia della natura di Boyle che ci consente di mettere ulteriormente in luce i rapporti tra alchimia e teoria corpuscolare della materia boyleana è la nozione di 'seminal principles' — nozione che Boyle adotta in modo più deciso negli scritti giovanili, e in modo più cauto in opere successive, ma che comunque non scompare dalle opere boyleane. Boyle fa propria l'idea alchemica che i metalli si formino a partire da semi specifici, agenti plastici, capaci di modificare la materia:

... even in divers minerals, as we may see in nitre, chryystal, and several others, the figures, that are admitted, are not unquestionably produced by chance, but perhaps by something analogous to seminal principles, as may appear by their uniform regularity in the same sort of concretion.²⁴

L'azione dei 'seminal principles' non è riconducibile a un processo di tipo meccanico (urto, aggiunta o sottrazione di corpuscoli), ma implica l'esistenza di una forza interna ad alcune particelle di materia, una forza regolata da un programma impresso in esse dal Creatore.²⁵

²⁰ *Works of Robert Boyle*, vol. I, p. 640.

²¹ *Works of Robert Boyle*, vol. I, pp. 638-639.

²² V. *Sceptical Chymist*, *Works of Robert Boyle*, vol. I, p. 508 e *Experiments and notes about the mechanical origin* ..., id. vol. IV, p. 309. I manoscritti alchemici di Boyle sono oggetto di uno studio specifico da parte di L. Principe, dal titolo *The Aspiring Adepts*, di prossima pubblicazione.

²³ Cf. W. PAGEL, *Joan Baptista Van Helmont. Reformer of Science and Medicine*, Cambridge, 1982, pp. 79-87.

²⁴ BOYLE, *Some Considerations touching the Usefulness of Experimentall Naturall Philosophy*, Oxford, 1663, *Works of Robert Boyle*, vol. II, p. 44.

²⁵ Sulla nozione di 'seminal principles' in Boyle, si veda A. CLERKUZIO, *A Redefinition of Boyle's Chemistry and Corpuscular Philosophy*, «Annals of Science», 47 (1990), pp. 561-589.

... I nessi tra teorie corpuscolari della materia e alchimia nel seicento — fino ad ora quasi del tutto ignorati dagli storici della scienza — indicano la necessità di una duplice revisione delle categorie interpretative adottate spesso in modo acritico. La prima categoria da rivedere è l'interpretazione dell'alchimia seicentesca in termini di pura e semplice sopravvivenza di una tradizione ormai priva di originalità. La seconda è la visione dell'atomismo (o meglio del corpuscolarismo) seicentesco come una progressiva affermazione del meccanicizzazione della natura. Nel primo caso è necessario guardare all'introduzione nell'alchimia di nuove idee e esperimenti che provengono soprattutto dall'opera di Paracelso, dei suoi seguaci e di Jean Baptiste van Helmont (un esempio è il sovente universale o *Alkabest*) — da cui scaturiscono problemi e discussioni assenti nell'alchimia medievale. Per quel che riguarda l'atomismo, va messa in luce la presenza, già prima di Newton, di teorie della materia che postulano l'esistenza di principi attivi, di forze e poteri interni alle particelle costitutive dei corpi.

Questa revisione ci consente di comprendere due fenomeni apparentemente inspiegabili: 1. che nel seicento si assiste non a una diminuzione, ma a un aumento di opere alchemiche; 2. l'interesse (sia teorico che pratico) per l'alchimia di alcuni dei principali esponenti della rivoluzione scientifica.

DOMENICO PRIORI (*) - EMIDIO SANTONI (**)

I salnittrari nella provincia di Ascoli Piceno nel XVII sec. (**)

Salt peter production in the Picenum during the 17th Century.

Summary - Since the introduction of gunpowder in warfare, every nation, including the Papal State, has been compelled to produce it. The raw materials required for producing gunpowder are: sulfur, saltpeter and charcoal. In the Picenum, the saltpeter was produced at Appignano, a small community not far from Ascoli. Over the centuries the saltpeter gatherers, charged by the Apostolic Chamber to collect that scarce substance, inflicted all sort of violence and abuse on the citizens of Appignano. Besides being a center for collecting the saltpeter, Appignano also produced some gunpowder, as attested by a plant in operation in that community as far back as the 17th Century. We have focused our research on the saltpeter and its production because we believe that it is the first study of its kind on this matter, at least as far as the Picenum is concerned. The best historical and scientific references on the subject can be found in *De la piro-technia*, by Vannoccio Birguccio.

Prima di entrare nel vivo dell'argomento sull'attività dei salnittrari nella provincia di Ascoli nel XVII secolo ci sembra opportuno fare alcune precisazioni. Il titolo comunicato nasceva, in verità, da mire ambiziose; purtroppo gli archivi non rispondono quasi mai alle attese dei ricercatori. Infatti, effettuati con metodicità sondaggi archivistici a Roma, Ascoli e Fermo, ci siamo convinti che il solo centro documentato della Provincia di Ascoli dell'attività estrattiva del salnitro e, probabilmente, come teneremo di dimostrare, della produzione di polvere da sparo fu Appignano, località periferica dello stato della Chiesa, allora inserito nel Comitato Ascolano.

Il Paese conta oggi circa 1900 abitanti. Sorge su un poggio a 194 metri sul livello del mare: un balcone di terra isolato dall'incessante opera di scavo del

(*) Istituto Tecnico Industriale «E. Fermi» di Ascoli Piceno.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

fosso di San Giovanni a mezzogiorno e del torrente Chifenti a settentrione. Di probabile origine alto-medievale.

Soffrì lungo i secoli di ripetute frane dovute al fenomeno geofisico dei calanchi e «all'incuria dei cittadini»¹ come scrisse l'abate Colucci nelle sue *Antichità Picene*, alla fine del Settecento, e, dopo le recentissime nostre acquisizioni archivistiche, agli sregolati lavoratori del salnitro: i protagonisti del nostro resoconto.

C'è da aggiungere che l'archivio comunale di Appignano il quale, secondo le fonti, era ricchissimo di carte, fu dato alle fiamme durante i moti della Repubblica Romana del 1848-49.

I documenti analizzati provengono dall'Archivio di Stato di Ascoli e, soprattutto, dall'Archivio di Stato di Roma, dal Fondo della Congregazione del Buon Governo.

Il primo documento che attesta la presenza dei salnitri nel castello di Appignano risale al 1639. Esso aprì la lunga serie dei ricorsi, degli appelli disperati inviati alle autorità preposte che si protrarranno per due secoli, nei confronti dei salnitri.

La comunità di Appignano, tramite i Priori, trasmise al Podestà la seguente lettera che si trascrive in parte: «Eminentissimo e Reverendissimo Signore ... ogni tre anni sono soliti venire li salnitri e ministri della Reverenda Camera a cavar le case del Castello per fare il salnitro per farne poi polvere ... Eminentissimo Signore il Castello minaccia rovina per un fosso contiguo e per il cavar che fanno detti ministri camerati son cascate e mandate in ruina buona quantità di case, e del continuo se ne cascano e vanno in rovina con perdita grande dei poveri che possiedono dette case e con bruttezza del Castello».² La missiva dei Priori al rappresentante della città di Ascoli assunse toni allarmati: «... per le viscere di nostro Signore si degni ordinare a Monsignor Governatore di Ascoli che detti ministri camerati non debbano cavar case del detto castello, non mancando altri castelli della città di Ascoli ed altri luoghi donde possono cavar terra e farne il salnitro».³

Il Governatore di Ascoli, Monsignor Girolamo Cadebò, ricevette il memoriale, trasmessogli dal Podestà di Appignano e inviò a Roma, il 2 aprile 1639, una sua nota informativa che confermò nella sostanza le lagnanze della comunità: «Eminentissimo e Reverendissimo Signore e padrone colendissimo ... trovo che per difetto particolare dei salnitri negli anni passati rovinarono alcune case con qualche deformità del Castello e danni particolari e se questi d'hoggi seguitassero a cavar nella medesima parte non se ne potrebbe se non sospettare anche danni maggiori». Chiuse la lettera con il seguente invito: «... sarebbe necessario che

¹ COLUCCI G., *Ragguaglio istorico della terra d'Appignano nello stato di Ascoli*, da « *Antichità picene ...* », tomo 21, p. 53, Fermo 1794.

² Archivio di Stato di Roma (ASR), *Buon Governo*, Serie II, busta 227.

³ *Ibidem*.

usassero maggiore modestia».⁴ In un altro documento, datato 24 novembre 1640, si legge: «... sarà ohmai un anno e mezzo che in detto castello si introdussero li salnitri per fabbricar polveri con patenti di questa Sacra Congregazione». I salnitri, si evince dai documenti citati, fabbricavano anche la polvere da sparo. Nel seguito della lettera si specifica che «... detti salnitri moderni tengono il medesimo modo di cavar vicino e sotto alle case...» poi, più esplicitamente, si chiarisce che vi furono «... degli antecessori dei moderni salnitri...».⁵

I salnitri che frequentarono o si stabilirono agli inizi del Seicento nel castello di Appignano vengono distinti dai loro predecessori, probabilmente perché producevano anche polvere da sparo.

Gli appignanesi erano stanchi di sopprusi, malversazioni, avevano taciuto fino al 1639, e, finalmente, si decisero a mettere nero su bianco: i salnitri andavano per la loro strada, non sentivano ragioni e continuavano a produrre rovine come quelli degli anni passati. (Da notare come nei documenti si parli non solo della necessità di salvaguardare l'incolumità delle case ma anche l'estetica del Castello, che rischia «deformità» e «bruttezza»). Questi «patentati della Camera Apostolica» la fanno da padroni nel paese. Purtroppo non conosciamo né i loro nomi, né la loro provenienza, né il loro numero e né i procedimenti di «fabbrica».

L'insoltito di reclami, di suppliche, avvenne per tutto il Seicento e non produsse nessun risultato, da interpretare come debolezza politica di entità periferiche rispetto a Roma. I salnitri avevano i permessi dalla Reverenda Camera Apostolica e rendevano conto solo ad essa. Si riafferma, ancora una volta, che si comportavano da padroni. Tale evidenza scaturisce dai documenti del secolo XVIII e così la nostra analisi si proietta nel Settecento.

Il Podestà Giuseppe Poliziani, il 25 luglio 1758, firmò una relazione che ci illumina maggiormente su questa categoria singolare di lavoratori. La comunità di Appignano non riceveva solo danni dagli scavi effettuati sotto le case ma dal fatto che i salnitri portavano via il letame ossia «grascia» dalle stalle senza di che i terreni di «... essa povera comunità non ponno rendere fruttato».⁶

È evidente che il procedimento per l'estrazione del salnitro prevedeva lo scasso della terra delle stalle i cui pavimenti erano in terra battuta. Questo continuo decorticamento produceva la messa allo scoperto delle fondamenta dei fabbricati con grave rischio per la loro staticità. Si parla espressamente di stalle è quindi necessario dire che, fino a pochi decenni fa, ogni famiglia del paese disponeva di un ampio locale a piano terra per ricoverare animali. Inoltre i salnitri commettevano violenze; il documento sopra citato così conclude «... indubbiamente deve andare in rovina e detta terra di Appignano dei terreni dei particolari (ossia privati) per mancanza di grascia e si fanno ancora leciti essi sal-

⁴ Ibidem.

⁵ Ibidem.

⁶ ASR, Buon Governo, Serie II, busta 229.

nitri prendere il letame dalle stalle e poi dopo che l'hanno purgato dal salnitro venderselo alli particolari in evidente danno dei padroni di esso e con utile di essi salnitri che a guisa di contrabbandieri vonno vivere di potenza». Nel documento che data 30 luglio 1785, inviato a Roma dal governatore di Ascoli Monsignor Antonio Tomati di Asti, si fa riferimento al contributo, abbastanza rilevante, dato dai salnitri che «... colà si annidano...»⁷ all'infelicità del paese «... a motivo dei scavi che fanno nei fondamenti inferiori delle abitazioni e degli altri danni che recano alli abitanti della terra su detta».⁸

Il verbo «si annidano» la dice alla lunga sul disagio che si protrae da secoli sofferto da Appignano.

L'ultimo documento che testimonia il disagio della Comunità porta la data del 12 luglio 1787; in esso il Podestà, per l'ennesima volta, comunicò al governatore Monsignor Giacomo Carlo Borromeo di Padova il danno «... che li fabbricatori del salnitro abusando dei privilegi loro accordati dalla Reverenda Congregazione apportano a quella terra».⁹ È da sottolineare che i «Priori residenti» avevano recapitato al Podestà sopra citato una drammatica denuncia in cui si ricordava la proibizione di effettuare scavi emanata dalla Sacra Congregazione del Buon Governo in data 1760, ma i salnitri «... si rendono arditì di contravenire a tal ordine facendosi anche leciti di bastonare li poveri abitanti... e ultimamente di notte fecero rissa con alcuni giovani i quali fuggendo si resero arditì di tirargli una schioppettata».¹⁰

Si parla di concessioni, di privilegi accordati ai salnitri che essi, certamente, non usano con moderazione. Due secoli di tensioni, quindi, tra due comunità quella di Appignano e quella che, periodicamente, tornava, con prepotenza, in paese. Questa attività estrattiva che ignora di fatto il rispetto dei diritti dei privati si inquadra nella mentalità propria dei secoli XVI-XVII-XVIII per la quale il bene comune (e quale bene in questo caso!) non può essere sottoposto a nessun vincolo privatistico.

Questa esperienza storica ha lasciato profonde tracce. I bambini di Appignano e, in genere quelli del Piceno, conoscevano, fino a pochi anni fa, che quella polvere bianca che trovavano su vecchi muri di stalle era il salnitro e serviva per preparare, unitamente allo zolfo e al carbone, la polvere da sparo. E quasi tutti ci hanno provato a produrla. Questa conoscenza, quasi «genetica» del salnitro del popolo Piceno, è singolare. Più strano è il fatto che questa intensa e prolungata frequentazione di salnitri e di produttori di polvere da sparo sia stata, finora, taciuta dagli storici di questa Provincia.

⁷ Ibidem.

⁸ Ibidem.

⁹ Ibidem.

¹⁰ ASR, Buon Governo, Serie II, busta 230.

¹¹ Ibidem.

I primi documenti rintracciati in ordine all'utilizzo della polvere da sparo, in Appignano, provengono dal «I Libro di amministrazione della chiesa della Madonna di Loreto» (oggi non più esistente) dove nella colonna degli esiti si legge «A di 9 dicembre 1735 per polvere e fascine baiocchi 34»¹² e così negli anni seguenti. Un esplicito riferimento alla fabbrica di fuochi pirotecnici, tuttora esistente in Appignano, data 24 maggio 1796: «Illustrissimi Signori, Pietro Alessi di Appignano Oratore e Suddito delle Signorie Vostre Illustrissime divotamente espone, che ad ogni genere di Roba è stato acresciuto il prezzo, conforme alle Signorie Vostre Illustrissime è ben noto, e siccome per la solita somma di baiocchi 25 non è possibile poter fare lo sbaro del Protettore Sant'Emidio, affine l'Oratore possa fare una cosa decorosa e non abbia a sentirne danno, umilmente le supplica volersi degnare aumentare a detta somma altri scudi cinque perchè possa alla spesa supplire, e fare uno sbaro decente all'Illustrissima Città».¹³ La città è Ascoli Piceno che, ancora oggi, in occasione della festa del patrono, Sant'Emidio, conclude i festeggiamenti con un grande spettacolo pirotecnico, eseguito, quasi per consuetudine, dalla ditta Alessi.

Purtroppo la tradizione dei procedimenti lavorativi della ditta Alessi è stata tramandata solo oralmente; gli eredi più anziani dai loro nonni ricordano che il salnitro lo raschiavano dai muri delle stalle e dalle grotte. Queste efflorescenze, pazientemente raccolte, venivano conservate gelosamente in buste, ma non ricordano se venisse sottoposto a qualche trattamento. Il carbone che usavano lo preparavano con legno di vite. Ancora oggi i carboni impiegati in pirotecnia provengono dalla combustione di legni leggeri. Lo zolfo lo si acquistava, probabilmente, dalle solfatare di Peticara, nel pesarese, ma esso andava lavato e setacciato perchè non purissimo. Rammentano ancora che il rapporto salnitro, carbone e zolfo era 4:2:1 e che battevano, per 4-5 ore, queste tre polveri bagnate con l'acqua, dentro ad una pila di travertino con pestelli di legno. Poi la polvere veniva ancora bagnata e con dei crivelli di paglia granulata.

Dunque l'ipotesi che abbiamo avanzato precedentemente che i salnitriari diventarono produttori di polvere può trovare una sua ulteriore conferma.

Dalle nostre ricerche non è emerso il metodo di lavoro di questi salnitriari. Perciò può essere d'aiuto inserire nella storia questo composto chimico. Il salnitro, potassio nitrato, ebbe una notevole importanza strategica, essendo il maggiore e più pregiato componente della polvere da sparo, importanza che perse con l'avvento delle polveri senza fumo, fine del secolo scorso. La polvere da sparo, polvere nera, deriva, per affinizioni empiriche, dal «fuoco greco» la cui composizione era conosciuta solo dall'imperatore di Costantinopoli e dalla famiglia Kalcinicos ed è stato ipotizzato da N.D. Cheronis¹⁴ che il segreto del fuoco greco,

¹² Archivio Parrocchiale della chiesa di San Giovanni Battista di Appignano del Tronto, «Libro dell'Entrata ed Esito della Madonna di Loreto», di Appignano, c. 51r.

¹³ Archivio Storico Comune di Ascoli Piceno, *Serie consigli*, n. 137, cc. 186r, 187v.

¹⁴ N.D. Cheronis, «J. Chem. Edu.», 14, 360-365, 1937.

fosse proprio il salnitro. Come d'altronde già aveva affermato Leonardo: «Fuoco greco: tolli carbone di salcio e salenitro e acquavite e zolfo, pegola con incenso e canfera e lana etiopica, e fa bollire ogni cosa insieme».¹⁵ I primi manoscritti che riportano le indicazioni sulla produzione della polvere da sparo sono del XII secolo, ma si rifanno probabilmente a testi precedenti. Marcus Graecus nel suo «*Liber ignium ad comburendos hostes*» (fine del XIII secolo) dà i seguenti rapporti 6:2:1 sulle quantità di salnitro, carbone e zolfo nella polvere.

Detti rapporti sono variati nel tempo, risultano diversi da luogo a luogo e distinti a secondo della destinazione della polvere. Il professore Virgilio Giormani riferisce che nel XVI secolo nella Repubblica di Venezia detto rapporto era 4:1:1, per passare a 5:1:1 all'inizio del XVII secolo e stabilizzarsi nel classico rapporto 6:1:1 dalla metà del XVII secolo.¹⁶

Nella metà del XVI secolo Vannoccio Biringuccio consiglia 3:2:1 per la polvere «per artiglieria grossa», «per l'artiglieria mezzana» 5:1, 5:1, «delli archibusi e schoppi» 10:1:1 e conclude «Alcuni ... per farla migliore mettono tredici parte e mezzo di salnitro, due di carbone, e una e mezza di solfo».¹⁷

Il Biringuccio, citato da molti e ancora purtroppo poco studiato è stato per noi importante per le informazioni sul salnitro che abbiamo trovato nel suo *De la pirotechnia*.

Questo libro pubblicato, nel 1540, un anno dopo la morte dell'Autore, ebbe una grande diffusione. Si è studiato *De la pirotechnia* perché era il testo che trattava del salnitro e della polvere da sparo più vicino all'epoca oggetto del nostro studio.

Nel proemio del libro decimo il grande senese ci dice «...vi voglio dire hora come si fa il salnitro e li modi per bene raffinarlo e cosa il sia e come senza esso l'artiglierie e molti effetti delli fuochi violenti e artificiali sarebbero trouati in vano».¹⁸

Interessanti sono le notizie sulle proprietà del salnitro che ci permettono di avere informazioni sulle conoscenze scientifiche dell'epoca.

Così nel primo capitolo del libro decimo «La natura del quale [salnitro] per li suoi effetti considerando non mi so risolvere a dire quel che propriamente la sia, (da notare l'onestà intellettuale!) li dotti e sapientissimi phisici oltre alle sperientie medicinali per il gusto trouandolo falso, e con molta acuità sottile, ... si resolueno a dire che sia di natura calda e secca.

Da l'altra parte vedendo essere cosa generata d'aere, e tocco dal fuoco farsi

¹⁵ LEONARDO DA VINCI, *Scritti scelti*, a cura di Annamaria Beizio, UTET, Torino 1966, p. 81.

¹⁶ VIRGILIO GIORMANI, *La disputa sul salnitro al caffè Pedrocchi, tra due accademici patovini (15 luglio 1789)*, Società Cooperativa Tipografica, Padova 1991.

¹⁷ VANNOCCHIO BIRINGUCCIO, *De la pirotechnia*, libro decimo, p. 153v. (Ristampa anastatica, Verona 1977).

¹⁸ *Ibidem*, p. 149r.

inflammabile e vaporoso e con spauentosa impetuosità eleuarsi come composto nella poluere delle artigiarie militari manifestamente dimostra pare che sia di natura d'aere caldo e umido.

Et appresso vedendolo con bianchezza lucida e trasparente, e che ogni fuoco è fusibile (temperatura di fusione 334 °C) come cosa alla natura acqua conforme, ... al che s'aggiogne la sperientia del tatto e della molta infrigidatione che mette nel acqua nelli tempi estiu, a chi rinfreschar vuole il vino (!), e che con poca percossa si tritura e rompe si potrebbe dubbitare che fusse terrestre ... Talche per concludere d'ogni qualità de elemento, par che vi sia proprio predominio». ¹⁹ Con onestà scientifica, dicevamo, Biringuccio non sa quale sia la natura del salnitro ma mette in evidente e stringente contraddizione «li dotti e sapientissimi phisici» che continuano e continueranno ad adattare la realtà alla teoria aristotelica.

Nel seguito «... hor questo o altra cosa simile li antichi scrittori li chiamorno nitro» ²⁰ confondendo il salnitro con il nitro degli antichi e cita le «historie naturali» (*Naturalis historia*) di Plinio.

Passa, poi, alla descrizione delle terre più adatte all'estrazione del salnitro «Ma di tutti il migliore e più ottimo sal nitro si fa di letame d'animali convertiti in terra nelle stalle, ouero nelle latrine humane longo tempo non usate, e sopra tutto di quella che deriuu dal porcino si tra di salnitro più quantità e migliore. Questa terra di letami ... a volere che la sia buona vuol essere quasi fatta poluerosa». ²¹

Consiglia, per accertare la bontà della terra, un saggio organolettico «La chiarezza che in se contenga bonta si pigliare con il gustare con la lingua se lha mordacità e quanta ...». ²² Il Biringuccio di seguito dà precise indicazioni per approntare tutto l'occorrente per l'operazione di estrazione.

Poi aggiunge «... di tal terra che volete laurare ... farne ... un gran monte. Et appresso a quello per la metà minore n'hauete a fare un'altro che sia due parti di calcina viva e tre di cennere ... di poi mescollerete e di tal composizione empirete le tine». ²³ Consiglia anche un altro metodo cioè quello di stratificare nei tini la terra, la cenere e la calcina.

Quale che sia il metodo di riempimento «... con un doccio l'empirete d'acqua, la quale per tutte le terre penetrando a pocho a pocho la lassarete scolare ... con se tutta la sustantia e virtù del sal nitro che era dentro a tal terra». ²⁴ Dopo un altro saggio in punta di lingua, se di buona qualità, il Senese non con-

¹⁹ *Ibidem*, p. 149r.

²⁰ *Ibidem*, p. 150r.

²¹ *Ibidem*, p. 150r.

²² *Ibidem*, p. 150r.

²³ *Ibidem*, p. 150r.

²⁴ *Ibidem*, p. 150v.

siglia di rimetterla sopra le medesime terre ma sopra altre terre nuove, mentre si continuerà ad aggiungere ancora acqua nei tini che non verrà unita a quella di prima estrazione ma servirà per le estrazioni successive alla prima.

Descrive appresso come allestire il fornello e come posizionare la «caldara di rame» (per quanto riguarda Appignano, vi erano all'epoca numerose e capienti caldaie di rame,²⁵ impiegate, oggi, nella produzione di vini cotti) che sarà riempita per i due terzi di «acqua nitrosa». Si fa bollire tanto da ridurla a un terzo, si filtra e si rimette nella medesima «caldara» e si fa bollire di nuovo.

Si aggiunge «un capitello (liscivia) di cenere di cerro o di quercia e un quarto di calcina», e sostenere l'ebollizione sino a «... quando vedete che il acqua dal salnitro si cleua in schiuma, la quale pocho stante la vederete calare e farsi chiara e di color azzurrigna (per la presenza degli ioni rameici in soluzione alcalina) e bella, e così tanto la farete bollire che le parti aquee sottili esalino e quelle di salnitro s'ingrossino tal che causata e messa in casse rifredata congeli. Il salnitro che trouarete congelato in quantità sarà secondo la virtù che era l'acqua, ouero nella terra. Ma la clarità e bellezza verrà dalla virtù della maestra del capitello».²⁶ Biringuccio riporta alcuni metodi per raffinare ulteriormente il salnitro. Il primo capitolo del libro decimo così conclude: «... tanto assottigliato l'ingegno delli uomini che si troua modo di farne produrre alle terre». Viene spiegata la «semina»; essa consiste nel bagnare la terra con una soluzione di acqua e salnitro e «... lasciato così stare certo spazio di tempo ... quel che vi fu messo di gran longa moltiplica».²⁷ Per buona parte del XVII secolo persisterà la convinzione che metalli e sali crescano in seno alla terra.

Il procedimento esposto da Biringuccio, con chiarezza esemplare, iniziava dalla lisciviazione delle terre nitriche in presenza di ceneri vegetali, che, essendo ricche in carbonati alcalini, produceva una soluzione contenente nitrati, cloruri e solfati di sodio e potassio, unitamente a piccole quantità di sali di calcio. Durante la prolungata ebollizione si formava una schiuma persistente dovuta alla coagulazione di mucillagini, ed altre sostanze organiche contenute nel materiale di partenza. Inoltre la decomposizione termica dei bicarbonati di Ca, Mg e Fe (presenti nel lisciuato) dava luogo alla precipitazione di carbonati alcalino terrosi e di idrossidrato ferrico. Dopo la filtrazione si passava alla concentrazione, sfruttando la più elevata solubilità, a caldo, del salnitro rispetto agli altri sali presenti. Poi si decantava a caldo e, lasciata raffreddare la soluzione, cristallizzava il salnitro.

Concludiamo ringraziando i professori Franco Calascibetta e Paolo Amat Di San Filippo per la cortesia e la disponibilità.

²⁵ Archivio notarile Ascoli Piceno, *Atti notaio Marini Giancarlo*, v. 431, a. 1530, c. 29v.

²⁶ *Ibidem*, p. 151r.

²⁷ *Ibidem*, p. 152r.

FERDINANDO ABBRI (*)

Georg Ernst Stahl e la diffusione di una nuova idea di chimica (**)

G.E. Stahl and the diffusion of a new idea of chemistry.

Summary - The paper considers the definitions of chemistry given by the German physician G.E. Stahl (1659-1734) in order to enlighten his idea of this science. It aims at demonstrating that such an idea represented a novelty and was very influential in the eighteenth century. Stahl's chemical conceptions must not be reduced to the theory of phlogiston because they were parts of a general, socio-ideological program.

1. Nella storia della chimica il nome del medico tedesco Georg Ernst Stahl (1659-1734) viene generalmente associato alla formulazione della cosiddetta teoria del flogisto.¹ Siamo di fronte al caso tipico di una figura di rilievo nella storia della scienza la cui opera è stata ridotta ad una teoria esplicativa di alcuni fenomeni, destinata ad essere sostituita alla fine del Settecento con altra spiegazione ritenuta più rispondente ai fenomeni stessi. La teoria del flogisto venne considerata vera perché fu accettata, pur conoscendo significative e talora macroscopiche varianti, da un'ampia e emergente comunità di chimici: la diffusione, il radicamento e l'utilizzazione di forme di sapere chimico nei principali contesti

(*) Dipartimento di Studi storico-sociali e filosofici, Università di Siena.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

¹ Sulle concezioni stahliane il volume di H. METZGER, *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, (1930), Paris, Blanchard, 1974, costituisce sempre il lavoro di riferimento. Della METZGER si veda anche: *La Philosophie de la matière chez Stahl et ses Disciples*, in «Isis», VIII, 1926, pp. 427-64; *La Théorie de la composition des sels et la théorie de la combustion d'après Stahl et ses Disciples*, ivi, IX, 1927, pp. 294-325. H. GILMAN MCCANN, *Chemistry transformed. The paradigmatic shift from phlogiston to oxygen*, Norwood, N.J., Ablex Publishing Corporation, 1978, costituisce un caso esemplare di approccio sociologico nel quale la teoria stahliana è ridotta alla questione del flogisto.

socio-politici favorirono l'accettazione di concezioni in grado di interpretare una numerosa classe di fenomeni.²

Il nome di Stahl non va tuttavia associato soltanto ad una specifica interpretazione di fenomeni chimici; al contrario la sua opera costituisce un vero e proprio snodo teorico che influenzò l'intero sviluppo della chimica nell'Età dei Lumi.³ Giova ricordare che grazie a Stahl e alla sua scuola la chimica, in quanto arte o scienza collegata ad un'ampia serie di attività artigianali e produttive, venne vista negli stati tedeschi come un'arte utile, degna pertanto di essere eticamente coltivata e istituzionalmente sostenuta dal potere.⁴ Lo stahlismo fece maturare una nuova percezione sociale della chimica, favorì la sua emancipazione da un contesto ambiguo ed oscuro e il mito settecentesco della Germania come «Vaterland» della chimica è un risultato dell'opera di Stahl e dei suoi seguaci, di un deliberato piano politico-culturale. Siamo in presenza di un progetto scientifico dotato di una precisa valenza ideologica che fu influente per tutto l'Illuminismo.⁵

In molte corti rinascimentali tedesche la presenza di alchimisti costituiva una costante e in diversi casi i principi si dedicarono personalmente all'indagine alchemica. Le corti di Rodolfo II a Praga, di Maurizio di Hesse-Cassel, del duca del Württemberg a Stoccarda erano centri effettivi di indagini magiche, alchemiche e scientifiche.⁶ Di recente Jost Weyer ha documentato le attività alchemiche

² Sulla chimica del 700: E. STICKER, *Theorienwandel in der Wissenschaftsgeschichte. Chemie im 18. Jahrhundert*, Frankfurt am Main, V. Klostermann, 1982; S. TUCIOLI PATTARO, *La Teoria del flogisto*, Bologna, CLUEB, 1983; F. ARBE, *Le terre, l'acqua, le arie*, Bologna, il Mulino, 1984; M. BESETTA, *The Enlightenment of Matter. The Definition of Chemistry from Agricola to Lavoisier*, Canton, Mass., Science History Publications, 1993.

³ La migliore biografia di Stahl è il profilo di J. STRUBE, *Georg Ernst Stahl*, Leipzig, BSB B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, 1984. Sulle concezioni chimiche stahliane l'unico lavoro complessivo è: L.J.M. COLBY, *Studies in the Chemical Work of Stahl*, A Thesis of the Degree of DP, University College, London, 1938. Importante anche il saggio di I. STRUBE, *Die Philo-
sophische Geog Ernst Stahl (1659-1734) in ihrer historischen Bedeutung*, in «Zeitschrift fuer Geschichte der Naturwissenschaften, Technik und Medizin», I, 1960, pp. 29-51.

⁴ Cf. K. HUPFNER, *The Formation of the German Chemical Community (1720-1795)*, Berkeley, University of California Press, 1982, p. 8 sgg.

⁵ Sul contesto stahliano tedesco in relazione alla teoria di Lavoisier si vedano, oltre al classico (1897) lavoro di G.W.A. Kahlbaum e A. Hoffmann, N.G. SCHEIDT, *Die Einheit von Wissenschaft und Geschichte*, Diss., Heidelberg, 1981; A. KLEINERT, *La diffusion des idées de Lavoisier dans le monde scientifique de langue allemande*, in *Il y a 200 ans Lavoisier*, Paris, Technique & Documentation, 1995, pp. 182-190.

⁶ O. HANNARIE, *The Chemists and the Word*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1975; C. MIZOGI, (ed.), *Die Alchemie in der europäischen Kultur und Wissenschaftsgeschichte*, Wiesbaden, Harrassowitz, 1986; *Alchemy revisited*, edited by Z.R.W.M. von MARTLES, Leiden, E.J. Brill, 1990; B.T. MORAN, *The Alchemical World of the German Court: Occult Philosophy and Chemical Medicine in the Circle of Moritz of Hessen (1572-1632)*, Stuttgart, Franz Scones Verlag, 1991; P.H. SMITH, *The Business of Alchemy*, Princeton, N.J., Princeton U.P., 1994.

condotte da un personaggio storicamente secondario come il conte Wolfgang II Hohenlobe, il quale costruì ben due laboratori alchemici (nel 1588 e nel 1602) nel suo castello di Weikersheim in bassa Franconia. Attraverso la documentazione rintracciata Weyer ha illustrato la struttura del laboratorio, la strumentaria in uso, i lavoratori addetti e le attività di ricerca effettuate. Il conte Wolfgang aveva inoltre un'ampia biblioteca chimico-alchemica e intratteneva una corrispondenza di argomento alchemico con molti principi tedeschi.⁷

Questo caso rivela, in modo esemplare, il radicamento dell'attività alchemica nel contesto tedesco. D'altra parte, in questo stesso ambito, sin dal Rinascimento le attività produttive collegate alla chimica avevano assunto un'importanza non trascurabile come fonte di reddito per i sovrani. Gli alchimisti, i *Feuerkünstler*, gli *Archanisten* itineranti erano stati sostituiti da tecnici e sovrintendenti locali che erano stati chiamati a dirigere ed incrementare le attività di produzione e utilizzazione di sostanze chimiche primarie. Miniere e saline erano luoghi importanti quali fonti di ricchezza per i principati seicenteschi.⁸ Ciò comportò la nascita di scuole e accademie a carattere mineralogico e metallurgico che furono centri d'attività didattica, scientifica e consulenza tecnica per i chimici.⁹ Agli inizi del Settecento un gran numero di docenti attivi presso queste istituzioni erano seguaci di Stahl.¹⁰

Lo stahlismo ha svolto un ruolo centrale come ideologia di una forma particolare di ricerca chimica al servizio dell'economia generale dello stato che fu influente in Germania, nel mondo scandinavo, nell'impero austriaco, in quello russo e infine nella stessa Francia, che pure possedeva una tradizione plurisecolare di chimica medico-farmacologica.¹¹

È mia intenzione richiamare qui solo l'idea stahliana di chimica, illustrarne i caratteri essenziali e mostrare che essa costituì una novità, segnò un momento di rottura, in particolare nei confronti della tradizione chimica meccanicistica.

⁷ J. WEYER, *Graf Wolfgang II. von Hohenlobe und die Alchemie*, Sigmaringen, Jan Thorbecke Verlag, 1992, p. 64 e sg.

⁸ R.P. MULLHAUF, *Neptune's Gift. A History of Common Salt*, Baltimore, The Johns Hopkins U.P., 1978, pp. 3-120; Id., *The History of Chemical Technology. An annotated bibliography*, New York, Garland, 1984, Part II.

⁹ J.E. McCLELLAN III, *Science Reorganized. Scientific Societies in the Eighteenth Century*, New York, Columbia U.P., 1985.

¹⁰ K. HUBAUER, *op. cit.*, pp. 224-269, contiene una storia delle istituzioni scientifiche tedesche di rilievo per lo studio e l'insegnamento della chimica.

¹¹ Per la storia dello stahlismo in Europa è necessario ricorrere alle storie dei singoli contesti nazionali, che sono stati studiati soprattutto in relazione all'affermazione della teoria di Lavoisier. Si veda: F. ARBI, *La diffusione della «chimie nouvelle» in Europa*, in *Storia delle scienze. 2. Natura e vita. Dall'Antichità all'Illuminismo*, Torino, Einaudi, 1993, pp. 526-49; B. BENSALUD-VINCENT and F. ARBI (eds.), *Lavoisier in European Context. Negotiating a New Language for Chemistry*, Canton, Mass. Science History Publications, 1995, e alcuni dei saggi contenuti in «*Technikätörténeti Szemle*», XIX, 1992.

Quest'ultima, nata sulla scorta delle concezioni di Cartesio e della rinascita dell'atomismo antico grazie a P. Gassendi, aveva conosciuto una grande fortuna a ragione della sua chiarezza ed economicità (materia e moto erano i soli principi di spiegazione richiesti), ma le tradizioni alchemiche e paracelsiane avevano conservato la loro vitalità. Anzi, tra la fine del Seicento e gli inizi del Settecento, molti medici, filosofi naturali e «chimici» ribadirono la loro adesione al paracelsismo.¹² Stahl condivise le critiche al meccanicismo, si richiamò alla tradizione rinascimentale ma elaborò nuove concezioni e non si fece promotore di una semplice riproposizione dell'approccio alchemico o essenzialistico, anzi criticò a fondo la ricerca della pietra filosofale e la trasmutazione dei metalli vili in oro.

2. Tra il 1684 e il 1687 Stahl tenne lezioni private di medicina e chimica all'Università di Jena, presso la quale si era addottorato (1684) in medicina. Queste lezioni costituirono un vero e proprio «Collegium Chemicum», secondo la definizione di Johann Juncker, uno dei più importanti seguaci di Stahl e autore di opere fortunatissime che costituiscono trattazioni efficaci del pensiero chimico e medico stahliano.¹³ Dalle lezioni jenensi nacquero alcuni manuali grazie ai quali si diffuse un'idea di chimica che era allo stesso tempo innovativa ma radicata nella tradizione iatrochimica paracelsiana, era critica nei confronti del meccanicismo cartesiano e boylhiano, ma in totale opposizione a qualunque eredità alchemica o magico-ermetica.

Nel 1720 uscì a Lipsia la *Chymia Rationalis & Experimentalis; oder ... Einleitung zur Chemie*, ossia un'introduzione, in lingua tedesca, alla chimica derivata dalle lezioni di Stahl. Al 1723 risale un trattato latino dal titolo *Fundamenta Chymiae Dogmaticae & Experimentalis*; nel 1728 uscirono i *Fundamenta Pharmaciae Chymicae* e nel 1732 i grandi *Fundamenta Chymiae Dogmatico-Rationalis & Experimentalis*. Vale poi la pena di ricordare che al nome di Stahl sono legati la *Zymotechnia fundamentalis* (1697), contenente una teoria generale della fermentazione vista come parte della chimica e arte nobilissima e utilissima, delle *Anweisungen* (guide) all'arte tintoria (1703) e alla metallurgia (1720) e i grandi trattati sullo zolfo (1718) e sui sali (1723), vere e proprie fonti per tanta chimica sperimentale e analitica del Settecento.¹⁴

¹² F. ARBEI, *Tradizioni chimiche nel Settecento*, in *Atti del I° Convegno di Storia della Chimica*, a cura di P. ANTONIOTTI e L. CERRETI, Torino, Università, 1985, pp. 1-23.

¹³ Su Johann Juncker (1679-1759), professore al *Paedagogium* di Francke e poi professore di medicina a Halle, si veda HUBBAUER, *op. cit.*, pp. 172-173. È da ricordare che le grandi opere di medicina e di chimica (ad es. il *Conspectus Chymiae Theoretico-Practicae in forma Tabularum representatus* del 1730) di Juncker furono ristampate a Venezia nell'originale edizione latina.

¹⁴ G.E. STAHL, *Chymia Rationalis & Experimentalis oder ... Einleitung zur Chemie*, Leip-

Con queste opere Stahl fu in grado di coprire i principali settori della chimica che agli inizi del Settecento si era venuta articolando in una serie di arti specifiche. Conviene ricordare che in quel periodo il termine «chimica» designava un universo di discorso ampio, dai confini non nettamente disegnati, nel quale erano comprese la chimica medica, ciò che chiamiamo chimica fisica, la chimica applicata e le ricerche alchemiche, e così via. Il processo di definizione di un dominio specifico per la chimica fu, com'è noto, soprattutto il risultato della rivoluzione lavoisieriana. È poi da notare che i manuali — i *Fundamenta* — circolarono ampiamente sotto il nome di Stahl, grazie anche a ristampe e a traduzioni in tedesco ove il testo originale era in latino o un misto di latino e tedesco come nel caso dell'opera del 1732, ma erano il risultato dell'edizione di sue lezioni, non opere composte espressamente per la stampa. Stahl non intervenne mai, anzi favorì la diffusione di testi confezionati da allievi sulla base della sua attività didattica del periodo jenense e di quello di Halle. Testi editi, dissertazioni, trascrizioni di inediti furono stampati, tradotti, ristampati grazie anche ad un allievo e collaboratore fedele come Michael Alberti.¹⁵

Uno dei canoni teorici fondamentali della fisiologia di Stahl, che ebbe riflessi anche sulla sua visione della chimica, è costituito dall'ammissione di una differenza netta tra meccanismo e organismo, tra un corpo misto e un corpo vivo, ossia tra inorganico e organico. L'eco sollevata dalle idee filosofiche stahlianne in merito alla radicale differenza ontologica stabilita tra anima e corpo dimostra che Georg Ernst Stahl non era un oscuro medico attardato su posizioni vitaliste, autore della teoria «sbagliata» del flogisto: si tratta invece di un protagonista delle discussioni filosofiche e scientifiche del tempo. I suoi interlo-

zig, 1720 (rist. 1729, 1746); *Fundamenta Chymiae Dogmaticae & Experimentalis*, Norimbergae, Sumptibus W. Mariti Endteri Haered. Typis J.S. Adelbuerri, 1723; *Fundamenta Chymiae Dogmatico-Rationalis & Experimentalis*, Norimbergae, Impensis B.M. Endteri, 1732; *Fundamenta Pharmaciae Chymicae*, Badtgae, Apud J.F. Reglein, 1728; *Anweisung zur Metallurgie, oder der metallischen Schmelz- und Probiar-Kunst*, Leipzig, bey C.J. Emsels, 1720; *Zymotechnia Fundamentalis, seu Fermentationis Theoria Generalis*, (Halle), Typis & Sumptibus C. Salfedi, 1697; *Specimen Becherianum*, Lipsiae, apud J.L. Gleditschium, 1703; *Zufällige Gedanken und nützliche Bedencken ueber den Streit von dem so genannten Sulphure*, Halle, in Verlegung des Waeyenhausen, 1718; *Ausführliche Betrachtung und zulaenglicher Beweis von den Salzen*, Halle, in Verlegung des Waeyenhausen, 1723. In «Observationum Chymico-Physico-Medicarum Curiosarum» (Francofurti & Lipsiae) per il mese di luglio 1697 è contenuto al «Caput Quintum»: Sulphur Quod Ita Fit, Nascitur ex acido Vitriolico, & phlogisto carbonum (pp. 34-40), mentre l'Introitus del mese di Agosto (pp. 57-72) è «De Sede Principii Phlogistos», cioè due tra i lavori stahliani importanti sul flogisto. Per un'analisi dell'edizione inglese (1750) dei *Fundamenta*: D. OLBROYD, *An Examination of G.E. Stahl's Philosophical Principles of Universal Chemistry*, in «Ambix», XVIII, 1971, pp. 36-52.

¹⁵ Su Michael Alberti, collaboratore e curatore di lavori medici di Stahl (ad esempio delle *Dissertationes medicae*, 2 voll., Halle, 1707-12), cfr. K. HUBBAUER, op. cit.

cutori furono Leibniz, Francke e Thomasius in campo filosofico-teologico; H. Boerhaave e F. Hoffmann in campo chimico-medico.¹⁶

3. Le definizioni di una scienza non esauriscono il significato che un autore attribuisce alla scienza da lui coltivata, ma sono un indice significativo dell'immagine di un sapere, contribuiscono decisamente a comporre quell'immagine. Conviene quindi soffermarsi sulle definizioni di chimica offerte da Stahl nelle sue opere.

Nei *Fundamenta Chymiae* del 1723 la chimica è così definita nel «Doctrinae Chymicae Proemium»:

«Chymia, alias Alchymia & Spagīrica, est ars corpora vel mixta vel composita, vel aggregata etiam in principia sua resolvendi, aut ex principis in talia combinandi».¹⁷

Si tratta dell'arte di scomporre i corpi misti, composti, aggregati nei loro principi e nel ricombinare questi ultimi: dunque arte analitica secondo la tradizione seicentesca, il cui oggetto «sunt omnia mixta & composita». La trattazione tematica è divisa, sulla base di un canone letterario acquisito, in parte teorica e in parte pratica («Theoretica & Practica»), e quest'ultima è definita come sezione speciale della dottrina chimica, contenente l'elenco delle sostanze chimiche e delle principali operazioni effettuabili su di esse. Stahl ammette che il fine dell'arte chimica può essere diverso, cioè medico, meccanico, pratico, economico, ossia il chimico, in quanto causa efficiente, può dirigere le sue capacità di scomposizione e di ricomposizione verso fini diversi.

Si è accennato sopra che un gran numero di argomenti era ritenuto di per-

¹⁶ Sulle dottrine medico-fisiologiche di Stahl: L.J. RATHJER, *G.E. Stahl's Psychological Physiology*, in «Bulletin of the History of Medicine», XXXVI, 1961, pp. 37-49; F. DOCHESNEAU, *G.E. Stahl: antimécanisme et physiologie*, in «Archives Internationales d'Histoire des sciences», XXVI, 1976, pp. 3-26; J. GREYER-KORDESKI, *Fever and Other Fundamentals: Dutch and German Medical Explanations c. 1680 To 1730*, in «Medical History», Supplement N° 1, 1981, pp. 99-120; Id., *Die Medizin im Spannungsfeld zwischen Aufklärung und Pietismus: Das unbehagene Werk Georg Ernst Stahls und dessen kulturelle Bedeutung*, in Halle, *Aufklärung und Pietismus*, herausgegeben von N. HENSEL, Heidelberg, Verlag Lambert Schneider, 1989, pp. 255-274. Il grande fisiologo, collega di Stahl ad Halle, Friedrich Hoffmann espone le differenze delle sue teorie con quelle stahliane in: F. HOFFMANN, *Commentarius De Differentia inter ejus Doctrinam Medico-Mechanicam et G.E. Stahlii Medico-Organicam*, in *Opera Omnia Physico-Medicorum Supplementum in duas partes distributum... Pars Secunda*, Genevae, Apud Fratres De Tournes, 1749. Sulla polemica di Stahl con Leibniz in merito a problemi antropologici e psico-fisiologici: L.J. RATHJER and J.B. FREDICH, *The Leibniz-Stahl Controversy*, in «Clio Medica», III, 1968, pp. 21-40; V, 1970, pp. 53-67. Il pietismo, movimento di riforma interno alla Chiesa luterana tedesca, ebbe il suo centro nella nuova università di Halle. Nella città prussiana August Hermann Francke aveva fondato (1695) il famoso Orfanotrofo, Francke e Christian Thomasius furono in relazione con Stahl: il pietismo ebbe cruciale influenza sullo stahlismo.

¹⁷ G.E. STAHL, *Fundamenta Chymiae* (1723) cit., p. 1.

tenenza della chimica che risultava essere un universo tematico ampio nel quale rientravano la mineralogia e l'arte tintoria, la metallurgia, la farmaceutica e la terapeutica, ma secondo Stahl le ultime due non risolvevano in sé la chimica, com'era stato invece teorizzato dai paracelsiani. Nel contesto stahliano non si ritrova un privilegiamento della chimica medica, bensì un ampliamento significativo dei campi di pertinenza della chimica.

Nei *Fundamenta* del '23 la chimica è definita sia «alchimia» sia «spagirica» e Stahl accenna alle sue origini storiche, riaffermandone il carattere antichissimo, egiziano, richiama i nomi, quale ideale albero degli antenati, degli alchimisti medievali (Lullo, R. Bacone, Arnaldo), rinascimentali e, ovviamente, di Paracelso, Helmont e Becher.¹⁸ Gli accenni all'antichità del sapere chimico e alla sua genealogia non si traducono, com'era ancora consueto nel tardo Seicento, in una qualche rivendicazione della tradizione ermetica: questi accenni costituiscono solo una concessione a luoghi retorici tipici dell'insegnamento pubblico della chimica a quel tempo. Infatti, se si considerano i *Fundamenta Chymiae* del 1732 i riferimenti storico-genealogici sono del tutto scomparsi, come pure la possibilità di usare i termini spagirica e alchimia quali sinonimi di chimica. Quest'ultima è semplicemente «chymia», definita arte capace, attraverso vari tipi di movimenti, di dissolvere e combinare i corpi misti e i composti. Scrive infatti Stahl:

«Chymia est ars corpora naturalia mixta mediantibus variis motibus dissolvendi I. combinandi, illorumque crasin immutandi, variaque effecta producendi».¹⁹

È l'arte d'individuare gli elementi ossia i principi che costituiscono tutti i corpi rintracciabili in natura, i quali sono l'acqua e la terra e quest'ultima è divisa nelle tre terre di J.J. Becher.

Nella presentazione dei fondamenti teorici si è verificata una notevole semplificazione che si traduce nell'eliminazione di modi di presentazione tipici della letteratura chimica coeva: non è più necessario rivendicare l'importanza della chimica attraverso la sua antichità. Stahl elenca invece con puntigliosità le ragioni per le quali la chimica è utile alla fisica, alla medicina, alla metallurgia e a varie arti meccaniche («inserviens scientiae Physicae, Medicinae, Metallurgiae alisque artibus Mechanicis»). Realizza anche un vero e proprio sovvertimento di prospettiva a carattere epistemologico: la chimica è utile alla fisica perché il fisico deve conoscere il moto e la materia di tutte le cose e di ciò in nessun luogo si discute meglio che in chimica («Chymia prodest scientiae Physicae, qui enim vult esse bonus Physicus, debet scire Motus & Materiam omnium rerum, quae nullibi melius discuntur quam in Chymia»)²⁰. D'altra parte, Stahl era pienamente con-

¹⁸ *Ivi*, p. 2.

¹⁹ *Ibid.*, *Fundamenta Chymiae* (1732) cit., p. 1.

²⁰ *Ibid.* Sulla chimica dei principi: D.R. OLSHOV, *The doctrine of property-conferring principles in chemistry: origins and antecedents*, in «*Organon*», XII-XIII, 1976-77, pp. 159-55.

vinto dell'utilità dell'arte chimica in campi tradizionali come quello della farmaceutica: si trattava non di rifiutare un'eredità, come quella paracelsiano-rinascimentale, bensì di modificarne il significato e, soprattutto, d'ampliare il raggio d'azione della chimica. Egli considerava la chimica farmaceutica o quella medica come parti essenziali della chimica non la chimica. Nei *Fundamenta Pharmaciae Chymicae* (1728) scrive:

«Chymia Pharmaceutica docet artem corpora dissolubilia & combinabilia in ordine ad usum Medicum dissolvendi vel combinandi».²¹

In questo testo stabilisce che gli «instrumenta materialia» del chimico sono quattro, i grandi organi del moto naturale, cioè fuoco o calore, aria, acqua e terra, e il carattere degli strumenti fisici usati dal chimico verrà ribadita anche nei *Fundamenta Chymiae* del '32, ma nel testo sulla chimica farmaceutica Stahl è ben attento a specificare il differente uso delle sostanze nella «chimica» generale rispetto a quella farmaceutica, segno di una consapevolezza epistemologica delle differenti dimensioni di un sapere complesso come quello chimico.

4. Nel 1694 Stahl era stato chiamato presso la nuova Università brandeburghese di Halle, nel 1715 divenne consigliere e medico di Re Federico Guglielmo I di Prussia e nel 1725 presidente del Consiglio medico dell'intera Prussia. Da queste posizioni di potere portò avanti il processo di conversione della medicina e della chimica tedesca alle sue concezioni e garantì la presenza di suoi allievi in Università, collegi e accademie. Nel 1731 pubblicò a Berlino una raccolta in latino di trecento esperimenti, osservazioni e discussioni fisico-chimiche. Questi *Experimenta* furono uno dei testi stahliani più noti e diffusi in tutt'Europa, anche a ragione della loro felicità stilistica, così rara nella bibliografia stahliana.²² Confermano che Stahl non allentò mai la battaglia in nome della sua idea di chimica come arte dotata di specifici e peculiari concetti. La sua insistenza sul carattere razionale e utilitaristico di quest'arte fu finalizzata alla maturazione di una considerazione socio-culturale nuova della chimica e la sua azione fu coronata da successo. Nel Settecento il mondo tedesco e quello scandinavo furono visti come luoghi privilegiati di una chimica in grado di contribuire alla ricchezza di una Repubblica.²³

²¹ *Id.*, *Fundamenta Pharmaciae* cit., pp. 14-15.

²² G.E. STAHL, *Experimenta, observationes, animadversiones, CCC numero, chymicae et physicae*, Berolini, Apud Ambrosium Haude, 1731.

²³ Sul contesto svedese: S. LINDBOTH, *Paracelsismen i Sverige till 1600-Talets mitt*, Uppsala, Almqvist & Wiksells Boktryckeri A.-B., 1943; H. OLSSON, *Kemiens Historia i Sverige intill år 1800*, Uppsala, Almqvist & Wiksell, 1971.

VIRGILIO GIORMANI (*)

«Il viaggio di Lavoisier nel Veneto»: la Società dei Filochimici di Padova (**)

«Lavoisier's Travel to Venetia»: the Società dei Filochimici in Padua.

Summary - Owing to the translation into Italian of the Lavoisier's *Traité élémentaire de chimie*, made in 1791 by Vincenzo Dandolo (1758-1819), the new chemistry spread out into the various towns of the Venetian Republic. Nicolò Da Rio (1765-1815) found in 1792 a chemical laboratory in Padua with the purpose of teaching the new theories. In this laboratory is also possible doing experimental work of applied chemistry. One of the frequenters, Giuseppe Olivi (1769-1795) censures the Dandolian translation: too many footnotes make this translation dull reading.

«Il viaggio di Lavoisier nel Veneto», così definisco le modalità di affermarsi delle idee del chimico francese in terra Veneta, è una spia della vivacità scientifica nella seconda metà del Settecento e poiché la nuova chimica investe tutti gli altri settori della storia naturale essa è un indicatore della ricchezza di elementi che contribuiscono al procedere della scienza».¹

Non desidero stabilire alcuna primazia: «le ricerche di Lavoisier sull'acqua del 1783 e del 1784 hanno una eco immediata in Europa». In Italia, «prima del dicembre 1783 Landriani informa Volta che richiede l'invio dell'estratto del

(*) Dipartimento di Chimica Organica, Università di Padova.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997). Sigle: B.C.C. = Biblioteca Civica di Chioggia; B.C.P. = Biblioteca Civica di Padova; A.S.V. = Archivio di Stato di Venezia.

¹ C. GIMN, *Natura e conoscenza: l'impresa scientifica nel Veneto del Settecento*, in *Atti del Seminario Giovanni Arduino e i geologi veneti del Settecento*, a cura di C. Lazzari e F. Bizzarri, Museo Civico di Storia Naturale, Venezia, 1 giugno 1995, p. 16.

lavoro del Lavoisier del 1783».² Volta poi ne discute con il Lorgna e Pietro Moscati tenta di ripetere le «esperienze lavoisieriane».³

A Chioggia, il naturalista Giuseppe Olivi non può aver letto i *Mémoires* nel 1784, all'età di quindici anni. Però, quando cita, nell'agosto del 1791, le «belle esperienze del Sig. Lavoisier»,⁴ deve averle ben assimilate da molto tempo. Infatti il 17 luglio precedente, un amico del Dandolo, Filippo Armano, gli chiede un parere sul primo tomo del *Traité* del Lavoisier, nella traduzione dandoliana. L'Olivi non deve essere stato molto soddisfatto della traduzione e deve averlo scritto all'Armano, che si affretta — il 31 luglio successivo — a spiegare all'Olivi le ragioni del traduttore. Mi pare significativo che l'Armano, nell'informare l'Olivi che della traduzione egli sente «generalmente a parlarne assai bene», aggiunga «che il professor Carburri» — vale a dire il più tenace oppositore a Padova delle nuove teorie — «fra gli altri scrisse una lettera in lode al Dandolo, che meriterebbe d'esser stampata».⁵

Nel settembre successivo, recensendo il primo tomo della traduzione, l'Olivi comincia a criticare le aggiunte del Dandolo al testo del Lavoisier, aggiunte «perfettamente inutili». Anche se «piene per altro di dottrina e d'ingegno», queste aggiunte «frequentemente a pie' di pagina», invogliano il lettore a leggerle e così, «deviandolo dal filo dell'opera, gli fanno [...] o perdere o confondere la totale comprensione di questa semplice, legata e dedotta teoria».

Oltre queste note esplicative, il Dandolo ha anche aggiunto delle note che «si possono chiamare di correzione». Il *Traité* «indirettamente» è «l'agente principale della distruzione dei sistemi, universalmente adottati e radicati da molto tempo nella mente di tutti i chimici». Esso ha lo scopo di «piantarne uno nuovo del tutto opposto, recentemente fondato e quindi non ancora ridotto alla sua perfezione». Logico che sia soggetto «a fortissime opposizioni promosse da tutti quei cattedratici e maestri dell'antiche immaginazioni, i quali dalla nuova teoria vengono messi alla, per loro crudele, necessità di divenire discepoli». Ma esso non trova contrari solo «quei professori, ai quali preme di mantenersi nella dignità di maestri»: vi sono anche dei «ricercatori esatti del vero, i quali credendo forse che le difficili intraprese possano essere ridotte alla perfezione sul

² F. Anstz, *Le terre, l'acqua, le arie: la rivoluzione chimica del Settecento*, Bologna, Il Mulino, 1984, p. 311.

³ *Ivi*, p. 312.

⁴ G. Olivi, *Dell'atmosfera delle acque minerali di Salerno; e in particolare del lezzo d'asfalto, che si fa sentire, della di lui permanente gassosità, natura e denominazione*. Memoria epistolare diretta a Vincenzo Comi, in «Opuscoli scelti sulle scienze e sulle arti», 14, 7 agosto 1791, p. 338.

⁵ B.C.C., MS. 51A73, Armano all'Olivi, Venezia, 17 luglio 1791. La risposta dell'Olivi non risulta ancora ristampata e così la lettera del Carburri al Dandolo: la replica dell'Armano, *ivi*, Venezia, 31 luglio 1791. Vedi anche Giuss, *La geometria della natura. Chioggia e l'Europa nella vicenda intellettuale di Giuseppe Olivi naturalista del Settecento*, Padova, Il Poligrafo, 1994, p. 45n.

punto del loro nascere», non tollerano «di ritrovare nella nuova teoria delle imperfezioni», che sono solo «l'effetto della sua recente nascita». Col tempo, queste imperfezioni sarebbero state levate e «lungi dall'indurre ad attaccare la totalità del sistema, dovevano esse stesse restare diminuite mediante lo studio più approfondito di que' medesimi oggetti».

«Da queste due classi di studiosi», «la nuova teoria fu in cento lati attaccata», «affastellando tutte l'obbiezioni possibili per sostenere gli antichi sistemi ed abbattere il nuovo». Tutte queste «obbiezioni» vengono riportate dal Dandolo il quale però, «non contento di queste sole», «ne volle aggiungere di nuove tratte dal proprio ingegno».

L'Olivì non tratta le note «di ragionamento più metafisico che chimico» con le quali il Dandolo «si oppone a varie proposizioni»⁶ che il Lavoisier, «parafraendo e riassumendo la *Logique* di Condillac», aveva introdotto nel *Discours préliminaire*.⁷

L'Olivì osserva che le «obbiezioni» del «traduttore» sono «presso a poco quelle medesime, le quali furono cento volte ripetute e che gli Accademici Francesi hanno per la maggior parte vittoriosamente risolto e negli atti dell'Accademia delle scienze e nelle annotazioni al saggio sopra il flogisto di Kirewan e negli Annali di Chimica e nell'Enciclopedia [c] in molti altri luoghi». Ma con sorpresa dell'Olivì, di questi lavori non è stato «fatto il minimo impiego dall'imparzialità del traduttore, il quale ha tuttavia mostrato tanto sapere nell'ammassare l'opposizioni».⁸

Così nel settembre 1791. Nei mesi successivi l'Olivì può integrare le sue conoscenze chimiche teoriche con la pratica sperimentale. A Padova, il conte

⁶ B.C.C., MS 31B17. La recensione, siglata G.O., ossia Giuseppe Olivì, venne pubblicata nel «Nuovo Giornale Enciclopedico», t. IV, settembre 1791, pp. 69-79. È riportata integralmente in GINSI, *La geometria della natura*, pp. 45-46, 157-160.

⁷ ANTONI, *Lavoisier e Dandolo. Le edizioni italiane del *Traité élémentaire de chimie*, in «Annali dell'Istituto di Filosofia» (Università di Firenze), VI, 1984, p. 176. C'è un solo accenno, nella critica dell'Olivì, all'elogio che il Dandolo fa dell'antilavoisiano J.A. De Luc; all'errore del Dandolo nell'includere «nel catalogo degli oppositori», J.A. Chaptal, «il recente autore dell'eccellente corso di chimica, che adotta ampiamente la nuova teoria e la nuova nomenclatura e che se cambia qualche voce, per esempio *azoto* in principio *nitrogeno*, ciò è per migliorare questo piano, di cui egli è l'ammiratore e il seguace; al fatto che il Dandolo «dopo il catalogo degli avversari», non ha posto l'altro più numeroso e luminoso dei difensori, i quali vanno crescendo di giorno in giorno». GINSI, *La geometria della natura*, p. 159.*

⁸ *Ist.* Per quanto accennato al lavoro del «Kirewan» (R. KIRWAN, *An Essay on Phlogiston* [...], London 1787), esso «non costituisce uno dei tanti manuali di chimica 'flogistica', ma un testo specificamente rivolto contro la nuova chimica». Kirwan utilizza i lavori di «Lavoisier e dei suoi seguaci», evidenziandone «i punti che gli appaiono inaccettabili». L'edizione francese dell'*Essay* (*Essay sur le Phlogistique et sur la Constitution des Acides, traduit de l'Anglois, avec des Notes de MM. de Morveau, Lavoisier, de la Place, Mongy, Berthollet, et de Fourcroy*, Paris 1788), «si presenta quindi come una risposta ad una precisa provocazione scientifica». ANTONI, *Le terre*, p. 364.

Nicolò Da Rio, amico dell'Olivi ancor prima del 1790, costruisce a proprie spese dapprima in contrada Sant'Antonio e poi «dirimpetto alla propria abitazione», un laboratorio chimico. Il Da Rio vi sostiene anche delle lezioni pubbliche «per agevolare e perfezionare l'esercizio di quelle arti che dalla chimica ritraggono vantaggi notevolissimi».⁹

Il ventiseienne Da Rio, assieme al ventiquattrenne conte Giambattista Polcastro, fonda la Società dei Filochimici, della quale affida la presidenza a Giovanni Antonio Dalla Bella, già assistente del Poleni, poi professore di fisica all'Università di Coimbra, ove si dedica anche a studi di botanica pratica e di agraria applicata. Ottenuta la pensione nel 1790, rientra a Padova nel luglio di quell'anno.¹⁰

Nella Società vi sono altri giovani, quali Daniele degli Oddi e il conte Ludovico Franco.

Il fratello di Giambattista Polcastro, Girolamo, al quale si devono le poche notizie su questa istituzione, la dichiara «bella e lodevole» in quanto, «con tanti esempi d'ozio e di scioperaggine», si vedono «molti giovani» che si dedicano alle «lettere e alle scienze».¹¹ Qualche altro particolare risulta dalle lettere del Da Rio all'Olivi. Il Da Rio ha predisposto degli esperimenti che interessano all'Olivi e che ne richiedono assolutamente la presenza: «quand'anche tutto fosse pronto nel nostro laboratorio» — assicura il Da Rio — e non ci fosse l'Olivi, «ciò solo basterebbe a far differire» la nostra riunione.¹²

Ancora, dalle lettere del Da Rio all'Olivi, veniamo a sapere alcune particolarità tecniche sull'analisi della corteccia di salice, allora usata quale antipiretico e antireumatico. L'Olivi vuole isolarne i principi attivi e la consegna al Da Rio, il quale inizia prima di tutto ad estrarla con acqua distillata. Ma la cosa va per le lunghe più del previsto, perché la corteccia continua a colorare gli estratti acquosi, tanto che il Da Rio ad un certo momento sostituisce all'acqua distillata, l'acqua comune per ragioni di spesa.

Il Da Rio sta per sposarsi, ma «anco in mezzo a queste cose, non si dimentica del laboratorio» e siccome sta per finire il suo periodo di cassiere e deve

⁹ L. MENIS, *Elogio funebre del cavaliere Nicolò Da-Rio* [...], Padova, SICCA 1845, p. 11.

¹⁰ Vedi la voce dedicata al Dalla Bella (di U. BALDINI) nel *Dizionario biografico degli italiani*, 31, Roma 1983, pp. 773-775; M. MERRIGA, *Domenico Vandelli, vita ed opere*, in D. VANDELLI, *Saggio d'istoria naturale del lago di Como, della Valsatina e altri luoghi lombardi* (1763), Milano, Jaca Book, 1989, pp. 41-44.

¹¹ B.C.P., MS. B.P. 847.7, G. (Girolamo) POLCASTRO, *Compendio storico degli avvenimenti accaduti nella città di Padova o ad essa appartenenti sotto l'anno 1792*, p. 92 (1792, maggio 15).

¹² B.C.C., MS. 51B10, lettera del 14 dicembre 1792 all'Olivi, presso il Remondini a Bassano. Il Gibini riporta anche un passo di altra lettera del Da Rio (da Padova, 17 febbraio 1793), nella quale ricorda all'Olivi di ripensare ai suoi lavori sull'arte tintoria (dato che ora «siamo al caso di poter far quelle esperienze in quest'anno che non potean eseguirsi nel passato»). GIULI, *La geometria della natura*, p. 38.

chiudere i conti, ricorda all'Olivi che è debitore di «due rate», oltre a «ventisei lire per le esperienze sopra [la] china di salcio già eseguite». Quando si sposa, il 27 aprile 1795, il Da Rio affida l'incarico di continuare le estrazioni al fidato amico Maldura, onde liberare la cortecchia «da tutto ciò ch'è solubile in acqua».¹³

In precedenza, in seguito alla grave malattia della madre, il Da Rio ha dovuto sospendere l'attività del laboratorio. Una volta fuori pericolo la madre, il Da Rio si scusa di questa «interruzione», ma nello stesso tempo si permette con un certo orgoglio di affermare che il «buon esito [del laboratorio] dipende da lui» e da lui solo.¹⁴

Nel laboratorio Da Rio viene anche fatta l'analisi di un'aria inviata dal farmacista Giuseppe Ferretti, un lavoisiano amico di Vincenzo Dandolo e che lavora alla farmacia Mantovani, in calle Larga ove è anche il recapito dell'Olivi, quando si trova a Venezia.¹⁵

L'Olivi invia una certa «acqua» al Da Rio, che la «impregni di aria non respirabile». «Di quale aria volete che la impregni?», risponde il Da Rio; «non sapete voi che tutti li gaz fuorché l'ossigeno godono di questa bella prerogativa? e poi, supponiamo che fosse d'aria fissa, come vorreste voi trattenerla in vasi non chiusi? Per soddisfare alle vostre ricerche» — conclude il Da Rio — «mi son necessari maggiori lumi e non so ancora se potrò darvi risposta».¹⁶

Altre ricerche fatte con tutta probabilità nel laboratorio Da Rio sono quelle eseguite dall'Olivi e dal «valoroso giovane conte [Ludovico] Franco» sulla colorazione in rosso dei granchi e dei gamberi a temperatura vicina all'ebollizione dell'acqua (60° Réaumur, pari a 75° Celsius). Risulta che «l'ossigenazione [...] comunica il color rosso [ad alcuni] metalli [...] che per essa passano allo stato di [...] ossidi e che nel tempo stesso accresce il peso e l'opacità alla massa e che per l'ossigenazione ordinariamente abbisogna di un grado elevato di tempe-

¹³ B.C.C., MS. 51A71, N. Da Rio all'Olivi, Padova, 24 ottobre 1794 e 3 maggio 1795; MS 51B10, Bruggine, post 27 aprile 1795. Non è da escludere che con questi esperimenti, si volesse rompere il monopolio della costosissima china, allora saldamente tenuto dal Dandolo. GIORDANI, Vincenzo Dandolo, uno speciale illuminato della Venezia dell'ultimo '700, in «Ateneo Veneto», 175 (1988), pp. 63-70.

¹⁴ B.C.C., MS. 51A71, N. Da Rio all'Olivi, Padova, 4 ottobre 1792. Nella stessa lettera lo informa «che abbiamo perso un socio, il povero Orus», ossia Giuseppe Orus (1750-1792), dal 1773 direttore del «Collegio Zoiatrico di Padova», istituito in quell'anno dal Magistrato ai beni inculti e deputati all'agricoltura e passato nel 1779 alle dipendenze dei Riformatori allo Studio di Padova. Risulta che i cavalli del Da Rio e della contessa Caterina Polcastro sono in cura degli allievi dell'Orus e che Giambattista Polcastro, cognato della contessa Caterina e buon musicista, ha composto una *Salve Regina* il cui spartito l'Orus invia a Parma, il 22 maggio 1790, alla moglie Antonia Porta, perché lo sottoponga «al giudizio del maestro Colla». L'Orus muore improvvisamente il 27 settembre 1792. A. VEGGOTTI, B. COZZI, *La scuola di medicina veterinaria dell'Università di Padova*, Trieste, Lint, 1996, pp. 21, 71, 83, 87, 227-228.

¹⁵ B.C.C., MS. 51A71, N. Da Rio all'Olivi, Padova, 20 novembre 1791.

¹⁶ *Ibid.*, N. Da Rio all'Olivi, Padova, 5 ottobre 1791.

ratura». Risulta anche che le croste dei granchi diventano rosse quando sono «in contatto coll'ossigeno dell'aria atmosferica o dell'acqua e ad una temperatura elevata»: così i due sperimentatori sospettano «che tal cambiamento provenga dalla combinazione dell'ossigeno».

Immergendo le croste in «tre acidi a base diversa e che non hanno in comune se non l'ossigeno, ossia il principio acidificante», si ha colorazione rossa a una temperatura nettamente inferiore che nel caso dell'acqua. «Se la colorazione adunque succede per una combinazione, questa non potrà essere che coll'ossigeno».¹⁷

L'Olivi applica la nuova chimica anche alla respirazione delle piante, studiando «le relazioni intercorrenti tra la luce e le piante, tra queste e i gas, tra essi e la luce. I vegetali e segnatamente le alghe furono intesi da Olivi come dei laboratori dove si svolgevano dei processi chimici le cui cause, fasi ed effetti potevano essere spiegate attraverso la chimica lavoisieriana»: le piante in presenza di luce producono ossigeno; all'oscurità «gas acido carbonico».¹⁸ In un suo lavoro su certe alghe e sul loro movimento verso la luce, egli premette un «Piano di nuova teoria delle arie dei vegetabili», coerente con «la semplice e ben fondata teoria pneumatica che si deve particolarmente alla mano destra del signor Lavoisier».¹⁹

Quello che fa l'Olivi «nelle sue indagini sulla zoologia marina e sulla fisiologia vegetale», ha il suo parallelo nelle «ricerche di fisiologia umana» di Stefano Gallini (1756-1836), dal 1786 professore di medicina teorica all'Università di Padova. Il Gallini, che è stato in Francia ha «abbracciata la nuova chimica fin dal primo momento che uscì». Nel suo *Saggio d'osservazioni concernenti li nuovi progressi della fisica del corpo umano*, stampato a Padova nel 1792, applica allo studio del corpo umano «le conoscenze chimiche raggiunte con le ricerche condotte dal Lavoisier».²⁰

I rapporti tra l'Olivi e il Gallini sono molto amichevoli e il Gallini scrive all'Olivi di desiderare «assai» la sua presenza a Padova per poter discorrere sui

¹⁷ OLIVI, *Zoologia Adriatica*, Bassano, Remondini, 1792 [rist. anast., Conselve (PD), T&G edizioni 1995], pp. 41-43. In altre esperienze l'Olivi osserva che il muco di un mollusco, il *Buccinum echinoforum*, se riscaldato all'aria produce una «materia purpurea»: secondo lui il riscaldamento fluidifica il muco e ne consente l'ossigenazione e quindi la colorazione. GINN, *La geometria della natura*, p. 84. Il nobile padovano Ludovico Franco, educato nel Collegio dei Somaschi, studia particolarmente la chimica. Allievo dell'Avanzini, che ne propone la nomina all'Accademia Patavina, ove risulta allievo dal 1792 circa. A. MAGGIOLÒ, *I soci dell'Accademia Patavina dalla sua fondazione (1599)*, Padova, Accademia Patavina, 1983, p. 132.

¹⁸ GINN, *La geometria della natura*, p. 86.

¹⁹ *Ivi*, pp. 74-75. Il lavoro dell'Olivi (*Delle conferve trattabili e del loro movimento di progressione verso la luce. Esame fisico-chimico specialmente diretto a stabilire la vegetabilità della loro natura*), viene pubblicato nelle «Memorie di matematica e fisica della Società italiana», 6, Verona 1792, pp. 161-204.

²⁰ GINN, *La geometria della natura*, p. 36.

seguaci del flogisto, che definisce «bestie di ragionatori», che dicono «poco», «con tanta *profusione* di ciarle».²¹

Per quanto riguarda la formazione scientifica dell'Olivi si è visto essere basata all'inizio sui *Mémoires* di Lavoisier e Meusnier, pubblicati nel 1784. Quando, nel 1791, presenta la recensione del primo tomo della traduzione dandoliana del *Traité* di Lavoisier è chiaro che conosce a fondo l'opera nell'originale francese del 1789. L'asprezza delle critiche che egli rivolge al Dandolo è dovuta al fatto che l'Olivi ritiene «decisiva la battaglia fra filo e antilavoisieriani» e quindi che non bisogna lasciare nessuno «spazio agli avversari di Lavoisier», che nel Veneto sono Marco Carburì (1731-1808), a Padova, e Anton Maria Lorgna (1735-176), a Verona.

«Pertanto chi, come Dandolo, vuole diffondere il pensiero del chimico francese, deve farlo con fermezza e precisione».²²

Prima della traduzione dandoliana del *Traité*, in area veneta esistono già delle traduzioni di lavori francesi abbracciati la nuova chimica. Ad esempio, la *Méthode de nomenclature chimique* (1787) di L.B. Guyton de Morveau, A.L. Lavoisier, A.F. Fourcroy e C.L. Berthollet, tradotta nel 1790 dal farmacista veneziano Pietro Calloud:²³ è l'oggetto di un lavoro di Marco Beretta. Dirò solo che il Calloud dedica tale lavoro alla Società Veneta di Medicina, che lo nomina suo socio straordinario il 2 settembre 1791.²⁴ Il Beretta trova una lettera del Dandolo al Lavoisier, in cui lo avverte che la traduzione del Calloud è piena di errori e lamenta la mancanza delle tavole. Confrontando la traduzione del Calloud con quella che Dandolo includerà nella sua traduzione del *Traité*, il Beretta trova che il Dandolo «non fa che cambiare qualche sillaba a quella del Calloud che, tra l'altro, non gli sembra piena di errori. Significativo poi è il fatto che Dandolo decida di imitare il Calloud nel non presentare le Tavole dei caratteri chimici».²⁵

²¹ GIRSI, *Lettere di Stefano Gallini a Giuseppe Olivi (1791-1795)*, in «Quaderni per la storia dell'Università di Padova», 21 (1988), lettera n. 11; Gallini all'Olivi, Padova, 9 dicembre 1793, p. 126.

²² GIRSI, *La geometria della natura*, pp. 88-89.

²³ *Metodo di nomenclatura chimica, tradotto dal francese da Pietro Calloud, maestro speciale. Edizione prima veneta*, Venezia, L. Baseggio, 1790.

²⁴ A.S.V., *Governo, 1ª dominazione austriaca 1799*, b. 285. Sulla Società Veneta di Medicina, vedi GOBBIANI, *La farmacopea ufficiale della Serenissima nel 1790: un libro sfortunato*, in «Atti e memorie dell'Accademia Patavina di scienze, lettere ed arti», 102 (1989-90), pt. 2, pp. 110-112; *La scuola pubblica agli ex Gesuiti: un polo medico, farmaceutico e chimico-fisico nel 1794 a Venezia*, in «Atti dell'Istituto Veneto di scienze, lettere ed arti», 152 (1993-94), memorie della classe di scienze fisiche, matematiche e naturali, pp. 42-59; *Contrasti tra l'Università di Padova e il Collegio dei Medici di Venezia nel '700*, in «Quaderni per la storia dell'Università di Padova», 28 (1995), pp. 66-68, 72n.

²⁵ M. BERETTA, comunicazione privata, 25 giugno 1792. Vedi anche BERETTA, *Italian translation of the Méthode de nomenclature chimique and the Traité élémentaire de chimie: The Case of Vincenzo Dandolo*, Firenze, Istituto e Museo di storia della scienza, 1996.

L'Abbrì richiama «l'attenzione sul ruolo svolto da alcuni fortunati testi».²⁶ Nel 1792 il cefaleno Nicolò Dalla Porta (1767-1860), appena laureato in medicina a Padova, pubblica una traduzione «con annotazioni riguardanti la storia naturale e la medicina» degli *Elémens de chimie* (1790) di A. Chaptal,²⁷ «che costituiscono un fortunato manuale di chimica antiflogistica. Lo stesso Dalla Porta prepara nel 1793 un breve *Trattato elementare dei gas*».²⁸

Quale sia il libro di testo usato nel laboratorio di Nicolò Da Rio lo sappiamo da una sua lettera all'Olivi del 17 febbraio 1793: «domani principierò a dare scuola formalmente di chimica a [Giambattista] Polcastro. Preparandomi a ciò mi si va formando un libro elementare di chimica, forse non dispreggiabile del tutto».²⁹ Il 19 febbraio dopo aver scritto all'Olivi che vorrebbe andare a divertirsi, conclude: «vado al mio [destino], ossia a dar lezione di chimica».³⁰ Qualche giorno dopo interrompe le lezioni e va in campagna, ma deve aver dato all'allievo Polcastro i suoi appunti di lezione, raccomandandogli di continuare da solo, perché il fratello Gerolamo Da Rio il primo di marzo informa l'Olivi che il «Polcastro non è più un profano per la chimica. Egli si è iniziato ai suoi misteri, incomincia a balbettare con sacra riverenza i nomi di Idrogeno, d'Ossigeno e si spera assai perché vi attende con impegno».³¹

Nei suoi appunti di lezione il Da Rio aspira alla «precisione, all'ordine geometrico e alla chiarezza». Tali appunti non sono destinati «ad insegnare la chimica, ma a metter chi vi si vuol dedicare sulla strada d'impararla e a facilitare l'acquisto di quelle prime nozioni che troppo difficilmente da chi è affatto digiuno si pescano nel trattato di Lavoisier, o in altre opere di pari profondità». Il Da Rio si propone non già «d'insegnare la chimica col proprio scritto, ma di mettere a portata soltanto d'impararla sugli altrui».³²

²⁶ Abbrì, *Lavoisier e Dandolo*, p. 168.

²⁷ In una supplica ai Riformatori allo Studio di Padova, il Dalla Porta, che fruisce di un posto al Collegio greco Paleocapa di Padova (ove, oltre al vitto e alloggio, riceve sessanta ducati l'anno), chiede di potersi allontanare dal Collegio per diciotto mesi dovendo trasferirsi a Venezia, «onde assistere alla stampa intrapresa da Sebastiano Valle» della sua traduzione «di cui fino ad ora uscirono due volumi che ha l'onore di umiliare» ai Riformatori. Durante i diciotto mesi vorrebbe continuare a «godere l'utile del Collegio Paleocapa, senza il quale difficile gli riesce di poter mantenersi in questi luoghi». A.S.V., *Riformatori*, b. 501: supplica presentata il 6 giugno 1792 da Nicolò Dalla Porta.

²⁸ Abbrì, *Lavoisier e Dandolo*, p. 168. G.A. CHAPTAL, *Elementi di chimica. Tradotti dal francese e corredati di alcune aggiunte da Nicolò Dalla Porta*, Venezia, S. Valle, 1792; *Elementi di chimica [...] tradotti per la prima volta in Venezia dal francese in italiano e corredati da alcune annotazioni e aggiunte da Nicolò Dalla Porta* [...], Napoli, G.M. Poccelli, 1792. N. DALLA PORTA, *Trattato elementare dei gas*, Padova, Conzatti, 1793.

²⁹ B.C.C., MS. 51A71, N. Da Rio all'Olivi (a Chioggia), Padova, 17 febbraio 1793. Il Da Rio prosegue: «utinam la perseveranza!».

³⁰ Ivi, N. Da Rio all'Olivi (a Chioggia), Padova, 19 febbraio 1793.

³¹ Ivi, MS. 51A70, G. Da Rio all'Olivi, Padova, 1° marzo 1793.

³² [N. Da Rio], *Introduzione alla chimica*, Padova, [Seminarjo], 1798, [introduzione] n. n.;

Vorrei soffermarmi su una lettera che Nicolò Da Rio invia da Venezia il 28 maggio (?) 1792 all'Olivi, che si trova a Padova. Il Da Rio gira e rigira in Piazza S. Marco, va a feste e a teatri e vorrebbe avere qualche facile amore, ma è trattenuto dalla paura di buscarsi qualche malattia venerea. Ecco come descrive la sua situazione, usando la terminologia lavoisiana.

«Chi avesse una dose sufficiente d'amorico ridotto in istato gazooso da un po' d'ossigeno metafisico starebbe meglio, ma in Venezia non si trova che la base dell'amorico bene spesso combinato con qualche altro più tristo principio, il quale non amo che entro di me si decomponga».³³

Torniamo sulle lettere che Nicolò Da Rio scrive all'Olivi il 17 e il 19 febbraio 1793. Quando, il 18 febbraio, incomincia ad insegnare la chimica al Polcastro, egli non ha ancora ventotto anni, il suo allievo ne ha ventisei e l'Olivi ventiquattro. Il Da Rio passa un momento di malinconia, non ha nemmeno voglia di innamorarsi. Si sfoga con l'Olivi sulla mancanza in lui di febbre amorosa. «Io ne son libero» — egli scrive — «quantunque forse io amerei di farmene l'innesto, s'io sapessi in questi paesi dove trovare il miasma. Mi sembra ch'esso potrebbe fare l'effetto dell'ossigeno che rende i corpi acidi cioè capaci d'azione e dotati di molta forza. Un animo ossigenato a questa foggia mi sembra più capace di combinazione, che non un animo a base semplice».³⁴

Quanto al conte Ludovico Franco, che collabora con l'Olivi sugli esperimenti con i granchi e che nel marzo del 1795, in una conferenza «su la materia elettrica», dimostra «che colla sola chimica si arriverà a conoscere la vera

p. 75. Inviando una copia del suo «libretto» a Giovanni Fabroni, così scrive: «è questo ben piccola cosa e talmente piccola che non ci ho messo neppure il mio nome. Io non ho avuto altro in vista facendolo che di soddisfare alle ricerche d'alcuni amici che frequentano il mio laboratorio: l'ho dato alle stampe per risparmiar ed a me e ad altri la noia di trascriverlo». Assai, *Il misterioso «spiritus salis». Le ricerche di elettrochimica nella Toscana Napoleonica*, in «Nuncius, Annali di storia della scienza», 2 (1987), fasc. 2, p. 77 (Istituto e Museo di storia della scienza, Firenze). «Vollì il Polcastro a mio maestro nell'agriosensua, ed ei me ne apprese i teorici principi, che quelli soli a me bastava di conoscere: io quasi a ricambio gli insegnai la chimica, e fu per lui ch'io dettai quel libretto elementare di questa scienza, che tanto venne favorevolmente accolto dal pubblico, non per la copia de' fatti e delle dottrine, ma per la chiarezza e l'ordine, con cui fu scritto». Da Rio, *Neologio del conte Giambattista Polcastro*, in «Giornale dell'italiana letteratura», s. II, t. 14 (1817), p. 326. L'indicazione che è stato stampato «con i tipi del Seminario» («per sottoporre alla memoria non semper pronta e sicura de' suoi allievi»), in L. MININ, *Elogio funebre del cavaliere Nicolò Da-Rio*, p. 11.

³³ B.C.C., MS. 51A71, N. Da Rio all'Olivi, Venezia, 28 maggio (?) 1792.

³⁴ Ivi, N. Da Rio all'Olivi (a Chioggia), Padova, 19 febbraio 1793 (?). In altra lettera all'Olivi, lo informa che sua madre sta molto meglio e così può riprendere le sue occupazioni chimiche: «Lavoisier è già spacciato. Morveau e Chaptal mi tratteranno que' momenti che il mio ispettorato non m'obbliga al laboratorio» (il laboratorio era presieduto da tre ispettori, che a turno lo sorvegliavano). L'Olivi gli deve aver riferito delle sue «avventure galanti» e il Da Rio gli risponde: «io ne avrei proprio bisogno, poiché [...] il mio cuore è ozioso; è troppo, ci vuole che il nitrato, l'ossigeno e l'idrogeno possano supplire all'amorico». Ivi, senza data e luogo.

natura», egli fa parte di quel gruppo di fidanzati «filochimici» che però non giungono al matrimonio o non sposano la promessa. La contessina Caterina Papafava, una delle più belle donne di Padova, fidanzata di Nicolò Da Rio, sposerà il 26 settembre 1795 Girolamo Polcastro. La marchesina Anna Da Lazara, fidanzata del conte Ludovico Franco, va sposa il 27 aprile dello stesso anno a Nicolò Da Rio. Ludovico Franco, rimasto al palo, s'innamora di una prima ballerina «milanese», che fa la stagione a Padova. Ne è tanto preso, che la sera del 3 novembre 1795, fa lanciare dal loggione del teatro «50 colombini, degli uccelletti e una pioggia di composizioni poetiche».³⁵

Ma «gagliardi venti di guerra [...] spiranti da quell'incredibile laboratorio ch'è allora la Francia, ove tutto è possibile e ben poco prevedibile», investono l'Italia nel 1795. Anche se, «nella primavera del 1796 gli eserciti del Bonaparte giungono nella Padania»,³⁶ a Venezia si confida nella pace che, alla fine del '96, sembra a portata di mano. Ma nei primi mesi del '97 tutto cambia e i francesi entrano in Padova il 28 aprile: il professor Stefano Gallini, Girolamo Polcastro e i fratelli Nicolò e Girolamo Da Rio diventano membri della Municipalità.

Troppo occupato dalla politica, Nicolò Da Rio chiude il laboratorio, ma Giambattista Polcastro ne costruisce uno a casa sua, corredandolo dei «migliori apparecchi».³⁷

³⁵ G. GENNARI, *Notizie giornaliere di quanto avvenne specialmente in Padova dall'anno 1739 all'anno 1800* (a cura di L. Olivato), 2, Padova, Rebellato 1984, pp. 769, 823, 830, 861. «Ella aspira a farsi sposare da lui» — continua il Gennari — «e temesi che ciò per avventura non possa succedere». *Ivi*.

³⁶ G. GULIANO, *La Repubblica di Venezia alla vigilia della caduta*, in *Dai dogi agli imperatori. La fine della Repubblica tra storia e mito*, Milano, Electa, 1997, p. 15.

³⁷ Da Rio, *Necrologio*, p. 327. Il Polcastro già il 20 dicembre 1796 fa una comunicazione all'Accademia di Padova (G.B. POLCASTRO, G. MALCAGNANI, *Analisi ragionata delle acque amare purganti di Boemia fatta in Padova nel mese di settembre 1798*, B.C.P., MS. C. M. 649 III). GENNARI, *Notizie*, 2, p. 1030. Sono noti tre suoi lavori a stampa, la *Memoira sullo stato attuale dell'areometria con la descrizione di un areometro nuovo*, Padova, Penada, 1805; sul *Nuovo acciaio pneumatico di sua invenzione* (s.n.l., ma del 1807); già «inserito nel Giornale di Padova dell'ottobre 1806». G. DANIELO, *La caduta della Repubblica di Venezia... Appendice*, Venezia 1857, pp. 38-39. È una «elegantissima e comodissima macchinetta, con cui ad un solo girar di grilletto, che si può fare all'oscuro ed a tentoni, tu hai lucida fiammella d'idrogeno, alla quale si può accendere la candela, senza che ode d'esca, di zolfo o di fosforo ti sia molesto». Da Rio, *Necrologio*, p. 327. Aiuta il Dal Negro nei suoi esperimenti di elettrolisi (S. DAL NEGRO, *Dell'elettrocristallo idro-metallico*, Padova, Conzatti, 1802. Vedi anche «Giornale dell'italiana letteratura», 2 (1802), pp. 121-129). Ripete gli esperimenti di Francesco Pacchiani che, nel luglio del 1805, pretende di aver decomposto con la pila di Volta l'acqua, sottraendole l'ossigeno e trasformandola in acido muriatico ossigenato. In precedenza (giugno 1805) il Pacchiani pretende di ottenere per elettrolisi dell'acqua (in altre condizioni sperimentali) dell'acido muriatico, «che deve essere perciò considerato un ossido d'idrogeno». Nell'agosto, il Da Rio annuncia a Fabbrioni che il Polcastro ha visto «bernisimo gli indizi della produzione dell'acido muriatico [e] si prepara a ripetere gli esperimenti con una colonna di maggior forza onde assi-

Il 2 maggio 1797 arriva a Padova un giovane francese cultore di chimica. Ha ventotto anni, la stessa età dell'Olivì. Pranza a casa di Girolamo Polcastro e poi discorre di chimica col fratello del padrone di casa, il trentense Giambattista.³⁸ Mi domando quanto tempo abbia a disposizione per la chimica questo filochimico francese che è Napoleone, generale in capo dell'armata d'Italia. Spesso chiede nozioni di chimica al Berthollet (1741-1822) che, assieme al Monge, ha avuto dal Direttorio l'incarico di requisire in Italia opere d'arte, edizioni rare, manoscritti e collezioni scientifiche (ad esempio, a Pavia, viene requisita e inviata a Parigi la collezione dello Spallanzani).³⁹

Nel frattempo, anche Venezia ha la sua Municipalità dal 12 maggio e Vincenzo Dandolo ne è forse il personaggio più rappresentativo.

A Campoformio, ove si decidono le sorti di Venezia, possiamo rilevare una altissima concentrazione di chimici: Napoleone, il Dandolo e il Berthollet.

curarsi della produzione di acido muriatico, non già semplice ma ossigenato». ANNI, *Il misterioso «spiritus salis»*, pp. 74-75, 77, 85. Il Polcastro pubblicherà poi nel «Giornale dell'italiana letteratura» (1805, 10, pp. 185-189) le *Notizie sopra la conversione ottenuta [...] dell'acqua in acido muriatico, per mezzo del fluido galvanico o idrometallico*.

³⁸ B.C.P., MS. B.P. 1016, XIII, G. POLCASTRO, *Memorie per servire alla vita civile e politica d'un Padovano* (riportato anche in L. REZZOLI, *Napoleone Bonaparte a Palazzo Polcastro tra De Benedetti (Padova, 2 maggio 1797)*, Padova, Società Cooperativa Tipografica, 1930, p. 14. L'Olivì, nato nel 1769 (come Napoleone), è già morto da due anni. Inutili i suoi tentativi di ottenere il posto di soprintendente alle arti nel 1791, la cattedra di botanica all'Università di Padova nel 1793, quella di storia naturale nel 1794, quella di fisica nel 1795. In quest'ultimo anno si apre la successione per la soprintendenza all'agricoltura, vacante dal 21 marzo 1795, per la morte di Giovanni Arduino. Mentre la commissione incaricata di valutare i lavori dei concorrenti, è concorde nel suggerire la nomina dell'Olivì, questi muore il 24 agosto successivo, a poco più di ventisei anni. GIORMANI, 1793-1795: *la breve stagione concorsuale di Giuseppe Olivì tra Padova e Venezia*, in «Studi veneziani», n. s., 30 (1995), pp. 269-318.

³⁹ Da Pavia, i francesi «potevano portar via ciò che loro fosse piaciuto». Ma il Berthollet vuole solo che la Francia si avvantaggi delle ricerche mineralogiche dello Spallanzani e così non requisisce che i doppioni, «de manière que Pavia n'éprouvât pas des privations, et que Paris fit une acquisition d'autant plus précieuse, que chaque pièce sera décorée de votre nom»: così egli scrive allo Spallanzani. LEOPOLDO M.A. CALDANI-LAZZARO Spallanzani, *Carteggio (1768-1798)*, a cura di Giuseppe Ongaro, Milano, Istituto Editoriale Cisalpino-La Goliardica, 1982, pp. 313-315. Nicolò Spallanzani, fratello di Lazzaro (che muore a Pavia l'11 febbraio 1799) venderà la «privata collezione» per 24000 zecchini alla Municipalità di Reggio, che lo paga «con una tenuta di egual valore», facente parte dei requisiti «beni nazionali». *Ivi*, pp. 343, 345-346.

APPENDICE

I filochimici padovani sono tutti giovani, tranne il Dalla Bella, loro presidente. Ho raccolto in tabella le età dei seguaci delle nuove idee assieme a quelle di altri che mantengono le teorie già consolidate, quando — nel 1789, a quarantasei anni — Lavoisier pubblica il *Traité élémentaire de chimie*. L'asterisco contraddistingue gli appartenenti alla seconda categoria.

*85	G. ARDUINO	(1714-1795)
60	L. SPALLANZANI	(1729-1799)
59	G. DALLA BELLA	(1730-1823)
*58	H. CAVENDISH	(1731-1810)
*58	M. CARBURI	(1731-1808)
*56	J. PRIESTLEY	(1733-1808)
56	G. TOMMASELLI	(1733-1818)
*54	A.M. LORGNA	(1735-1796)
52	L. GUYTON de MORVEAU	(1737-1816)
*50	E. PINI	(1739-1825)
48	A. FORTIS	(1741-1803)
*44	A. VOLTA	(1745-1827)
41	C.L. BERTHOLLET	(1748-1822)
39	G. ORUS	(1750-1792)
35	G. COMPAGNONI	(1754-1833)
34	A.F. FOURCROY	(1755-1809)
34	P. CALLOUD	(1755-1809)
33	S. GALLINI	(1756-1836)
32	F. AGLIETTI	(1757-1836)
31	V. DANDOLO	(1758-1819)
31	S. MANDRUZZATO	(1758-1837)
30	S.A. RENIER	(1759-1830)
28	G.A. GIOBERT	(1761-1834)
27	F. ARMANO	(1762-1817)
24	N. DA RIO	(1765-1845)
24	D. GALVANI	(1765-1848)
22	G.B. POLCASTRO	(1767-1813)
22	N. DALLA PORTA	(1767-1860)
20	N. BONAPARTE	(1769-1821)
20	G. OLIVI	(1769-1795)
20	G. FEDERIGO	(1769-1840)

19 G. INNOCENTE/I	(1770-1839)
19 F. DUPRE'	(1770-1838)
18 D. DEGLI ODDI	(1771-1854)

Sulla scelta del sistema chimico in dipendenza dell'età dello studioso, vedi F. MAINARDI, *Saggio fisico-chimico*, Milano 1794 e il riassunto, siglato D.G.C., nel «NUOVO giornale enciclopedico d'Italia», 7 (novembre 1794), pp. 70-75. «Toute la jeunesse adopte la nouvelle théorie» — scriverà Lavoisier a Chaptal nel 1791 — «et j'en conclus que la révolution est faite en chimie». E. GREMAUX, *Lavoisier, 1793-94*, Paris 1896², p. 126.

Lavoisier and the Young Chemists

Summary. The young chemists' aspect of Lavoisier's scientific activity is approached in an historical perspective in two sections: 1789 and 1795. In the first part of his first experiment on animal chemistry, Lavoisier revealed the primary steps of what followed from the first law of thermodynamics, which established that heat is not created but is transformed in the burning of substances of definite composition in the weight of the products of the reaction, one year before Gay-Lussac's law.

Lavoisier had some controversy about chemistry's new theories. General Belletton de Lamoignon's ideas and Berthollet's weight theory, in his writings.

The first of the theoretical discussions was not to find out the chemical composition of things, but to determine the principle underlying the chemical elements and, in a wider sense, of the heat. The first result upon the chemical composition of the heat, the heat theory, was obtained in the second experiment by Lavoisier in the first laboratory of the *Académie des Sciences* in 1789. In 1795, Lavoisier demonstrated the conservation of mass in the combustion, not in a quantitative sense, but in a fully qualitative manner in the experiments, which found a second balance after the reaction had not the same composition, but in the same heat, and perfect equilibrium for the

The study of Lavoisier's scientific activity was to find a certain and successful experimental way to the scientific method after the theoretical part of time. Before that, the scientific method was almost the opposite of the first law of thermodynamics.

The scientific method, as has been pointed out, was the first scientific method of the modern world and provided an exact, clear, light, systematic, systematic way and the first scientific method of the modern world.

Abstract. Nella discussione del rapporto gravitazionale sono stati considerati alcuni esperimenti con il risultato della prima e della terza legge della termodinamica. Il fine di questa ricerca era di stabilire la prima legge della termodinamica.

¹ Cf. "Lavoisier e Berthollet" in *Atti del Simposio M. della Società Chimica Italiana*, Roma, 1970.

² The English translation of "The Chemical Revolution of a French Revolution" by G. Gremaux, Paris, 1961.

RAFFAELLA SELIGARDI (*)

Luigi Galvani e la chimica del Settecento (**)

Luigi Galvani and 18th-Century chemistry.

Summary - An almost unknown aspect of Luigi Galvani's scientific activity is represented by his chemical researches on airs. Between 1783 and 1788, i.e. in the same years of his first experiments on animal electricity, Galvani studied the different kinds of gases extracted from solid (muscles, nerves, etc.) and fluid (blood, milk, bile, etc.) animal parts. In these years he presented to the Academy of Science of Bologna 6 memoirs on this subject, the manuscripts of which are now kept in the Academy Archives.

Even if he knew something about Lavoisier's new theories, Galvani followed the phlogiston theory and frequently quoted Priestley in his writings.

The aim of these chemical researches was not to find out the chemical composition of living bodies, but to investigate the principles responsible for muscular motion and, in a wider sense, of life itself. Galvani relied upon the researches of the Italian physiologist Michele Rosa, who followed the theories exposed by Scheele in his *Traité chimique de l'air et du feu*, 1781 (original in German, 1777). In Rosa's and Galvani's views, the concept of «aether» was fundamental, not in a Newtonian sense, but as a subtle principle analogue to the inflammable principle found in animal bodies (that for Galvani was not the same as phlogiston) and to the electric fluid, and perhaps responsible for life.

The study of Galvani's manuscripts shows that he was a careful and meticulous experimenter, but not an original scientist from the theoretical point of view. Galvani used chemistry as a tool, as a discipline upon which he based his physiological concepts.

The chemistry of principles, in fact, provided Galvani with likely analogies between the various fluids that pervaded the world (heat, light, phlogiston, electricity, etc.) and the fluids belonging specifically to the living bodies.

Avvertenza. Nella trascrizione dei manoscritti galvaniani sono state apportate alcune modifiche non sostanziali alla grafia e alla punteggiatura, al fine di rendere più scorrevole la lettura del testo.

(*) CIS - Università di Bologna, via Zamboni 31, 40126 Bologna, Italia.

e-mail: seliga@alma.unibo.it

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

INTRODUZIONE

Tra i manoscritti galvaniani conservati all'Accademia delle Scienze di Bologna restano sia note di laboratorio che un abbozzo di trattato sistematico riguardante la quantità e qualità dell'aria estratta dalle varie parti animali, solide e fluide. Galvani compì queste ricerche nel corso degli anni '80, soprattutto nella prima metà; dunque cercheremo di verificare se esse furono in qualche modo in relazione ai suoi studi, risalenti allo stesso periodo, sull'elettricità animale, e che portarono, nel 1791, alla pubblicazione del famoso *De viribus electricitatis in motu musculari Commentarius*.

LE MACCHINE

Per i suoi esperimenti Galvani utilizzò un apparato progettato da uno speciale originario di Bassano del Grappa morto circa nel 1790,¹ Francesco Viero, e costruiti dal «valente Macchinista Bolognese»² Antonio Farioli. Viero pubblicò la descrizione e le tavole dei suoi apparati nel 1788 a Bologna, affermando che

avendo esse [le macchine] avuta la sorte d'esser vedute da varj eccellenti Professori si bolognesi, come esteri, hanno avuta anche la fortuna di riportare la loro approvazione. Mi reco ad onore di poter tra questi nominare il Sig. Conte Morozzo Vicepresidente della R. Accad. delle Scienze di Torino, e il P. Stella celebre Professore di Fisica in Udine; e tra' Bolognesi i Signori Dottori Pozzi, Verani, Azzoguidi, Galvani, Gentili, Brunelli, Marchetti, nomi ben noti anche fuori Bologna: alcuni de' quali Soggetti m'hanno anche fatto aver la compiacenza d'impiegar queste mie macchine in loro servizio, quando hanno avuto occasione di estrarre da alcuni corpi i principj aeriformi, e di esaminare la loro indole, e le loro qualità.³

Le macchine di Viero servivano ad estrarre l'aria dai corpi liquidi per mezzo del fuoco e della congelazione, e dai corpi solidi per mezzo del fuoco. Viero descriveva poi un metodo per saturare l'acqua di aria fissa, sulla scia di ciò che avevano pubblicato Priestley e Sigaud de la Fond⁴ in merito, e un eudiometro ad aria nitrosa.

¹ Ringrazio il prof. Virgilio Giormani, che mi ha fornito alcune indicazioni biografiche su Viero.

² VIERO, FRANCESCO, *Descrizione d'un apparecchio di macchine per cavare e maneggiare le arie generalmente dette fisse*, Bologna, Istituto delle Scienze, 1788, p. 6.

³ *Ibidem*.

⁴ PRIESTLEY, JOSEPH, «Manière d'imprégner l'Eau d'air fixe, et de lui communiquer les propriétés de l'eau de Pyrmont, et de toutes les Eaux minérales, qui sont connues sous le nom d'Acidules ou Aériennes», in *Observations sur la Physique*, Agosto 1772, pp. 323-331; SIGAUD DE LA FOND, JOSEPH ARNAN, *Essai sur différentes espèces d'air fixe*, Paris, Gueffier, 1785 (nuova ed.); *Id.*, *Description et usage d'un cabinet de physique expérimentale*, Paris, Gueffier, 1784 (2 ed.). Queste opere erano presenti nella biblioteca dell'Istituto delle Scienze di Bologna.

Nei manoscritti galvaniani troviamo la seguente precisazione riguardo all'apparato di Viero:

Questo apparecchio è differente da quello di Priestley [sic] nella materia dei tubi ne' quali si pongono le sostanze, e ne' recipienti, ove raccogliessi l'aria.

In quello di Priestley, i tubi sono metallici, e di conseguenza non immuni dal sospetto di potere somministrare materie flogistiche, infiammabili, le quali poi falsamente potessero attribuirsi alle sostanze esaminate. In questo, i tubi essendo di terra cotta, da un tale sospetto è immune, o almeno non ad esso sottoposti come in quello. [...]

Nell'apparecchio da me usato, allo incontro, i recipienti, come ho esposto, sono vasi di vetro, l'apertura de' quali puossi, ad arbitrio, e chiudere, ed aprire, e quindi quella quantità che piace raccorre, o espellerne.⁷

GALVANI E LA CHIMICA DELLE ARIE

Parallelamente alle ricerche del professore di fisica all'Istituto delle Scienze di Bologna Giuseppe Veratti (1707-1793), Luigi Galvani si propose di rintracciare le arie nelle varie parti animali: mentre a Veratti interessava l'aria fissa nel senso «classico» di CO₂, a Galvani interessava l'aria fissa, cioè fissata nei corpi, ma di tipo infiammabile (CH₄ o H₂). Galvani tra il 1783 e il 1787 ripeté gli esperimenti di Joseph Priestley, ai quali ne aggiunse di originali.

Galvani nutriva un grande interesse per la chimica: nella sua biblioteca personale, forte di circa 340 titoli, una cinquantina erano di chimica o di argomenti relativi ad essa, tra i quali segnaliamo le opere di Antoine Baumé, Tobern Bergman, Antoine François Fourcroy, Stephen Hales e Carl Wilhelm Scheele, nonché la traduzione di Vincenzo Dandolo del *Traité élémentaire de chimie* di Antoine Laurent Lavoisier. Inoltre erano presenti opere a carattere locale, come, per esempio, la memoria stampata anonima dal bolognese Ferdinando Bassi, *Delle terme Porrettane*, nel 1768, e qualche opera di materia medica e di farmacia.⁸

Questo dimostra che Galvani era molto interessato alla chimica e anche abbastanza aggiornato; tuttavia non adottò mai le nuove teorie chimiche di Lavoisier e tantomeno la nuova nomenclatura.⁹ Le ricerche degli anni '80, dunque, sono tutte inquadrare nella cornice di riferimento della teoria del flogi-

⁷ MSS Galvani, Cart. I, plico I, C, Cap. 2°: *Dell'apparecchio, e metodo usato per estrar col fuoco l'aria fissa dalle varie parti animali, sua utilità, e forza*, ff. 3-4.

⁸ BRESADOLA, MARCO, «La biblioteca di Luigi Galvani», in *Annali di storia della università italiana*, vol. 1, 1997, pp. 167-197. Ringrazio il dott. Bresadola che ha portato la mia attenzione sui manoscritti chimici di Galvani e col quale ho avuto un proficuo scambio di opinioni.

⁹ Si legga per esempio la Memoria presentata all'Accademia da Galvani il 27 aprile 1797 sopra l'azione delle metali nel corpo animale: GALVANI, LUIGI, «Copia della dissertazione letta all'Accademia (...) nella sessione del 27 Aprile 1797 il cui autografo donato dal prof. Gherardi si conserva in Anti», in *Memorie della Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna*, serie II, vol. X, 1870, pp. 478-482.

sto, con frequenti citazioni da Priestley. La sua opera non compare nella biblioteca privata di Galvani; tuttavia essa era presente nella biblioteca dell'Istituto; inoltre varie memorie di Priestley venivano pubblicate nelle *Observations sur la physique*, edite a Parigi dall'Abate Rozier, e in italiano sugli *Opuscoli scelti sulle scienze e sulle arti*, che Galvani possedeva.

I TESTI

A. Il «trattato» sulle arie

Si compone di 8 capitoli. Il primo contiene le definizioni di cosa Galvani intenda per aria fissa.

Per aria io intendo un fluido sottile trasparente, asciutto, costantemente elastico, con cui si uniscono, si legano, e si amalgamano gl'altri fluidi e principi sottili.

Un tale fluido esiste in nella atmosfera, di cui sembra riempire la massima parte, che in tutti i corpi.

Nell'atmosfera sembra riempire nella massima parte; è atto alla respirazione, ed alla vita della fiamma; i vari principi e fluidi che ha seco legati sono inseribili [alla respirazione].

In tale stato io lo chiamo aria atmosferica.

Ne' corpi poi, o egli è ospitante solo ne' pori, e nell'uscita da medesimi seco non trae principio alcuno che sensibilmente si manifesti, e resta egualmente atto alla respirazione ed alla fiamma che quello che è nell'atmosfera, e lo chiamo parimenti aria atmosferica, o egli è legato alle minime loro parti componenti e nello svolgersi da medesimi seco conduce qualche principio che sensibilmente si manifesta; se è più egualmente atto alla respirazione ed alla fiamma che quello, che è nell'atmosfera, ed allora per distinguere lo chiamo aria fissa, coi fisici, prendendo la denominazione dallo stato in cui essa [è] ne corpi.

Tali principi poi, che seco reca l'aria fissa nello svilupparsi dai corpi e che sensibilmente in lei si manifestano, e [che] le tolgono l'essere egualmente atta alla respirazione ed alla fiamma che l'aria atmosferica, sono vari. I più tra questi sono un acido, e questo di varie specie, il flogisto, un principio infiammabile.

Giusta la varietà dei principi ella può chiamarsi aria fissa acida, aria fissa flogisticata, aria fissa infiammabile, o pure lasciandovi il nome generico, che già manifestando essa tali principi ci si sottintende, per maggior comodo, e brevità, chiamarla solo acida, flogisticata, infiammabile.

L'attività poi alla respirazione [e] alla fiamma può nell'aria fissa derivare da quella atmosferica o per difetto, cioè assai meno sostenendo la respirazione, e la fiamma che l'aria atmosferica, o per niuna maniera sostenendola, e tali sono le accennate arie, o per eccesso, cioè sostenendo la respirazione, e la fiamma assai più lungo tempo che l'aria atmosferica, e tale si è quell'aria che chiamano i fisici deflogisticata.

[...] L'aria adunque fissa in cui si manifesta un acido, e questi vitriolico, quella sola si è che i fisici chiamano aria fissa, trovandosi quasi costantemente in tutte le arie sviluppate dai corpi questo principio acido, che secondo loro è l'acido universale dominante, cioè l'acido vitriolico.

Io non ripugno questo, che si ritenga questo nome, e sono ben lontano dal voler introdurre oscurità e difficoltà colla mutazione dei nomi in una materia tanto di parte medesima oscura, e difficile, ma tutta volta parrebbermi che fosse più acconcio il servirmi

del nome d'aria fissa nel senso generico da me esposto, che del nome poi specifico, giusta il principio che trovasi, così dirò, eminente nella d.a aria; e siccome chiamano i fisici aria nitrosa quella in cui singolarmente esubera l'acido nitroso, perché non potrebbesi similmente a quella in cui il dominante è l'acido vitriolico donare non il nome generico d'aria fissa, che può competere a tutte l'altre arie, ma piuttosto quello di vetriolica (?) A me sembra che la cosa di questa maniera procedesse con maggior ordine, chiarezza, e forse più giusta, ritrovandosi alcune specie d'aria fissa, come per esempio l'alkalina, la deflogisticata nelle quali o niun acido, od appena appena sensibile si ravvisa.

[...] Comunque però vogliansi denominare le arie acide, sembra a mio credere troppo necessario il nome generico d'aria fissa, che sotto di sé comprende l'aria qualunque, che prima fissata, e legata, si ritrova nei corpi, poi per altri mezzi se ne sviluppa, qualunque siano i principi che ella contiene.⁸

Espono poi le caratteristiche delle varie arie:

- 1) aria acida generica (CO_2);
- 2) aria nitrosa (NO_2);
- 3) aria flogisticata (N_2):

ha seco un principio dominante, chiamato flogisto, il quale, qualunque sia, la rende insalubre alla respirazione, alla fiamma, e all'essere assorbita dall'aria nitrosa.

[...] Ella si forma unendo all'aria atmosferica il principio chiamato flogisto naturalmente, come, per esempio, nella respirazione; artificialmente, come colla fiamma, colla bragia, col fegato di zolfo tenuti entro di un dato volume di aria racchiusa, colla scintilla elettrica applicata alle calce metalliche entro parimenti dato volume d'aria racchiusa.

[...] Questo principio adunque sembra quegli che singolarmente toglia all'aria perspirabilità, e in conseguenza quella parte di salubrità della medesima che dipende dalla perspirabilità che sembra certo la maggiore, ma viene anche vie più dichiarato questo tale principio per rapitore della perspirabilità dell'aria.⁹

- 4) aria deflogisticata (O_2):

Se dunque questo principio qualunque detto flogisto è quegli che toglie all'aria la perspirabilità, ne viene, per conseguenza, che ove l'aria ne sia o priva affatto o ne abbia assai meno che l'aria atmosferica, ella sarà più perspirabile, e più salubre di essa atmosferica. Tale aria chiamasi deflogisticata, la quale in conseguenza sembra altro non essere, che un'aria più pura, e più priva di questo principio, detto flogisto, che l'atmosferica.

Una tal aria si sviluppa, e si espelle naturalmente dalle piante; si trae dal residuo della calce metallica, da cui l'aria nitrosa si è estratta, e dalla terra cotta, e dal foco solo fusi passando per certi corpi.¹⁰

- 5) aria infiammabile (H_2 o CH_4).

⁸ MSS Galvani, Cart. I, plico I, B, Cap. 1°: *Dell'aria atmosferica dell'aria fissa e sue varie specie*, ff. 1-9.

⁹ *Ibidem*, f. 15.

¹⁰ *Ibidem*, f. 14.

Galvani esaminò le arie estratte dall'apparato di Viero vuoto, come controllo, e si pose il problema se i principi contenuti in queste arie fossero forniti dal fuoco, o dai recipienti. A tale scopo Viero e Farioli, sotto la direzione di Sebastiano Canterzani, segretario e professore di fisica sperimentale all'Istituto, fecero l'esperimento usando un tubo di vetro invece che uno di terracotta.

Galvani espose i risultati concludendo con un brano che merita di essere riportato estesamente:

Da questo esperimento sembra potersene dedurre che il fuoco somministra un principio volatile tenuissimo, che si lega(to) [sic] con un acido finissimo e coll'aria pura, e libera da ogn'altro straniero principio, passa pei pori dei corpi, e fino per quelli di vetro, e che quindi forse le molte bolle d'aria, che veggiamo estricarsi dai fluidi, che bollono, non appartenghino tutte ai medesimi, ma in gran parte al detto principio, legato agl'altri due, cioè all'acido finissimo, e all'aria purissima.

Se tale raziocinio e tal congettura è giusta, ne verrà per conseguenza che il principio qualunque, che rende l'aria fissa, estratta per mezzo del fuoco col proposto metodo, flogisticata, apparterrà alle sostanze collocate nei tubi, e che alle medesime pure spetterà quel principio qualunque che la rende infiammabile.

[...] Or questi perché esser non potrebbe quel medesimo tenuissimo principio che congiunto all'acido ed all'aria pura finissima costituisce l'aria deflogisticata, il quale legato a quella parte più fina formasse il flogisto, e ne costituisse i caratteri, e perché in piccola copia essendo tenui, e in conseguenza non atte a riceverne molta, le particole della sostanza oleosa separandosi dalle medesime, non costituisca alcuna luce, né fiamma; né accensione, non dovendo usare una gran forza per depurarsene, e quindi non producendo che un piccol moto intestino, e vibratorio, inetto ad eccitare la luce (sensazione) e molto meno a produrre l'accensione e la fiamma [?]. Perché il medesimo principio altresì legato alle parti oleose più crasse, in maggior copia, appunto perché più crasse, ed in conseguenza più ricche di materia atta a trattenere un maggior numero delle minime sue parti, ello perché, dissì, il medesimo principio in maggior copia con più impeto, e forza, alle dette parti crasse unito, si separasse dalle dette medesime, non potrebbe eccitare quel moto intestino e vibratorio (veemenza) che sembra atto a produrre nonché luce, ma e l'accensione, e la fiamma [?].

[...] Ma quale sarà questo principio sottilissimo somministrato dal fuoco, io sono ben lontano dal poterlo conoscere. Ma perché non potrebbe egli essere un solo principio, tenuissimo sparso per l'universo il quale secondo che differentemente è combinato formi il fuoco attuale, l'elettrico, la luce, il calore [?]. Questo si voglia chiamarsi etere, per indicare un principio solo, sottilissimo, cattolico, [s]parso per tutto l'universo, io non ripugno punto.

Ma qualunque sia e qualunque voglia chiamarsi questo principio, che congiunto a parti oleose tenui produca il flogisto, congiunto a parti oleose crasse il principio infiammabile, sembra che, acciò [che] ed una tale unione, ed i fenomeni dipendenti dalla detta si abbiano, sia necessario vi concorra anche l'aria come un componente ed un comune vincolo di tutti questi principi.

Stabiliti questi principi, e stabilite quelle varie combinazioni e del d.o principio, o se dir vogliamo dell'etere, e dell'aria, ecco una idea nuova ma, se non erro, più chiara e meno ipotetica dell'aria deflogisticata, flogisticata, infiammabile.

La deflogisticata adunque sarà un fluido sottilissimo composto d'etere, d'aria purissima, di acido.

Flogisticata un fluido sottilissimo composto d'etere, di aria, di acido, e di parti tenui oleose.

Infiammabile un fluido sottilissimo composto di etere, aria, acido, e di parti oleose più crasse.

Ma lasciamo da parte queste ipotesi.¹¹

Galvani quindi passa a esaminare le arie estratte da: latte, sangue bovino, sangue umano «naturalmente densato», sangue umano essiccato a calore di stufa, sangue umano tratto dalla vena e cotto immediatamente nell'acqua bollente, «muco o cotenna del sangue», siero del sangue umano, «pinguedine», bile, saliva, seme, albume d'uovo, torlo, orina, e sterco.

Le analisi sono standard: la sostanza di partenza viene presa sempre nella quantità di tre dramme; si analizzano poi qualitativamente:

- la quantità e il tipo di vapori (forza e colore) che si sprigionano, durante l'estrazione dell'aria dalla sostanza, all'interno della campana di vetro;
- la proprietà o meno da parte delle arie estratte di virare il tornasole, e l'intensità con cui lo fanno;
- la proprietà o meno di estinguere la fiamma e la prontezza con cui ciò avviene;
- l'infiammabilità, e il tipo di fiamma prodotta (forza e colore);
- la solubilità in acqua e le proprietà dell'aria residua dopo l'assorbimento;
- infine viene pesato e analizzato il capo morto, cioè il residuo solido (si cerca di stabilire quali tipi di terre contenga).

Non viene fatta la prova della precipitazione dell'acqua di calce.

Per quanto riguarda i fluidi animali, Galvani fu particolarmente stupito dalla differenza di risultati tra torlo e albume dell'uovo di gallina. L'aria del torlo risultava essere molto più infiammabile, il che fece scrivere a Galvani:

[...] sembra [...] esservi nell'aria del torlo d'ovo una materia più fina, più volatile, diò così, più eterea, che in tutti gl'umori fin qui esaminati, e che nell'albume medesimo, e se così è sarà verosimile che l'albume dell'ovo somministrerà bensì all'embrione la prima mucosa materia animale, atta a formare le sue parti solide, ma non la parte spiritosa e volatile la quale sembra, posta la verità delle accennate congetture, ed attesi i nostri esperimenti, venirla all'embrione singolarmente dal torlo d'ovo.

Nasce forse egli di qui la ragione per cui a rinvigorirci languidi o a rinforzarci infermi tanto giovano i rossi d'ova, sì poco l'albume. Così pure dissì più fina e più attiva cioè più insinuante, perché composta delle dette parti («più sottili, più omogenee meno flogistiche»), e in conseguenza più ricca, in una data massa, di parti di quel tenuissimo attivissimo principio universale, da noi chiamato etere, o fuoco elementare.¹²

¹¹ MSS Galvani, Cart. I, plico I, C., Cap. 2°: *Dell'apparecchio, e metodo usato per estrarre col fuoco l'aria fessa dalle varie parti animali, sua utilità, e forza*, ff. 10-12.

¹² *Ibidem*, ff. 41-43.

Nel capitolo successivo passa all'esame dei solidi animali. Si propone di analizzare: nervi, arterie, muscoli, «cellulare», tendini, cartilagini, ossa, «glandule», visceri, cioè: cervello («corticale e medullare»), cuore, polmoni, fegato, pancreas, milza, reni, «i reni su centuristi», le «glandule conglubate e le conglomerate».¹⁷

In generale, le arie e i principi estratti da queste sostanze solide sono gli stessi ottenuti dalle parti fluide animali; tuttavia Galvani scrive di aver ottenuto una maggior quantità d'aria dalle ossa, poi, decrescendo, dall'aorta, dal midollo spinale, dai tendini e dai muscoli.

Da qui

Chiaro parimenti apparisce [che] dall'aria come aria pura, e dirò così primogena, non dipendono le forze, e i moti animali, avendone una maggior copia come si è detto le ossa immobili, che i muscoli istrumenti del moto.¹⁸

Anche i tendini danno meno aria rispetto ai muscoli, quindi anche se l'aria avesse parte nel moto, deve averla «in compagnia di qualche più fino principio».

Per quanto riguarda il principio acido, in ordine decrescente si ritrova nei muscoli, nei tendini, midollo spinale, aorta, ossa. Quindi, l'acido più fino e più penetrabile è quello dei muscoli e dei tendini.

Per quanto riguarda il «flogisticamento», Galvani scrive che solo l'eudiometro è uno strumento affidabile per rilevarne il grado, in quanto con la prova della fiamma della candela si è sempre passibili di introdurre «straniero flogisto», proveniente dalla candela stessa o dall'aria circostante. Tutte le arie delle parti animali solide si sono dimostrate flogisticcate.

[...] e in conseguenza concludiamo, che tutte le parti sì solide, che fluide contengono sicome un principio acido, così un flogisto, e che in conseguenza egli è questo flogisto un principio, che entra nella composizione dell'animale, e da cui attesa la sottigliezza, ed attività sua hanno a prodursi vari effetti, e cangiamenti nell'economia animale pei quali egli non può, non influir molto siccome nella vita, e nella sanità, così nelle malattie e nella morte.¹⁹

Per quanto riguarda il principio infiammabile, lo si ritrova in maggiore quantità nell'aria estratta dai nervi; in minore quantità nei tendini.

E in quanto all'azione i nervi ministri del moto, e del senso pareva certo dovessero contenere un principio appunto più tenue, più volatile, e in conseguenza, più veloce d'ogni altro ne' suoi moti e le osservate qualità della fiamma della loro aria ce lo mostran tale; esse avrebbero cominciato a renderlo sensibile, e se egli fosse, che costituisce o almeno o in parte quel fluido qualunque de' nervi detto fluido nerveo, o spiriti animali autor del moto e del senso.²⁰

¹⁷ MSS Galvani, Cart. I, plico 1, D, fasc. 1, Cap. 4^a. *Copia, e qualità dell'aria estratta dalle varie parti animali solide*, f. 2.

¹⁸ *Ibidem*, f. 4.

¹⁹ *Ibidem*, f. 11v.

²⁰ *Ibidem*, f. 14v.

Ma anche se non fosse, continua Galvani, esperienza dimostra che unito alla sostanza dei nervi sta «un principio sottile, che o è fuoco elementare, o è combinato e legato col medesimo». Ricordiamo che, per Galvani, fuoco elementare e etere erano sinonimi.

Nello stesso plico di manoscritti si trova un nuovo capitolo 4°, in cui ricomincia la numerazione dei fogli, intitolato: «Copia e qualità dell'aria fissa estratta dalle parti solide animali col foco di fornello commune». Qui Galvani avanza un'analogia tra torlo d'uovo e nervi, perché entrambi, per scopi diversi (nutrizione e «primiera vita» l'uno, moto e senso gli altri) contengono un principio sottilissimo infiammabile.¹⁷

Quindi è manifesto che Galvani non intendeva il flogisto come principio di infiammabilità dei corpi, come molti scienziati dell'epoca ritenevano. Il flogisto per lui era un

principio atto giusta l'opinione de' moderni fisici atto [sic], a togliere la vivezza della fiamma e a somministrare in qualche parte il color ceruleo [...] l'infiammabile principio, ed il flogisto ponno essere nell'aria sviluppata uniti senza, che l'uno turbi l'azione dell'altro, quando l'accensione si faccia ad aria aperta.¹⁸

In definitiva, la proprietà specifica del flogisto, in senso galvaniano, era solo quella di togliere all'aria la sua respirabilità.

I capitoli riguardanti l'aria estratta per mezzo della bollitura e della congelazione sono andati dispersi.¹⁹

Infine, segue il capitolo sull'aria estratta per mezzo della putrefazione,²⁰ del quale riportiamo le conclusioni: dai corpi a putrefazione protratta l'aria estratta è ora nociva, ora poco o nulla (questo contraddice gli esperimenti di Priestley, che l'aveva trovata sempre nociva), ma molto nociva a fine putrefazione; quindi la putrefazione sviluppa aria fissa o flogisticata (in accordo con Priestley), ma anche la deflogisticata. Inoltre non solo le piante, i metalli o i misti contengono questa aria, ma anche gli animali. Secondo Galvani, la putrefazione vale tanto come il fuoco perché sviluppa entrambe le arie (fissa e deflogisticata). Infine, il fetore non va di pari passo con la salubrità, quindi l'aria e l'effluvio odorifero sono due principi distinti e uniti.

In una bozza di dissertazione che riassume questo «trattato», Galvani nota che il principio infiammabile esiste e circola negli animali assieme al sangue, quindi

¹⁷ MSS Galvani, Cart. I, plico 1, D, fusc. 2, Cap. 4°: *Copia, e qualità dell'aria fissa estratta dalle parti solide animali col foco di fornello commune, f. 2.*

¹⁸ *Ibidem*, f. 20v.

¹⁹ MSS Galvani, Cartone I, plico I, E, Cap. 5: *Copia e qualità estratta dalle varie parti animali per mezzo della bollitura*; Cartone I, plico I, F, Cap. 6: *Copia, e qualità dell'aria estratta dalle varie parti animali per mezzo della congelazione.*

²⁰ MSS Galvani, Cart. I, plico I, G, Cap. 7, *Copia, e qualità dell'aria tratta dalle varie parti animali per mezzo della Putrefazione.*

«come potrà egli non influire non poco nell'economia animale»? Infatti traiamo forza e vigore da cibi e bevande che contengono il principio infiammabile, per esempio dai vini, che sono «alquanto spiritosi».²¹ Infine azzarda un'analogia:

È nota a nostri giorni quanta azione abbia l'elettricità sull'aria infiammabile; che piccola copia, ed azione di quella basti per porre in un grado sommo di attività, ed elasticità questa, (...) [quindi si può ipotizzare] che la corrispondenza fra le une [nell'atmosfera] e le altre [nell'organismo] mutazioni nasca, o dipenda dall'influsso dell'elettricità sull'aria infiammabile racchiusa nelle parti animali.²²

B. Le note di laboratorio

Si tratta di esperimenti compiuti tra il 1784 e il 1785, consistenti nell'osservare le reazioni che avvengono mescolando vari fluidi animali con diversi tipi d'aria, tra cui l'aria contenuta negli intestini degli animali e quella contenuta nello stomaco.²³ Seguono tre «volumi» di tavole²⁴ in cui sono riportati i risultati riguardanti sangue, latte, bile, saliva mescolati appunto con le varie arie. Galvani osservava anche i fenomeni che avvenivano sottoponendo queste miscele di fluidi animali e arie a diverse condizioni: calore del camino, freddo, calore e luce solare, buio, ecc.; registrando lo stato o meno di decomposizione, la consistenza della coagulazione, l'odore, in diversi intervalli di tempo.

Troviamo sui periodici del tempo alcuni riferimenti interessanti relativi a questo tipo di esperimenti. Il primo è del medico mantovano Pietro Moscati,²⁵ il quale studiò il coagulo del sangue posto sotto diverse arie, e le arie contenute nello stomaco e nell'intestino degli animali. Con Hales, Priestley e Landriani, Moscati credeva che il flogisto entrasse nell'organismo con gli alimenti e con lo sciogliersi del grasso animale e che evaporasse dai polmoni e dalla cute.²⁶

L'altro riferimento per quanto riguarda simili esperimenti è di nuovo Joseph Priestley.²⁷ Ai pari di Moscati, anche per Priestley il flogisto era responsabile del

²¹ MSS Galvani, Cart. I, plico I, A, f. 33.

²² *Ibidem*, f. 35.

²³ MSS Galvani, Cart. I, plico III, A, *Esperimenti circa le mutazioni indotte ne vari fluidi animali dalla miscela dell'aria intestinale al solo calore dell'atmosfera ed (alcuni pochi) al calore di qualche po' di tempo al sole. Mesi Aprile Settembre, Ottobre, Novembre (1784); Cart. I, plico III, B, Esperimenti circa la miscela dell'aria degl'intestini coi fluidi animali Anno 1784 a mense Januarij ad mensium maij inclusive (1785); Cart. I, plico III, C.*

²⁴ MSS Galvani, Cart. I, plico III, *Volume 1. Tavole di combinazione ovvero Miscela di varj fluidi animali con diverse arie, e con altri fluidi animali. Sangue, Cart. I, plico III, F, Volume 2; Cart. I, plico III, G, Volume 3.*

²⁵ MOSCATI, PIETRO, «Nuove osservazioni ed esperienze sul sangue, e sul l'origine del calore Animale», in *Scelta di opuscoli interessanti*, vol. 16, 1776, pp. 97-128.

²⁶ *Ibidem*, pp. 113-114.

²⁷ PRIESTLEY, JOSEPH, «Osservazioni sopra la Respirazione, e l'uso del Sangue», in *Scelta di opuscoli interessanti*, vol. 26, 1777, pp. 47-75 (lettera di Priestley del 25 gennaio 1776).

colore più o meno carico del sangue. Secondo il reverendo inglese, la funzione del sangue era di flogisticare l'aria, non di ricevere il flogisto da essa durante la respirazione.

A proposito di questi argomenti, nei manoscritti galvaniani si trova una pagina interessante di

Varie riflessioni e congetture

1: Il sangue della vena porta è più rosso ossia meno nero dell'altro sangue venoso. Dunque poco flogisto, e meno che l'altro sangue venoso contiene. Dunque molto ne entra nei vasi lattei unito al chilo.

2: Assorbe egli dunque dagli intestini, cioè dall'aria contenuta ne' medesimi il principio spirabile, come quello dei polmoni lo attrae dall'aria atmosferica?

È egli questo principio meno fino, o meno puro ed omogeneo che quel dell'aria atmosferica [?]

Gli animali a sangue freddo vivono forse tanto tempo senza cibo, e senza respiro per questo principio esistente nell'aria degli intestini [?]

Sono forse [sic] in essi le intestina più piene d'aria in questi animali appunto perché meno cibo e meno di reliquie del medesimo cibo contengono [?]

Sarebbe questa una prova che una tal aria intestinale si sviluppasse dagli umani ancora, e singolarmente dalla bile.

3: Il sangue della vena porta è più coagulato ne' cadaveri dell'altro sangue venoso.

Forse perché comunicando la vena porta col cavo degli intestini ripieno d'aria e col cavo del basso ventre si può più facilmente dissipare il vapor espansile, o l'aria infiammabile[?].²⁸

Dunque Galvani concordava con le tesi dei due scienziati citati, per quanto riguarda la proprietà del flogisto di colorare il sangue, e sul fatto che viene introdotto con gli alimenti. Inoltre, un riferimento importante è rappresentato dalle *Lettere fisiologiche* del modenese Michele Rosa (pubblicate tra il 1782 e il 1784), il teorico del «principio spirabile» e del «vapore espansile» citati da Galvani: Rosa, basandosi sul *Traité chimique de l'air et du feu* di Carl Wilhelm Scheele (Paris, 1781; l'originale in tedesco è del 1777) e sulle ricerche di Adair Crawford sul calore animale,²⁹ asseriva appunto che

Non è più dubbio per le nobili scoperte e teorie del sig. Crawford che la parte elastica spiritosa dell'aria che entra nel polmone, e quindi nel sangue, sia la causa del calor vitale che si sviluppa nel Cuore e nel sangue dell'animali. All'azione di questo calore l'aria sbstrata nel cuore assieme col sangue, si combina, e si amalgama con la sua parte sottile e volatile; e perdendo in quella combinazione l'azione della sua elasticità attuale, non ritiene altro che la facoltà di poter essere espansa dall'azione graduata del calore mode-

²⁸ MSS Galvani, Cart. I, plico III, H, *Varie riflessioni e congetture*, f. 2.

²⁹ CRAWFORD, ADAIR, *Experiments and observations on animal heat, and the inflammation of combustible bodies*, London, Murray, 1779; un estratto in italiano apparve sugli *Opuscoli scelti sulle scienze e sulle arti*, vol. 3, 1780, pp. 39-98.

simo, onde potersi manifestare sotto la forma di un vapore espansibile, che io chiamo *Vapore espansibile animale*.³⁰

[...] il principio del vapore essendo l'istesso che l'aria fuoco o l'aria spirabile o l'aria principio, che attraversando i polmoni passa nel sangue e quindi al cuore e alle arterie, dev'essere considerato come un principio di una mirabile sottilità [...].³¹

Per verificare le ipotesi riportate più sopra, Galvani iniziò a osservare gli effetti dell'introduzione forzata di diverse arie in alcuni uccelli, legando loro l'esofago e senza dare loro da mangiare.³²

Nel 1785, in ottobre, cioè dopo la serie di esperimenti coi fluidi animali posti sotto le varie arie, Galvani applicò la scintilla elettrica al latte, al sangue, alle uova, alla bile.

Per quanto riguarda il sangue, osservò che il coagulo

Non è però sì sciolto come quello a cui sia mescolata l'aria infiammabile. Fenomeni [un] poco simili benché minori a quelli ottenuti dall'aria infiammabile, dunque similitudine fra il fluido elettrico, e la suddetta aria.³³

Ritroviamo dunque l'analogia tra fluido elettrico e aria infiammabile emersa dalla bozza di dissertazione riportata in precedenza. Anche per questo tipo di esperimenti di Galvani abbiamo riscontri sui testi dell'epoca, in primo luogo ancora Priestley:

[...] gli animali hanno un'abilità di convertire il *Flogisto* dallo stato in cui lo ricevono col loro nutrimento in quello stato nel quale è appellato fluido elettrico; che il cervello, oltre gli altri suoi usi particolari, ha pur questo d'essere la grande officina, e il magazzino destinato a tal effetto; che per mezzo de' nervi questo gran principio, per tal maniera *esaltato* è diretto ne' muscoli, e gli obbliga ad operare al modo stesso in cui sono costretti a mettersi in azione allora quando essi ricevono il fluido elettrico al di fuori.³⁴

Tuttavia, abbiamo visto che Galvani non riteneva il flogisto responsabile di questi effetti, bensì il principio infiammabile, o la parte più sottile di esso, cioè l'etere o fuoco elementare. A questo proposito ricordiamo che Priestley fino al 1784-85 aveva sostenuto la tesi dell'identità tra aria infiammabile e flogisto; inoltre, Galvani aveva mutuato il concetto di etere ancora una volta da Michele Rosa:³⁵

³⁰ ROSA, MICHELE, «Lettera estemporanea sopra alcune curiosità fisiologiche (...), 8 dicembre 1782, pp. 8-9, in *Lettere fisiologiche*.

³¹ ROSA, MICHELE, «Lettera quarta sopra alcune curiosità fisiologiche (...). Risultati», 5 luglio 1783, p. 28, in *Lettere fisiologiche*.

³² MSS Galvani, Cart. I, plico VII, B.

³³ MSS Galvani, Cart. I, plico XIII, f. 4.

³⁴ PRIESTLEY, JOSEPH, «Congemate intorno all'identità della Materia elettrica e del Flogisto», in *Scelta di opuscoli interessanti*, vol. 11, 1775, pp. 51-54; originale in PRIESTLEY, JOSEPH, *Experiments and observations on different kinds of air*, 2nd ed., London, Johnson, 1775, vol. I, Part II, Section VIII, § 2, pp. 274-286.

³⁵ Galvani possedeva nella sua biblioteca privata le lettere quarta e quinta di Rosa.

[...] egli l'etere, cioè l'aria fuoco, o l'aria pura elementare spirabile non è che la base, la parte costituente di tutte codeste arie fisse flogisticcate e de' tali ec.³⁶

[...] [Consideriamo] due assunti; cioè l'esistenza di un Vapore espansile, o Principio cetero vitale operante nel corpo degli animali, che dee riguardarsi come il Principio vitale meccanico della vita; indi l'universalità di questo principio operatore in natura [...].³⁷

CONCLUSIONE

Dopo questa lunga esposizione dei testi galvaniani è giunto il momento di tentare un'interpretazione degli stessi e delle motivazioni che lo portarono a compiere questo tipo di studi.

1) La scoperta che l'aria atmosferica non era un elemento semplice, ma composto di vari gas distinti se da un lato diventò occasione di sensazione da salotto (come del resto l'elettricità), una moda, dall'altro lato aprì ai chimici e ai fisici un enorme campo di ricerca ancora inesplorato.

2) L'analogia della respirazione con la combustione e la calcinazione dei metalli, inoltre, pose ai fisiologi il problema dell'origine dell'aria espirata e del destino di quella inspirata; nonché della funzione del flogisto, presente nel sangue e introdotto con i cibi, nella modificazione di codeste arie; a questi fenomeni era inoltre legato quello del calore animale.

3) La scoperta della presenza di arie naturali infiammabili (metano) all'interno dello stesso vivente animale pose ai fisiologi il problema della loro origine e funzione.

4) Da tutti questi nuovi fenomeni emergeva il grande problema della *vita stessa* e del «principio» che ne era responsabile.

Galvani si applicò a questi ambiti di ricerca, guidato da una concezione chimica abbastanza arretrata rispetto ai nuovi sviluppi della disciplina in quel periodo. Seguace eterodosso di Priestley, ne conosceva l'abilità sperimentale, ma a livello teorico era più orientato verso un fisiologo come Rosa, che, nonostante i riconoscimenti internazionali per la sua attività di medico,³⁸ veniva tuttavia tenuto in poco conto da scienziati del calibro di Spallanzani, che avevano riorientato le valide intuizioni di Crawford secondo le interpretazioni lavoisieriane della fisiologia e della chimica della respirazione.³⁹ Galvani non era un chimico,

³⁶ ROSA, MICHLE, «Lettera quinta sopra alcune curiosità fisiologiche (...). Supplemento», 8 dicembre 1783, p. 13, in *Lettere fisiologiche*.

³⁷ Ibidem, pp. 456-457, in *Lettere fisiologiche*.

³⁸ Importanti sono gli studi di Rosa sull'inoculazione del vaiolo e sulla trasfusione del sangue, che gli valsero una grande notorietà soprattutto in Francia.

³⁹ Le memorie di Lavoisier riguardanti la respirazione animale, e la combustione dei corpi, apparvero in italiano sugli *Opuscoli scelti sulle scienze e sulle arti*, vol. 4, parte II, 1781, pp. 135ss; pp. 191ss.

e nelle sue ricerche non ambiva a determinare la composizione chimica del vivente; tuttavia si servì della chimica come scienza ausiliaria della fisiologia: in questo sta l'importanza dei manoscritti che abbiamo citato. La chimica poteva fornire nuove linee di ricerca e nuove interpretazioni nel campo della cosiddetta «economia animale».

La distinzione tra fuoco, calore, flogisto, principio infiammabile, luce, fluido elettrico era un problema con cui tutti i fisici e chimici del XVIII secolo dovevano confrontarsi. Alcuni, come Rosa, e dunque Galvani, moltiplicavano, nel tentativo di un *regressus ad unum*, i principi o fluidi sottili, ognuno portatore di una distinta proprietà, che pervadevano il mondo, e in questo modo arrivavano talvolta a vanificare il significato; altri cercavano invece di unificarli il più possibile, spiegando i diversi fenomeni fisico-chimici come diverse modificazioni dello stesso principio, scelto tra quelli già noti.

Dai testi abbiamo visto che Galvani aveva istituito una sorta di «scala di volatilità» e «sottigliezza» che andava dal flogisto, al principio infiammabile, al fuoco elementare o etere. Maggiori erano la volatilità e sottigliezza, maggiore era la velocità del fluido, e, con una parola odierna, la sua «energia».

Galvani ricercava la causa del moto muscolare come derivata dal principio vitale (nel senso di Rosa): l'aspettativa, confermata sperimentalmente, che Galvani aveva di reperire una maggiore quantità di aria infiammabile nei nervi rispetto ai muscoli, è segno dell'ipotesi che aveva in mente: l'impulso nervoso è generato da un fluido sottilissimo e velocissimo che si trasmette ai muscoli, quindi causa il loro movimento; la sorpresa di Galvani nel trovare una maggiore quantità di aria infiammabile nel tuorlo rispetto all'albuma rivela che ciò fu una conferma inaspettata al fatto che questo principio sottile era di primaria importanza per ciò che riguardava il vigore, la vitalità e la vita stessa dell'animale, e quindi anche il suo movimento.

L'analogia tra aria infiammabile, spiriti animali e fluido elettrico era quindi quasi d'obbligo, e dall'applicare le diverse arie alle parti animali, all'applicarvi l'elettricità il passo concettuale era breve. Il fluido elettrico era solo uno tra i tanti fluidi a disposizione degli scienziati del '700; esso però, secondo Galvani, presentava una forte analogia col principio infiammabile o etereo, così importante per l'economia animale. Perché dunque non studiarne gli effetti?

Se la mia interpretazione è valida, possiamo considerare queste ricerche come basilari per gli sviluppi contemporanei e successivi del pensiero scientifico di Luigi Galvani nel campo dell'elettricità animale.

BIBLIOGRAFIA

Note: Per ragioni di spazio riportiamo qui solo i testi non citati espressamente nelle note.

FONTI

Accademia delle Scienze di Bologna, MSS Galvani, Cartone 1

PLICO I, H, Cap. 8: *Della proprietà dell'aria tratta cog' esposti mezzi dalle varie parti animali.*

PLICO III, D, *Esperimenti con Accisli, ed Alcali Uniti all'oglio d'olive, ed alla Bile.*

TESTI

CRIFORDI, ADAIR, «Sperienze ed osservazioni sul calore animale e sull'inflamazione de' corpi combustibili. Dirette a indagare una legge della natura con cui spieghinsi tutti i fenomeni a ciò relativi», in *Opuscoli scelti sulle scienze e sulle arti*, vol. 3, 1780, pp. 39-98.

GALVANI, LUIGI, «De aëiformis principis themarum Porrectanarum dissertatio», in *Memorie della Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna*, serie I, vol. III, 1851, pp. 61-73.

GALVANI, LUIGI, «De consensu et differentiis inter respirationem et flammam, penicillumque electricum prodens ex acuminato conductore leydensis phialae de industria oneratae», in *Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna* (a cura di), *Opere edite e inedite del Professore Luigi Galvani* (...), Bologna: Dall'Olmo, 1841, pp. 451-458.

ROSA, MICHELE, *Lettere fisiologiche*, s.l.: s.n., 1784: Lettera estemporanea sopra alcune curiosità fisiologiche (...), 8 dicembre 1782; Lettera seconda sopra alcune curiosità fisiologiche (...), 20 gennaio 1783; Lettera terza sopra alcune curiosità fisiologiche (...), Esperimenti, 12 marzo 1783; Lettera quarta sopra alcune curiosità fisiologiche (...), Risultati, 5 luglio 1783; Lettera quinta sopra alcune curiosità fisiologiche (...), Supplemento, 8 dicembre 1783.

STUDI

ABBIE, FERDINANDO, «Chemistry turned upside down: aspects of the Italian debate on Lavoisier's theory», in ABBIE, FERDINANDO, CRISPINI, FRANCO (a cura di) *Atti del III Convegno nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica*, Cosenza: Brenner, 1991, pp. 101-111.

ANGELINI, ANNAMARIA (a cura di), *Anatomie accademiche, Vol. 3: L'Istituto delle Scienze e l'Accademia*, Bologna: Il Mulino, 1993.

BERNARDI, WALTER, *I fluidi della vita. Alle origini della controversia sull'elettricità animale*, Firenze: Olshchki, 1992.

BRESADOLA, MARCO, «La biblioteca di Luigi Galvani», in *Annali di storia delle università italiane*, vol. 1, 1997, pp. 167-197.

CAVIZZA, MARTA, «L'insegnamento delle scienze sperimentali nell'Istituto delle Scienze di Bologna», in PANGALDI, GIULIANO (a cura di), *La Università e le scienze: prospettive storiche e attuali. Relazioni presentate al Convegno Internazionale Bologna, 18 settembre 1991*, Bologna: Università di Bologna, 1993, pp. 155-168.

CAVIZZA, MARTA, «L'Istituto delle Scienze di Bologna negli ultimi decenni del Settecento», in PISTA, RENATO, BEGAGLI, VIERI, BARSANTI, GIULIO (a cura di), *La politica della scienza. Toscana e Stati italiani nel tardo Settecento*, Firenze: Olshchki, 1996, pp. 435-450.

GHERARDI, SILVESTRO, *Rapporto sui manoscritti del celebre professore Luigi Galvani* (...), Bologna: Dall'Olmo, 1840.

- HEILBRON, JOHN L., «Academic context and theoretical renewal through the work of Luigi Galvani», in *Universitates e Universitatis, Atti del Convegno Bologna, 16-21 novembre 1987*, Bologna: University Press, 1995, pp. 295-310.
- HOME, RODERICK W., «Electricity and the nervous fluid», in *Journal of the history of biology*, vol. 3, n° 2, 1970, pp. 235-251.
- PASCALDI, GIULIANO, «Luigi Galvani», in TEGA, WALTER (a cura di), *Storia illustrata di Bologna*, Bologna: AIEP, vol. 6, 1989, pp. 281-300.
- PERROCCO, GIORGIO, «Gli studi di chimica all'Istituto delle scienze di Bologna nel corso del XVIII secolo», in TEGA, WALTER (a cura di), *I materiali dell'Istituto delle Scienze di Bologna*, Bologna: CLUEB, 1979, pp. 226-229.
- PERA, MARCELLO, *La rana ambigua. La controversia sull'elettricità animale tra Galvani e Volta*, Torino: Einaudi, 1986.
- TAGLIANINI, SHUNNA, «Chytica», in TEGA, WALTER (a cura di), *Anatomie accademiche, Vol. 2: L'enciclopedia scientifica dell'Accademia delle Scienze di Bologna*, Bologna: Il Mulino, 1987, pp. 87-121.
- TEGA, WALTER (a cura di), *Anatomie accademiche, Vol. 1: I Commentarii dell'Accademia delle Scienze di Bologna*, Bologna: Il Mulino, 1986.

ANGELO BASSANI (*)

Il contributo veneto alle analisi del sale marino: Giovanni Arduino e Marco Carburì (**)

Sea salt analysis in eighteenth century Venice: the contribution of Giovanni Arduino and Marco Carburì.

Summary - In 1773 Giovanni Arduino (1714-1795) was asked by the «Proveditori al Sale», in charge of the control of the sea salt trade, to test the quality of two series of salt samples in order to evaluate the differences between the specimens from a practical point of view.

After an examination of the contemporary control techniques some excerpts of Arduino's unpublished accounts are reported and discussed. Particular emphasis is given to a comparison made by Arduino between his own procedure and an almost unknown method proposed by a French author.

To complete the survey a short report is given about the contribution of Marco Carburì (1731-1808), professor of chemistry at the University of Padua. His method was a physical one, based on the determination of density of solutions, whereas Arduino used normal chemical essays.

IL CONTESTO

Nella storia di Venezia, come del resto in quella di molti altri stati, il sale ha giocato un ruolo centrale.¹ Nel corso dei secoli il controllo delle sue fonti di produzione e del commercio sono stati determinanti non solo per quanto atte-

(*) Laboratorio di Didattica delle Scienze - CIBED - Università Ca' Foscari di Venezia.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

¹ La produzione ed il commercio del sale nell'insediamento lagunare sono segnalati già nel VI secolo da Cassiodoro, *Var.*, XII, 24, in *Opera omnia quae extant*, Genevae, Goumonet 1661, pp. 406-407. Per la storia di questa sostanza rinvio ai due classici lavori di R.P. MULDAUF, *Neptune's gift: A history of common salt*, Baltimore and London, John Hopkins Univ. Press 1978, e J.F. BERGIER, *Una storia del sale*, Venezia, Marsilio 1984.

neva alle entrate fiscali dello stato, ma nello sviluppo generale del commercio marittimo. Le importazioni di sale, che serviva da zavorra per le diverse imbarcazioni, erano vincolate al traffico di altre merci con una serie di complessi meccanismi giuridici ed economici.² L'attenzione non era peraltro circoscritta al livello macroeconomico, ma riguardava anche i dettagli, specialmente in relazione al contrabbando. Una rigorosa sorveglianza si applicava all'origine, al percorso della derrata ed al suo impiego finale, ed ognuno di questi fattori concorrevva a determinare l'imposizione fiscale e il costo. Alla fine del '700 per esempio il sale di Trapani era destinato a traffici particolari e non poteva essere venduto in città,³ mentre era vietato il recupero di quello impiegato nelle miscele frigorifere usate nella preparazione dei gelati.⁴

Una delle caratteristiche più seguite era la qualità del sale, controllata mediante le «mostre» (cioè campioni) di diversa provenienza conservate nell'Ufficio del Sal, che servivano per la distinzione tra le diverse partite e per stabilirne il prezzo. Poco o nulla si sa degli aspetti tecnici del controllo, specie per i primi secoli dello sviluppo veneziano: si trattava, come è ovvio, della valutazione di caratteri organolettici e soprattutto del peso specifico in quanto l'unità base della misura era il moggio, una unità di capacità (circa 1000 litri) e non di peso. Acquistavano importanza in questo contesto la differenza tra sale fino e sale grosso e le modalità di caricamento da parte degli addetti alle operazioni di misura.⁵ Qualche notizia più dettagliata è reperibile per il '700, periodo in cui oltre alla valutazione dei caratteri organolettici entrano in gioco anche le conoscenze chimiche nel frattempo sviluppate.

² J.C. HOOGHEET, *Il sale e la fortuna di Venezia*, Roma, Jouvence 1990, cap. IV.

³ «Dalle Salere non possono assolutamente sottrire sali da Trapano, se non per la cimentaria di zecca, per il partito di Lombardia, e per il partito transiti di Torino»; se veniva rinvenuto presso privati era pertanto considerato di contrabbando, A.S.V., *Provveditori al Sal*, Proccetti, b. 385, fasc. 73, 12 Agosto 1796, deposizione Bassaglia (20/8/1796).

⁴ «Specialmente li caffettieri praticano il dannato abuso di nuovamente estrarre il sale dall'acqua delle sorbettiere e di vendere il medesimo, ed anche l'acqua stessa salata sino alli villici per condimento dei cibi, e nutrimento degli animali»; A.S.V., *Provveditori al Sal*, b. 385, fasc. 73, 12 Agosto 1796, deposizione Senzato (22/8/1796). Per un atteggiamento analogo circa la miscela salina recuperata nelle prime fasi della lavorazione del vetro, utilizzata nella preparazione del verderame e talvolta impiegata nell'alimentazione animale, vedi A. BASSANI, *Una perizia di Giovanni Arduino: l'analisi chimico-mercologica del Natro*; in G. Michelson (a cura di), *Atti del IV Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica*, Venezia 7-9 Novembre 1991, «Rendiconti dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. Memorie di Scienze Fisiche e naturali», vol. 110 (1992) pp. 453-462.

⁵ J.C. HOOGHEET, *Il sale ...*, cit., pp. 457-458; nel trasporto i «gran cristalli si rompono, onde quindi vengono a perdersi nella misura», cioè nello spazio occupato; in tal caso il commerciante si trovava a consegnare una quantità apparentemente minore di quella inizialmente caricata; cfr. *Dissertatione chimica sopra il sale comune*, «Giornale d'Italia Spettante alla Scienza Naturale, e principalmente all'Agricoltura, alle Arti, ed al Commercio», 1767, 3, pp. 49-52, 57-58, 70-71, ivi p. 52.

Tra le maestranze del Provveditorato al Sal vi erano delle figure professionali che, probabilmente a causa dell'esiguità numerica, non risultano organizzate in scuole di arti e mestieri. Si tratta dei *Pubblici Sazadori al Sal, e Valonie* che, oltre a sovrintendere alle operazioni di pesatura e distribuzione del sale,⁶ in caso di sospetto contrabbando venivano richiesti di una particolare perizia: determinare con sufficiente sicurezza la provenienza delle partite di sale. Essa veniva identificata in base all'esperienza di anni di professione ricorrendo, come si può capire, soprattutto al rilevamento di caratteri esterni: colore, odore, aspetto, sapore, umidità, granitura, resistenza allo schiacciamento, presenza di sabbia, impurezze varie.⁷

Una conferma di tali modalità viene da tutt'altra fonte. Un autore del primo '700, che privilegia il salgemma rispetto agli altri sali, così descrive la procedura usata in ambito sanitario:

⁶ A.S.V., *Provveditori al Sal*, b. 385, fasc. 60, 11/10/1794. Col termine Vallonia si intendeva un prodotto impiegato nella concia delle pelli: «Sotto questo vocabolo della vallonia si chiama il fiore che producono li roveri connesso con la Gianda. Viene dalle regioni del levante dove il caldo lo matura e lo rende arivo all'espresso bisogno à distinzione del clima d'Italia in cui il sole non ha forza di darle la desiderabile qualità»; A.S.V., *Senato Terza*, filze 12/12/1726, relazione di Antonio Nani (30/11/1726). Esiste peraltro una descrizione diversa: «coctecia di rovere giovane ridotta in polvere col mezo del mulino da Vallonia»; *Dezatione dell'arte dei cuojai, o degli aconcia cuoi*, «Giornale d'Italia Spettante alla Scienza Naturale, e principalmente all'Agricoltura, alle Arti, ed al Commercio», 1767, 3, pp. 357-363. Vedi anche G. BOBIO, *Dizionario del dialetto veneziano*, Venezia, Cecchini, 1856, alla voce. Per la selezione serviva una esperienza particolare: occorre che «le valonie siano da persone pratiche delle qualità d'esse cernite e separate, servendo una qualità per un paese e un'altra per un altro»; i mercanti insegnano «con molta pazienza a fare questa cernita importantissima in questa mercanzia», A.S.V., *Senato Mar*, f. 360, 28/5/1644. Mancano notizie sul motivo dell'accorpamento delle due competenze.

⁷ Ripetiamo gli esami condotti su tre campioni, dichiarati dai possessori come recuperati da soluzioni refrigeranti, e sequestrati per sospetto di contrabbando. Circa uno di questi si osserva: «non fu mai per alcun uso adoperato, ma mi sembra piuttosto che provenir possa da spazzature, o siano civanzi di bastimenti che hanno trasportato sale, lo che deduco dal vederlo mischiato con polvere, e paglie che si vede che mai hanno avuto umido, e poi qualora fosse stato adoperato si avrebbe imbianchito invece è scuro, con le scorie, ed è in tocchi; un altro, riconosciuto di Trapani, «non fu mai adoperato, poiché si vede che ha della polvere, dei sassi, dei bovoletti (piccole chiocciole) intanti, e delle paglie le quali cose tutte avrebbero cambiato o sarebbero rotte...»; A.S.V., *Provveditori al Sal*, b. 385, fasc. 73, deposizione Zuanne Senato (22/8/1796). I campioni, dichiarati due di S. Maura mischiati a sale d'Istria e il terzo di Trapani, sono distinti dalla «grossezza, dal grano, dal colore, ed anche dal sapore, mentre quello di S. Maura è più mordente, e quello di Trapani più delicato [...]. Non fu mai adoperato poiché quando il sale viene posto nell'acqua o in altra cosa umida, egli si schiarisce di colore, si sfugna nel grano, e perde quel ravidò suo naturale»; *ibidem*, 12/8/1796, deposizione G. Recurti; quello di Trapani si distingue da quello di S. Maura e Istria poiché «è più bianco, più grosso di grano, e più consistente»; non può esser stato usato perché «avrebbe perduto la sua configurazione; ed invece egli è framischiato con paglie ed ha i suoi tocchi graniti e ruidi come è il sale che si vede raccolto dalle spazzature de bastimenti»; *ibidem*, deposizione Antonio Lannarotti (23/8/1796).

«lasciando le considerazioni, che si fanno dai medici, del colore, dell'odore, e dei delinamenti del sale, non senza qualche ragione, [...] noi qui descriveremo quel sale, che secondo la commune sentenza dei medici, deve eleggersi come il più perfetto di tutti, ed'è quello che vedesi candido trasparente, e denso, e secondo il parlare di alcuni, senza odore, e che non abbia del petroso, acre con temperamento, e chiaro come il cristallo; finalmente sopra tutti è il sal minerale [...]. Il sal minerale quanto più secco, più duro, meno fragile, e più astringente, tanto più è utile al salare, perché quanto più è secco, tanto più è salso; duro non così presto si consuma; astringente raccoglie la sostanza che si sala, e la ritiene dallo scioglimento, e perciò per condire le carni, e il pesce è meglio questo sale d'ogni altro; è pertanto necessario al sale, acciò sia vero, e perfetto, che fra tante qualità abbia queste, che posto alla lingua, ed'al gusto morda, ecciti, dissechi, astringa, raccolga, netti, e bruggi».⁸

Più concreta e circostanziata una procedura di qualche anno posteriore. Secondo Friedrich Hoffmann le qualità di un sale sono determinate dalle seguenti *notae bonitatis*:⁹

1) Durities, seu soliditas: quo firmius enim et solidius sal, eo efficacius est. 2) Eius duratio in aere humido ut non deliquescat. 3) Candor qui testatur de puritate, quod heterogeneae partes, praesertim pingues, non admixtae fuerint. 4) Puritas, quae exinde iudicatur, quando in aqua solvitur, et solutio clara apparet, neque in fundum aliquid impuri secedit. 5) Sal quo maiorem copiam crystallorum largitur, eo efficacius, et melius habendum est. Ex bonitate vero, et puritate constat corporum melior conservatio, et minor quoque in usu domestico quantitas.

Contribuisce alla conoscenza del sale in questo periodo l'ampia monografia di Pott che, nel fare il punto sugli studi, specie in riferimento a Stahl, Neumann e Hoffmann, riporta diverse informazioni sui processi produttivi, sulle caratteristiche delle acque madri e sui composti connessi.¹⁰ Altrettanto notevole il volume di Brownrigg che espone una metodica di valutazione analoga a quella di Hoffmann.¹¹ Non si trovano tuttavia progressi nelle procedure analitiche.

Più efficaci, sotto questo profilo, gli esperimenti condotti da Lémery, Geoffroy ed Hellor, ai quali l'Académie des Sciences di Parigi affidò l'incarico di esa-

⁸ A. DE MASSA, *Anatomia del sale*, Milano, Ramellati 1712, p. 106. L'autore è amministratore delle saline regie della Slesia.

⁹ F. HOFFMANN, *Antidiversiones physico-chymicae de sale communi*, in *Observationum physico-chymicarum selectionum Libri III*, Venezia, Coleti 1740, pp. 88-90; prima edizione Halae, Bengel 1722.

¹⁰ J.H. POTT, *Sur le sel commun*, in *Dissertationes chymiques de M. Pott [...] recueillies et traduites, tant du latine que de l'allemand [...] par M. Demachy*, 4 voll., Paris, Herissant 1759, II, pp. 3-248; prima edizione: *Exercitationes chymicae*, Berlin, Rüdiger 1740. C. NEUMANN, *De sale commune*, in *Praelectiones chymicae*, Berlin, Rüdiger 1740, pp. 1672-1707. G.E. STAHL, *Traité des sels*, Paris, Cussac 1783, *De la purification et de l'amélioration du sel marin*, cap XVII; I ed. Halle, in *Verlegung des Weysenhauses*, 1723.

¹¹ W. BROWNRIIGG, *The art of making common salt*, London, Davis 1748, *Of the qualities of the several kinds of bay salt, of the different qualities of white salt*, pp. 147-157.

minare le differenze tra il sale di Pécais, ricavato dalle saline situate alle foci del Rodano, ed una miscela di quelli di Peyrac e Sijan, ottenuti da sorgenti salate continentali. Il problema veniva dall'asserito danno alle salagioni della carne in seguito alla sostituzione del primo col secondo.

Le prove condotte dai tre periti furono numerose: la valutazione diretta dell'effetto su due campioni di carne, assaggiati crudi e cotti dopo il trattamento, la solubilità in acqua, l'isolamento del residuo insolubile per filtrazione, la determinazione del peso specifico confrontando misure di capacità col peso ed impiegando la bilancia idrostatica di Boyle, la perdita per riscaldamento in stufa e l'aumento per l'esposizione all'aria umida. Nella valutazione finale si osservava che il sale di Pécais conteneva circa il 2,91% di acqua e materiale insolubile, mentre l'altro ne dava il 4,08%. Il confronto tra i dati in peso e di capacità mostrava che 11 misure di quello di Pécais valevano 12 della miscela, mentre l'esame condotto con la bilancia idrostatica dava un rapporto leggermente diverso (10 contro 11 e un quinto). Diversa anche la prova di igroscopicità: dopo due settimane di esposizione all'umido la miscela di sali aveva mostrato un aumento di peso di 9 once, 2 grossi, 24 grani per libbra (58,3%), mentre il sale di Pécais dava un aumento di 9 once e 4 grossi (59,4%). In quest'ultimo pertanto vi erano «plus de parties pures de sel marin que dans l'autre, puisque c'est une des propriétés du sel commun de s'humecter d'autant plus facilement qu'il est plus pur».

Oltre a queste prove, che si potrebbero definire di carattere merceologico, i commissari parigini esaminano i campioni sotto un profilo chimico «pour savoir si dans l'un ou dans l'autre de ces sels il n'y auroit pas quelque sel étranger et différent du sel marin». Si procede dapprima con una serie di cristallizzazioni frazionata che producono sempre cristalli di figura cubica, del tutto simili a quelli ottenuti da campioni di riferimento esaminati in parallelo. Analoghi risultati si ricavano con le acque madri residue trattate con la «dissolution du mercure dans l'esprit de nitre» e con «l'huile de tartre».¹² Vengono quindi eseguite due distillazioni a secco; una in miscela con argilla e la seconda con argilla e un «vitriol calciné au blanc». Con la prima si intende determinare la quantità di acido, mentre l'altra serve a calcolare la base componente il sale marino presente nei campioni. Per questi si conclude «qu'ils sont de même nature et de celle du salgemme [...], que les différences qui se trouvent entre ces deux sels, ne doivent être attribuées qu'aux parties terreuses, [...] qu'ainsi, à raison de ces différences, le sel de Pécais est préférable».¹³

¹² Nella difficoltà di interpretare sempre correttamente la nomenclatura pre-lavoisieriana (p. e. il sale marino a base terrosa può essere il cloruro di calcio o di magnesio o una loro miscela), si è preferito mantenere quasi dovunque la terminologia originaria.

¹³ L. LÉMYER, C.J. GEOFFROY, J. HELLOT, *Examen du sel de Pécais*, «Histoire de l'Académie Royale des Sciences avec les Mémoires de Mathématique et de Physique», 1742, année 1740, pp. 361-370. L'obiettivo dell'indagine non era limitato alla situazione particolare, ma si proponeva di stabilire dei criteri validi anche in seguito.

Come dirà un autore posteriore,¹⁴ la seconda serie di analisi costituì un «semplice lusso scientifico», ma non riuscì a introdurre nuovi elementi di differenziazione tra i campioni. Non vennero identificati importanti componenti potenziali del sale comune ed in particolare la sostanza alla base dell'igroscopicità, la cui presenza, nonostante le osservazioni di Hoffmann,¹⁵ viene male interpretata.¹⁶

¹⁴ M. CARRERI, *Osservazioni sulle differenze dell'intrinseca attività di diverse specie di sale marino*, «Saggi Scientifici e Letterari dell'Accademia di Padova», 1794, 3, pt. I, pp. 64-88. Tale memoria venne letta nel 1782.

¹⁵ «Hoc sal calcareum, ubi paulo majori quantitate salinis est immixtum, vel per coctionem non separatim, efficit ut sal cutilare in aere praesertim humido non firmum et solidum persistat, sed attracta ex aere humiditate, diffilare ac deliquesce incipiat»; cfr. F. HOFFMANN, *De lavisio a coctione salis communis relicto, et ex eo prodeunte terra laxante sive magnesia, et sale sic dicto Ethoniensis*, in *Observationum* ..., cit., pp. 92-94.

¹⁶ Si ricorda, al solo scopo di facilitare la lettura della presente nota, che la composizione del sale comune dipende dalle materie prime (acqua di mare o fonti saline; diverso il discorso in caso di salgemma) e dal procedimento usato, evaporazione naturale in saline o riscaldamento in caldaie. Limitando il discorso all'acqua di mare si rammenta che la sua composizione media, espressa in ioni e riferita alle specie principali, è la seguente (concentrazione in g/l):

Cl	20,4
Na	11,4
SO ₄	2,8
Mg	1,4
Ca	0,43
K	0,39
Br	0,07

Il tenore in cloruro sodico è all'incirca il 72% del contenuto salino che in caso di precipitazione completa è così rappresentabile (conc. in g/l):

NaCl	28,46
CaSO ₄	1,46
MgSO ₄	2,22
MgCl ₂	3,73
KCl	0,74
NaBr	0,09

Nel caso di una evaporazione normale precipitano dapprima il CaCO₃, e poi il CaSO₄; questi ultimi possono risultare assenti nel sale comune poiché questo inizia a precipitare in seguito in altre vasche, allorché la sua concentrazione diventa all'incirca dieci volte quella iniziale (da 28 g/l a 260 g/l; densità da 1,016 g/cc a 1,215 g/cc). Se alla fine della precipitazione le acque madri sono opportunamente allontanate dal bacino di cristallizzazione il prodotto finale può risultare pressoché libero dai cloruri di calcio e magnesio e dai solfati di sodio e magnesio. Non si tiene conto qui di altre componenti presenti in ridotta quantità. Tali indicazioni si riferiscono a controllate produzioni attuali; risulterà evidente che in condizioni diverse la composizione del sale potrà essere stata sensibilmente dissimile; cfr. C. STAVINI, *Un exemple de production contemporaine: salines de la Méditerranée, description et fonctionnement*, in J. DUCOMBS, (ed.), *La vigne et le sel: deux exemples-cas de l'histoire des techniques dans leur contexte économique et social jusqu'à nos jours*, «Sciences et Techniques en Perspective», 1986/87, 11, pp. 73-83; R.P. MULTAMF, *Neptune's gift* ..., cit., pp. 125-143.

Diverse invece le considerazioni relative ad un analogo lavoro eseguito circa venti anni più tardi, sempre su incarico dell'Accademia, su campioni di sale ottenuti da fonti salate in una località continentale, anche in questo caso in risposta ad istanze da parte di utenti che lo trovavano inadatto nelle salagioni del foraggio per più motivi ed in particolare per il gusto troppo amaro ad esso impartito. Nelle sue indagini l'autore riscontrò che all'origine di questo inconveniente vi era l'abitudine di confezionare il sale in pani usando l'acqua madre della precipitazione del cloruro sodico. Nelle acque dei pozzi salati inoltre egli fu in grado di riconoscere la presenza di «gypses ou sélénites gypseuses, sels composés de l'acide vitriolique engagé dans une base terreuse du sel de Glauber [...], des sels déliquescents, composés de l'acide marin engagé dans une base terreuse, une terre alcaline très blanche [...], enfin une espèce de glaise très fine, et quelques parties grasses bitumineuses...».¹⁷

I dettagli riportati dall'autore, che esegue le sue prove in confronto con soluzioni di sale marino, riflettono chiaramente l'allargamento e la migliore circolazione delle conoscenze sperimentali e acquisizioni teoriche intervenute rispetto al lavoro di Lémery e colleghi.

Da una parte si approfondiscono le conoscenze relative ad altre sostanze collegate al sale marino, il sale di Glauber e il sale di Epsom,¹⁸ mentre le osservazioni di Hoffmann ed i successivi sostanziali contributi di Marggraff consentono di isolare le componenti maggiormente igroscopiche, i sali di magnesio, distinguendoli da quelli di calcio.¹⁹

Dall'altra vengono fissati con chiarezza alcuni punti di principio. Ricordiamo in particolare la polemica tra Duhamel e Pott sulla costituzione del cloruro sodico considerato dal primo composto dall'acido marino e dall'alcali fisso minerale, mentre il secondo sosteneva che la base corrispondente fosse una terra calcarea.²⁰ Dello stesso periodo è poi la generalizzazione apportata da Rouelle

¹⁷ E.M. de MONTIGNY, *Mémoire sur les salines de Franche Comté, sur les défauts des sels en pain qu'on y débite, et sur les moyens de les corriger*, «Histoire de l'Académie Royale des Sciences avec les Mémoires de Mathématique et de Physiques», 1764, année 1762, pp. 102-130.

¹⁸ R.P. MÜLTHAUS, *Neptun's gift* ..., cit., pp. 130-135.

¹⁹ Ci si riferisce in particolare ai brani di F. HOFFMANN, *Animadversiones et experimenta circa magnesiæ albam, tatum et guttam insipidam pulverem leucantem, e Experimenta cum calce viva instituta, in Observationum* ..., cit., pp. 55-58 e 75-78. A parte i ben noti studi di Black (*Experiments upon magnesiæ alba* ... del 1755) vanno in quest'ambito ricordati in particolare i saggi di A.S. MARGGRAFF, *Expériences chimiques concernant ce qu'on nomme la dernière lessive mère incristallisable du sel de cuisine, relativement à l'espèce de terre qui y est contenue*, «Histoire de l'Académie Royale des Sciences et Belles Lettres», (Berlin) 1766, année 1759 (15), pp. 19-27; Id., *Expériences chimiques sur l'espèce de terre contenue dans la dernière lessive mère qui reste du sel commun, laquelle terre fait la base de la pierre serpentine*, ibidem, 1767, année 1760 (16), pp. 75-86.

²⁰ «... il est démontré que dans presque tout le sel marin, il y a une terre bolaire qui

alla concezione dei sali, «Je donne à la famille des sels neutres toute l'extension qu'elle peut avoir: j'appelle sel neutre moyen ou salé, tout sel formé par l'unione de quelque acide que ce soit, ou minéral ou végétal, avec un alkali fixe, un alkali volatil, une terre absorbente, une substance métallique, ou un huile».²¹

Occorre comunque tener presente che accanto a queste concezioni, che poi lo sviluppo della disciplina confermerà almeno a grandi linee, mantengono credibilità anche opinioni più antiche. Francheville, per esempio, nel ritenere che il sale grigio provenga dalle acque profonde e il bianco da quelle superficiali, in una dissertazione del 1760 sostiene ancora che «quelque différence qu'on remarque dans les différens sels minéraux, ils viennent originaiement du même principe, qui est celui du salgemme plus ou moins modifié». L'amarrezza delle acque madri «ne peut venir que de la dissolution des lits de bitume»; essa rimane trattentata nel sale se l'evaporazione viene condotta artificialmente, ma «la distillation qui s'en fait naturellement par le soleil, et qui est assez différente de celle qui se fait par l'alembic, purge parfaitement l'eau de mère de son bitume».²² L'autore riprende inoltre una credenza: «le sel marin nouvellement fait est nuisible à la santé, parce qu'il contient quelque partie de nître et de soufre avec une certaine acrimonie ou amertume qui est occasionnée par le bitume dont l'eau de mer est imprégnée».²³

Più aderenti alla realtà, ma non immuni da fraintendimenti, le conoscenze

ne lui est pas essentielle, et un sel alkali semblable au natrum et au sel de soude qui fait la base principale»; cfr. H.L. DUBAMEL de MONCEAU, *Sur la base du sel marin*, «Histoire de l'Académie Royale des Sciences avec les Mémoires de Mathématique et de Physique», 1740, année 1736, pp. 215-252, *ivi*, p. 230; «Toute sorte de sel marin laisse après sa crystallisation une eau mère incristallisable, dont les alkalis fixes précipitent une terre blanche que je regarde comme la base du sel marin»; cfr. J.H. POTT, *Sur la nature de la base du sel commun*, in *Dissertation chimiques*..., cit., II, pp. 297-318, *ivi*, p. 315; le note di Demachy contraddicono spesso Pott in favore di Dubamel.

²¹ G.F. ROUELLE, *Mémoire sur les sels neutres*, «Histoire de l'Académie Royale des Sciences avec les Mémoires de Mathématique et de Physique», 1748, année 1744, pp. 353-364.

²² L'attribuzione dell'amarrezza del sale alla presenza di bitume è di lunga data. Sostenitore di questa ipotesi fu in particolare Luigi Ferdinando Marsili che tenne anche di riprodurre tale caratteristica aggiungendo a dell'acqua salata un distillato del carbone; cfr. L.F. MARSILI, *Histoire physique de la mer*, Amsterdam, aux Dépenses de la Compagnie, 1725, pp. 21-22.

²³ J. du FRESNE de FRANCHEVILLE, *Dissertation sur le sel terrestre, marin et coctile*, «Histoire de l'Académie Royale des Sciences et Belles Lettres», (Berlin) 1768, année 1760 (16), pp. 43-74. Tale opinione è contestata in area veneta: «il sale marino comune ha d'uopo di essere purificato come il salgemma, non già per renderlo più salutare [...], ma per dargli una forma più gradita, e renderlo più bianco; giacché non si vede, che quei che usano il sal marino non purificato, come gli abitanti dello Stato Veneto, stiano men bene degli altri. Assicurarsi anzi, che le salamoje servono talvolta di rimedio»; cfr. *Dissertation chimica*..., cit., p. 50.

esposte in un poemetto didascalico della seconda metà del '700 dove, oltre alla classificazione di alcuni sali commerciali, vi è il tentativo di elaborare una spiegazione delle loro differenti proprietà. Nel rappresentare il processo di cristallizzazione l'autore così si esprime:

«Poiché disparve adunque evaporata
l'acqua per l'aer vuoto, i sali stessi
gittansi abbasso. Or collaggiù gli osserva
distintamente ognun nella sua specie:
altri più, ed altri men graniti, e varii
di luogo, e di color, e a chi gli assaggia
varii di gusto, ed amarezza ancora.
Quel ch'è a fior d'acqua delle aduste ajuole
come la bianca lucicante brina
di cristallina candidezza splende;
ei punge meno, e in più minute parti
si rappiglia, e granisce, e più leggero
nell'aperto suo pian fiorisce, e sorge.
Quel che appresso ne vien, e in fondo giace
più granelloso egli è; più acerbo al labbro
fa sentir le sue punte; il color terreo,
e la mole è più greve. Alla ragione
non men tal discordanza si appalesa,
che alla prova dei sensi. In quella guisa
che suole il boreal vento talora
stretta ammassare, e rotolar la neve
per l'alta schiena d'inclinato monte,
mentre giù sdruciolando il globo scende,
altri di neve nel girevol corso
rappigliati ne attrae fiocchi giacenti
ad ingrossare il suo volubil corpo:
tal anche il sale, allorché cade in fondo
molti pur seco trae minuti semi
che in passando l'afferrano, e in un corpo
l'ingrossan tanto più pesante, ed ampio
quanto profonda è più la sua caduta.
Appresso altre materie, e 'l vario seme
di bitume, di terra, e di odorosi
atomi, e particelle a lui si appiglia,
che ne varia il color, la mole e il gusto.²⁴

²⁴ P.A. ZANONI, *De salinis cerviensibus carminum libri tres*, Cesena, Blasini 1786, p. 147. La composizione, assai estesa, redatta in latino con versione italiana a fronte, costituisce una interessante testimonianza sulle saline; essa è così articolata: I I. *Origine, forma, coltivatori e preparazione delle medesime*; II I. *Natura separazione e formazione dei sali di Cervia*; III I. *Raccolta repository commercio e delizione dei sali di Cervia*.

Particolarmente importanti nel nostro contesto le osservazioni riportate da Baumé nel trattato *Chimie expérimentale et raisonnée* nel quale egli dedica un ampio settore alla sostanza riassumendo le conoscenze fino ad allora acquisite ed eliminando alcuni pregiudizi. Una componente sempre presente nel sale marino è costituita dal «sel marin à base terreuse» che può essere in parte decomposto dal fuoco. È a questo che occorre far risalire la formazione dei vapori acidi nel surriscaldamento, non alla decomposizione del sale vero e proprio: «le sel marin à base d'alkali minéral est indécomposable par la seule action de feu. L'acide marin qui se dégage pendant la cuite des pains, est dû à la portion du sel marin à base terreuse qui se décompose, et qui laisse échapper son acide».²⁵

L'autore suggerisce inoltre alcuni procedimenti analitici per valutare l'effettiva quantità della sostanza in esame: in particolare, dopo aver disciolto e filtrato, egli aggiunge soda alla soluzione. Ciò gli permette di determinare in modo quantitativo la componente terrosa presente nel sale: «les cristaux de soude décomposent le sel marin à base terreuse, et font précipiter la terre de ce sel à base terreuse. On filtre la liqueur; la terre reste sur le filtre: on la lave: on la fait sécher, et on la pese. Comme elle entre pour moitié de son poids dans le sel marin à base terreuse, il est facile de connoître la proportion dans laquelle ce sel se trouvoit uni au sel marin à base d'alkali minéral».²⁶

Alla fine delle operazioni analitiche è posta una tabella, la prima, per quanto risulta, in termini quantitativi, che permette di differenziare i sali esaminati in base al loro contenuto in «terre libre, sel marin put, sel marin à base terreuse».²⁷

LE PERIZIE DI GIOVANNI ARDUINO

Il caso volle che nel 1773, l'anno di pubblicazione del trattato di Baumé, Giovanni Arduino venisse incaricato dai Provveditori al Sal di procedere all'analisi di due serie di campioni di sali. In queste come in altre perizie lo scienziato veronese si adoperava per fornire ai suoi interlocutori in modo succinto, ma esauriente, una panoramica completa sull'argomento.²⁸ Il sale comune, di qualunque provenienza, quando sia perfettamente depurato, è costituito da due principi, acido marino e alcali minerale nei quali può essere scomposto.

²⁵ $MgCl_2 + H_2O \rightarrow MgO + 2HCl$; cfr. R.P. MULHALL *Nepaul's gift ...*, cit., p. 138.

²⁶ Di tale rapporto quantitativo non viene data la derivazione.

²⁷ A. BAUMÉ, *Chimie expérimentale et raisonnée*, 3 voll., Paris, Didot 1773, III, pp. 543-549.

²⁸ Biblioteca Comunale di Verona, *Mss.*, Fondo «Giovanni Arduino», b. 757, fasc. I, d, 18/9/1773. Le due perizie, di cui si citano le parti più significative, sono entrambe dirette ai Provveditori al Sal con la stessa data e dai contenuti ampiamente sovrapposibili e riguardano la prima due sali di S. Maura ed uno di Barletta (*incipit*: «Eseguido...»), la seconda due di S. Maura, uno ciascuno di Barletta, Tripoli e Trapani (*incipit*: «Comparete...»).

(*incipit*: «Eseguendo...») «Colla sintesi chimica, cioè colla combinazione artificiale degli stessi due principi, si può sempre riformare un vero sale mariatico, o sia comune, e purissimo. Le sperienze di chimici abilissimi, che un gran numero di sali, e di acque saline hanno esaminato, ci assicurano che qualunque sale mariatico, o marino, o comune, come più piacque di nominarlo, quando sia reso puro e separato dalle materie eterogenee, che naturalmente vi si trovano mescolate, è tutto identico; cioè di un'istessa natura, e senza alcuna differenza di composizione e di proprietà. Sia esso naturale, o sia chimicamente composto, risulta sempre dall'unione de' sopraindicati due principi, a dosi uguali combinati in istato di perfetta neutralità, vale a dire senza eccesso alcuno né del suo acido, né del suo alcali.

Quindi è certo che le differenze di colori, di salsedine, e delle altre proprietà e fenomeni osservabili tra sali e sali di diversi luoghi, punto non dipendono dalla vera essenza salina, ma bensì dalla eterogeneità che vi si trovano commiste in modi e misure varie, secondo la costituzione delle situazioni donde si traggono, e secondo le diverse maniere e circostanze del loro naturale, o artificiale cristallizzamento.

Le accennate eterogeneità, parlando de' sali che dalle acque marine si ottengono, sono in generale le seguenti:

Primo. La sabbia ed altre grossolane immondizie, che per varj accidenti vi si mescolano: materie che non si possono fissatamente calcolare, perché variano non solamente nel sale in complesso di ciascuna estrazione da una medesima salina; ma anche da massa a massa, e da porzione a porzione dei cumuli salini di un'istessa raccolta.

2do. Una terra finissima, che dicesi terra libera; perché senza avere alcuna salina proprietà, trovandosi in certo modo sciolta nelle acque marine, resta nella sostanza del sale mescolata, dove in maggiore dove in minore quantità, secondo la particolare qualità, e disposizione dei fondi marini, e delle saline ec. Questa terra è la causa delle differenze di colori, pe' quali li sali di diverse saline ocularmente distinguiamo, e trovandosi in dose a un dipresso costante nel sale di ogni data salina se li modi e circostanze di sua formazione siano sempre uniformi, se ne può in conseguenza conoscere con esperienza e computare la quantità proporzionalmente a quella di ogni qualità di sale.

3zo. Una specie di sale marino spurio, cioè diverso dal vero sale comune, perché composto dell'acido marino arizideto e di una terra calcarea alcalina. Il celebre chimico Mr. Baumé, della Reale Accademia delle Scienze di Parigi, ha conosciuto che siffatto sale trovasi nei sali comuni sotto tre differenti stati. Ve n'è di deliquescentissimo; cioè che attrae avidamente l'umidità dell'aria, ed in liquore si scioglie; e di meno deliquescente, ed anche di una sorte che dall'umido viene disciolto più difficilmente dello stesso sale comune.²⁹

Detta specie di sale spurio, che si chiama sale marino a base terrosa o, calcarea esiste in tutti li sali comuni naturali e nelle acque saline; ma in dosi differenti, secondo le diverse situazioni ec. Se ne conosce la quantità in ogni particolar sorta di sale, e di acqua salsa, precipitandone la sua terra. L'alcali marino, che può agevolmente ottenersi dalla cenere di soda, infuso a dose conveniente in una soluzione di un dato peso di qualsivoglia sale comune, fatta in acqua pura, fa questo effetto. Esso congiungendosi coll'acido marino del sale suddetto, gli fa abbandonare la terra calcarea che cade al fondo in forma di bianchissimo sedimento; e dall'unione dell'istesso alcali coll'acido marino risulta un vero sale mariatico. Queste sono le materie eterogenee al sale comune osservabili nel presente caso: vi si trovano anche altre specie di sali, ma in piccolissima e non considerabile quantità; e perciò ometto di parlarne.

²⁹ A. BAUME, *Chymie*... cit., III, p. 551. Va rilevato che la descrizione di Baumé risulta alquanto generica; più precisa appare quella di J. MONTEY, *Mémoire sur les salines de Pécais*, «Histoire de l'Académie Royale des Sciences avec les Mémoires de Mathématique et de Physique», 1766, année 1763, pp. 441-464, in particolare pp. 456-457.

Le sabbie e le altre immondezze, e la terra libera, è chiaro per se che non si possono valutare in conto di sale. Esse sono un capo morto, che minora la misura di attività di ogni dato peso di sale, in proporzione della loro quantità che vi si trova commista.

Il sale marino spurio a base terrea, quantunque abbia delle proprietà saline sue specifiche, altera non di meno le proprietà dei sali comuni, e rende gli uni dagli altri diversi, secondo il di lui stato più o meno deliquescente, ed a proporzione delle sue dosi, comparativamente a quelle del sale comune, con cui trovasi unito.

(incipit: «Comparete...») La chimica ha fatto conoscere che [dal medesimo] deriva l'amarezza del mare, e non già dal bitume coll'acqua marina confuso, come per addietto si è comunemente preteso.

(incipit: «Eseguido...») Quello ch'è di natura deliquescentissima, essendo sommanente disposto ad attrarre l'aerea umidità, ed a ritenerla nei cumuli salini, ne diminuisce la forza, in proporzione della quantità di umido, che per la di lui attrazione nei sali s'introduce. L'umido, essendo acqua, quanta più ne esiste in un dato peso di sale, tanto è minore la quantità di vera sostanza salina contenuta nel peso medesimo; [...] egli è indubitabile che presi a pari peso sali diversi, quello sarà il più salato e più forte, che avrà minor copia di parti estranee alla vera sua essenza. Quello, che è meno infetto di sale deliquescente a base calcarea, deve crederli il più proprio per le salazioni di quelle cose, che si debbono conservare secche; ma per quelle di altro genere, e che richieggono salamento più mate, e stato umido, li sali abbondanti di quello deliquescente anzidetto sono in molti casi più adattati.

Il procedimento analitico adottato da Arduino è il seguente:

(incipit: «Comparete...») Prese di ciascuno a peso, uguali quantità, gli ho in primo luogo fatti separatamente seccare al fuoco dalla loro umidezza; e ripesati poi ho di ognuno rilevata la diminuzione di peso, sofferta per l'umido fatone svaporare col calore.

2do Ho posto un peso uguale di ciascuno d'essi sali, dissecati, in stanza terrena all'aria umida, sopra vasi larghi, e poco fondi di porcellana, esattamente pesati; e dopo sei giorni ho ricavato l'aumento di peso, prodotto dall'attratta umidità.

3zo A peso parimente uguale, ho fatto disciorre distintamente essi sali, dissecati al fuoco, in sufficiente quantità di acqua pura; ho filtrato le soluzioni per filtri tutti di ugual peso; ed in tal modo ho separata la terra, e la sabbia, e altre immondezze che vi si trovano accidentalmente commiste; e bene con acqua da ogni salsedine liberate, seccate e pesate, ne ho rilevata la rispettiva quantità.

4to Ho infuso in ogni dissoluzione filtrata quantità sufficiente di sale alcali, estratto dalla cenere di Spagna, detto da chimici cristallo di soda, per iscomporre i sali a base terrea, eterogenei al vero sale marino. Precipitata la terra di tali sali col mezzo di detto cristallo di soda, ho replicata la filtrazione, colle prescennate cautele; ed edulcorata secondo l'arte, la terra di essi sali terrosi, restata sopra i filtri, seccata e pesata, ne ho rilevata la quantità rispettiva; ed in conseguenza quella de' medesimi sali a base terrea, li quali costa dalle esperienze essere di peso doppio della loro terra.³⁰

[...]

Ho anche ridotta ogni soluzione salina, così purificata, alla forma concreta di sale, perchè sia visibile che dette specie tra sé non differiscono, che in ragione delle sostanze eterogenee, che contengono; e che depurate delle medesime, sono tutte identiche, senza alcuna diversità: lochè si estende ad ogn'altro sale muriatico, sia marino, o di sorgenti salate, o fossile.

³⁰ Cfr. n. 26.

La relazione prosegue discutendo i risultati dell'analisi quantitativa riportati nella seguente tabella

Tabola de' rapporti rilevati tra le cinque qualità di sale qui nominate con esperienze fatte da me sottoscritto, d'ordine degl'Ill.mi ed Ecc.mi S.ri Provveditori al Sale, nella quale sono espresse in distinte colonne cinque rispettive proprietà de' medesimi sali.

Si computa ogni sale libbre 100, da due marche ciascuna	Diminuzione di peso nella dissoluzione al fuoco	Unità di misura de' sali, disciolti al fuoco, esposti per giorno in all'aria secca	Feccia terrea e salinosa separata colla soluzione in acqua, e colla filtrazione	Terra de' sali a base terrosa, separata per precipitazione col sale di soda	Quantità de' sali a base terrosa che trovansi misti co' sali esperimentati
Sale di Tripoli per ogni libbre 100	Lib. 2; once 6 e 1/8; karati 7 e 1/3	Lib. 2; once 9 meno karati 4	Lib. 3 once 3; karati 6	Lib. 2; once 9 e 3/4 meno karati 1	Lib. 5; once 3 e 2/4 meno karati 2
Sale di Trapani per ogni libbre 100	Lib. 3; once 2 e 2/4; karati 11 e 1/3	Lib. 3; once 8 e 1/4	Lib.; once 9 e karati 4	Lib.; once 14 e 7/8; karati 8	Lib. 1; once 13 e 3/4; karati 16
Sale di Barletta per ogni libbre 100	Lib.; once 15 e 1/4; karati 4	Lib. 2; once 5 e 2/4	Lib. 2; once 5 e 2/4 karati	Lib.; once 9 e 3/4 meno karati 4	Lib. 1; once 3 e 2/4 meno karati 8
Sale di Santa Maura bianco per ogni libbre 100	Lib. 5; once 12 e 1/4 meno karati 2 e 2/3	Lib. 4; once 11 e 3/4 meno karati 8	Lib. 1; once 3; karati 14	Lib.; once 0 e 3/4; karati 13	Lib. 2; once 1 e 5/8; karati 8
Sale di Santa Maura oscuro per ogni libbre 100	Lib. 6; once 1 meno karati 1	Lib. 6; once 3 meno karati 6	Lib. 2; once 11; karati 8	Lib. 1; once 6 e 1/4 meno karati 4	Lib. 2; once 12 e 2/4 meno karati 8

Nella seconda analisi i risultati sono i seguenti:

Tabola di confronto di due sorti di sale bianco, e scuro di Santa Maura con quello di Barletta.

	Sabbia e c.	Terra libera e c.	Terra calcarea del sale a base terrosa	Quantità di sale a base terrosa	Unità di misura da ognuno dei tre sali
Sale di Barletta bene seccato; ogni libbre 100, peso di acqua contengono come segue	Libbre 1; once 8 meno karati 6	Libbre 0; once 13 2/4; karati 6	Libbre 0; once 9 3/4 meno karati 4	Libbre 1; once] 3 3/4 meno karati 8	Libbre 2; once 5 2/4
Sale bianco di Santa Maura seccato ec. Libbre 100 contengono	Libbre 0; once 8 1/4; karati 12	Libbre 0; once 10 3/4; karati 2	Libbre 1; once 0 3/4; karati 13	Libbre 2; once 1 2/4 karati 26	Libbre 4; once 11 3/4 meno karati 8
Sale scuro di Santa Maura seccato ec. Libbre 100 contengono	Libbre 0; once 8 2/4; karati 1	Libbre 2; once 2 2/4; karati 7	Libbre 1; once 6 1/4 meno karati 4	Libbre 2; once 12 2/4 meno karati 8	Libbre 6; once 3; karati 6

La consulenza di Arduino rinuncia esplicitamente a finalità scientifiche generali mantenendo, come si è già notato altrove,³¹ le caratteristiche di una relazione tecnica dall'obiettivo delimitato dalle esigenze di fornire ai suoi interlocutori elementi di conoscenza e di giudizio idonei ad agevolare interventi di carattere fiscale e amministrativo: «non è già questa una compiuta analisi; ma però sufficiente, a mio credere, per le viste economiche e di commercio. Le ulteriori chimiche operazioni, espedienti di un'analisi perfetta, oltre che esigono lungo tempo, e assiduità non interrotta da altre occupazioni, ed altre opportunità, esse quasi non servono che a fisici oggetti».³²

In quest'ambito è comprensibile l'insistenza dell'autore sulla sostanziale equivalenza di tutti i sali, acquisizione chiara per i chimici professionali, ma non altrettanto per i profani.³³ L'importanza da lui attribuita a tali considerazioni è confermata dallo scrupolo che lo induce ad allegare alle relazioni i campioni ricristallizzati: «ho poi anche ridotti in forma concreta, coll'evaporazione al fuoco, li medesimi sali così depurati, onde si conosca, esaminandoli, che tutti (come dissi) sono di un'istessa natura, al quale oggetto rassego all'Eccellenze Vostre un saggio di ciascuno».³⁴

Le varietà sono dovute a sostanze eterogenee che sono, grosso modo, di due categorie: una derivante dal tipo di saline e dalle modalità di raccolta, e l'altra attribuibile in prevalenza alla materia prima ed acquisite durante la precipitazione. A proposito delle «materie fecciose separatene colla prima filtrazione» ricorda che «quantunque queste osservazioni diano dei lumi per compararli, esse non sono però rigorosamente valutabili».

Le due perizie, sostanzialmente sovrapponibili per la discussione e le procedure, com'è ovvio date le circostanze di stesura, si differenziano tuttavia in alcuni punti.

Rispetto a quella relativa a cinque sali (*incipit* «Comparete ...»), l'altra (*incipit* «Eseguendo ...») presenta una tabella riassuntiva diversa. In quest'ultima risultano indicate separatamente le due componenti insolubili: la «quantità di sabbia e altre grossolane immondezze» e la «terra sottile e libera».³⁵ Considerato poi che la perdita a caldo è diversa per i tre sali tale dato viene ritenuto

³¹ A. BISSANI, *Una perizia ...*, cit.

³² Biblioteca Comunale di Verona, *Mss., Fondo Arduino*, b. 757, fasc. I. d, (*incipit*: «Comparete ...»).

³³ Non sembra fuori luogo l'insistenza di Arduino: tali incertezze erano diffuse all'epoca; cfr. R.F. MURRAY, *Neptune's gift ...*, cit., p. 125.

³⁴ Biblioteca Comunale di Verona, *Mss., Fondo Arduino*, b. 757, fasc. I. d, (*incipit*: «Eseguendo ...»).

³⁵ Non viene spiegato come procede a differenziarle (forse una per sedimentazione e l'altra per filtrazione); nell'altra perizia osserva che si tratta di una «sottilissima terra libera, così detta dai chimici perché dall'acido non salificata». Anche Baumé distingue tra una terra costituita da argilla e una di tipo calcareo; cfr. A. BAUMÉ, *Chymie ...*, cit., III, p. 547.

poco significativo e si preferisce registrare il dato igroscopico ottenuto in circostanze equivalenti dai sali in precedenza essiccati: l'umidità originaria può infatti non essere intrinseca, ma dipendere dal tempo trascorso dopo la raccolta come pure dalle modalità di conservazione. Relativamente alla tabella dei risultati osserva che «le colonne da aversi principalmente in considerazione per riconoscere le differenze di forza de' medesimi sali sono la seconda e la quinta. La prima colonna non dà un carattere costante, per le ragioni già addotte; e per la terza e la quarta, supplisce bastevolmente la quinta; poiché le differenze di attratta umidità, nella medesima espresse, dipendono da quelle delle dosi del sale spurio a base terrea, e deliquescente». Non è forse estranea a questo suggerimento la considerazione che la prova di igroscopicità, valutata molto significativa anche rispetto all'uso, è eseguibile pure da persone prive di competenze tecniche e sprovviste di reattivi chimici ed utensili particolari (filtri, imbuto ecc.): sono sufficienti dei «vasi larghi e pochissimo fondi di porcellana», cioè dei semplici piatti, una bilancia ed un fornello.

Al di là di questa differenza, che non altera la sostanziale unità e validità del metodo, vanno sottolineate altre caratteristiche che rispetto agli esempi precedenti rendono originale ed efficace l'analisi di Arduino. Come detto in precedenza il quadro dei risultati di Baumé riporta tre dati: la determinazione dell'aliquota insolubile, il calcolo del tenore in sale marino a base terrosa, e la determinazione del sale marino vero e proprio per cristallizzazione dalla soluzione filtrata. Il nostro autore non riporta quest'ultimo dato e preferisce dar conto o della perdita a fuoco o delle due componenti insolubili, ma soprattutto dell'umidità attratta dai sali, determinazione assente in ogni altra procedura. Vi è poi il valore relativo alla precipitazione con la soda ed il conseguente tenore presunto in sali a base terrosa.

Lo schema valutativo di Baumé è in un certo senso invertito: questi ricava la forza del sale dal dato della ricristallizzazione mentre Arduino la determina in base all'effetto igroscopico provocato dalle sostanze contaminanti.

Qui in effetti sia rispetto all'uso che alla composizione sta il suo contributo principale: ciò che caratterizza maggiormente il sale non è tanto la componente insolubile, casuale, variabile e pressoché inerte, ma la presenza dei sali di calcio e magnesio dai quali dipende il tasso di umidità che determina a sua volta l'aliquota del sale puro e può altresì orientare le circostanze d'impiego.

La determinazione del dato igroscopico non per riscaldamento, ma per assorbimento in circostanze controllate e riproducibili, conferisce alla procedura descritta una significatività ed una completezza non presente nei procedimenti di altri autori, compresa l'analisi di Baumé che, per quanto risulta, è la prima sufficientemente corretta sotto il profilo qualitativo e quantitativo.

In questo quadro la differenziazione dei sali operata da Arduino acquista una sua concretezza: nell'esaminare i cinque sali (*incipit* «Comparete...») egli rileva per esempio che il sale di Tripoli presenta la maggior quantità di sali a base terrea, ma la corrispondente bassa umidità acquisita per esposizione all'aria

fa ritenere che essi non siano, almeno in parte, deliquescenti. Per il sale di Trapani vale la considerazione opposta: il rilevante dato igroscopico indica che la bassa quantità di sali terrosi è quasi tutta costituita da sali deliquescenti.

I risultati ottenuti permettono all'autore di dare qualche indicazione sul processo produttivo: considerando i sali di S. Maura per esempio

(*incipit*: «Comparete...») conviene riflettere che la loro disposizione ad attrarre dall'aria maggior copia d'umido degli altri tre sali dipende unicamente dalla soverchia umidità, che seco portano dalle saline. L'acqua, di cui allora restano impregnati, contenendo la massima porzione del sopraddetto sale a base terrea deliquescente che esisteva in ogni salina, ve lo ritiene tenacemente. [...] Parlando in particolare del sale bianco di S. Maura: se fosse agevolmente eseguibile di ridurlo più asciutto nelle saline prima di porlo nei magazzini, esso sarebbe uguale a quello di Trapani, dal quale anche nelle presenti circostanze poco differisce, e ad altri sali a un di presso consimili. Scolandone in tal caso, più perfettamente l'acqua, essa seco trasporterebbe molto del suo sale deliquescente a base terrosa: diverrebbe in conseguenza meno attraente l'umido, e più forte.⁵⁸

Nell'altra perizia (*incipit*: «Eseguido...») si osserva che pur avendo il sale di Barletta una presenza di materiale inerte superiore a quello bianco di Santa Maura «ha anche attratta minor copia di umidità, d'onde ci dà a conoscere di possedere qualche maggior forza». Il sale scuro di Santa Maura «si carica di maggior peso di umidità e quindi si ha fondamento di giudicarlo proporzionalmente meno energico degli altri due, e più mite nei suoi effetti».

I ragionamenti di Arduino vengono ulteriormente illustrati nella parte conclusiva di questa perizia che presenta un interessante confronto tra una procedura da poco resa nota e la sua. Un autore, rimasto anonimo, si era posto alcuni anni prima l'obiettivo di discriminare qualitativamente una serie di sali mediante

⁵⁸ L'opportunità di una stagionatura del sale dopo la raccolta sembra suggerita ad Arduino da considerazioni chimiche, ma non gli è probabilmente ignoto che tali procedura ha precisi riscontri altrove: a parte l'accento in Plinio, il sale prodotto a Pécais in Francia, su tassativa disposizione reale, era lasciato in mucchi anche per cinque anni prima di esser posto in commercio «pour lui faire perdre cette amertume et cette acreté», cfr. rispettivamente PLINIO, *Nat. Hist.*, XXXI, 7; J. MONNET, *Mémoire...*, cit., p. 450. Dalla descrizione di quest'ultimo appare evidente che le acque madri non venivano allontanate nelle fasi finali della cristallizzazione ed il prodotto era depurato per dilavamento dalle acque meteoriche. Come ricorda Marsili i cumuli di sale erano abbandonati «à l'injure du tems, qui purge le sel de cette amertume pendant trois ans au moins». Tale esperienza anzi confermava a suo dire l'origine del gusto amaro che, «provenant des parties volatiles bitumineuses à besoin du tems et de l'air pour se dissiper»; cfr. L.F. MARSELLI, *Histoire...*, cit., pp. 35-36. Un trattamento analogo veniva fin dall'antichità applicato ai sali di Cervia; cfr. M. MERCATI *Metalloteca*, Roma, Salvioni 1717, *Armanion II. Sal, et Nitrum. De salis generibus*, pp. 25-51. All'inizio dell'800 da parte di uno studioso milanese si suggeriva di provocare per riscaldamento la formazione in superficie di una crosta compatta nei cumuli di sale e di lasciarlo poi stagionare fino a completo drenaggio dei sali igroscopici; P. SANGIORGIO, *Dei sali di Cervia saggio storico-chimico*, Milano, Agnelli 1804.

una tabella numerica e convenzionale nel modo il più possibile oggettivo a partire da alcuni dati osservativi.

Vengono preliminarmente stabiliti undici criteri, qualitativi e quantitativi, basati a loro volta sulle indicazioni di Hoffmann, in ordine crescente di importanza. Per ognuno di essi si differenziano i sali collocandoli in una scala dal peggiore al migliore. Essendo nove i sali esaminati dall'anonimo, al migliore spetta sempre il fattore 9. Si procede poi a stabilire il punteggio calcolando «la raison composée du rang des propriétés, et du rang des sels dans les diverses expériences».

Nell'esame, poniamo, della «plus grande siccité apparente», che nella sequenza dei criteri è collocata al primo posto, al miglior sale spettano $9 \times 1 = 9$ «dégrés de bonté». Rispetto alla «moindre déposition de terre dans la filtration des sels naturels», che nell'ordine dei caratteri occupa l'ultimo posto, al miglior sale spettano $9 \times 11 = 99$ «dégrés de bonté». I criteri determinano la qualità ognuno per un fattore diverso, variante da 1 a 11. La graduatoria in tal modo ottenuta viene integrata con il contributo di due parametri supplementari: la «plus grande quantité des sels purs retirée de la cristallisation et de l'évaporation, tant dans l'état naturel qu'après la décrépitacion» e la «plus grande quantité d'esprits, recueillis de la distillation».

La tabella finale viene redatta sommando i diversi punteggi assegnati ad ogni campione.²⁷

In merito a questo procedimento è opportuno lasciare la parola ad Arduino stesso.

Un Autore anonimo, che ha confrontati chimicamente li sali di Castiglione e di Volterra in Toscana, di Almata, Erizza, Trapani, Tripoli, e di Santa Maura e di Hall; ha considerato i loro rapporti secondo le seguenti undici proprietà, che dà per caratteri della maggior perfezione. [...] Essendo le ricerche ed i sentimenti dello stesso anonimo inseriti in un tratto pubblicato non ha molto, in Italia, e noti a molti; e non avendo io giudicato conferente di seguire la medesima via, debbo indicarne, almeno in succinto, la ragione; ma però senza entrare nei di lui dettagli, e nelle conseguenze che ne deduce, tal volta erronee, o contraddittorie.²⁸

²⁷ *Mémoire sur l'étendue des salines, leurs divisions, la consommation de l'eau, leur produit, avec l'analyse succincte des espèces des sels qu'elles produisent*, in L.G. de CAMBRAY-DIZOY, *Description d'une machine à feu construite pour les salines de Castiglione avec des détails sur les machines de cette espèce les plus connues, et sur quelques autres machines hydrauliques, suivie d'un mémoire sur la construction des salines et sur la qualité des sels etc.*, Parma, Carmignani 1761, pp. 105-164. L'autore, fuasionario del Granduca di Toscana, considerando che «l'on ne pouvoit faire [l'examen] sous un plus grand nombre de point de vue», riferisce di aver riportato «en abrégé les opérations d'un très habile chimiste, qui en rend compte dans un long mémoire rempli de recherches fondées sur les sentiments d'un grand nombre d'auteurs qui ont écrits sur cette matière». Una breve sintesi compare nel «Giornale d'Italia spettante alla Scienza Naturale, e principalmente all'Agricoltura, alle Arti, ed al Commercio», 1767, 3, pp. 17-21.

²⁸ Nel manoscritto (incipit: «Comparete...») Arduino cita il suo interlocutore per sommi capi, ma le sue osservazioni si riferiscono al contenuto dei vari paragrafi.

Anonimo	Arduino
<p>1) Plus grande siccité apparente. «La siccité des sels est toujours un indice de bonné, car celui qui sera plus sec aura plus d'activité, mais il faudra distinguer l'humidité externe de l'humidité interne». Quella interna è dovuta a un vizio intrinseco del sale in seguito alla cristallizzazione o alla presenza di sostanze alcaline. Quella esterna è accidentale e deriva dall'umidità dell'aria; non è pertanto un difetto intrinseco del sale.</p>	<p>La di lui prima proprietà spesso è accidentale; ed in qualunque caso viene manifestata dalla seconda poichè il minore scapito di peso nella decrepitatione dei sali è indizio di maggiore secchezza.</p>
<p>2) Moindre dechét dans la décrépitation. Dipende dall'aria, o dall'acqua, o da ambedue come afferma Hoffman.</p>	
<p>3) Plus grande pureté des cristaux. Sotto questa voce viene considerato sia il sedimento separato per filtrazioni che quello ottenuto per aggiunta di sale tartaro.</p>	<p>La terza e l'undecima proprietà debbono in una sola considerarsi, essendo chiaro che la minor quantità di feccia corrisponde proporzionalmente alla maggiore purità dei sali.</p>
<p>4) Plus grande dureté des cristaux. Effetto di una maggiore abbondanza di sostanza salina e prontezza di cristallizzazione con conseguente minor presenza di sostanze estranee che diminuiscono la coesione. Si tratta di un carattere poco significativo.</p>	<p>La quarta non può recare gran lume per la conoscenza dei sali, potendo non di rado la maggiore o minore durezza dei cristalli salini dipendere dai modi, e circostanze dei cristallizzamenti. Così non sarebbe, se la diversità di durezza nei cristalli del sal marino derivasse sempre dal solo mescolgio della terra libera e dei sali eterogenei al medesimo.</p>
<p>5) Plus parfaite neutralité. «La propriété de préserver les chairs de la putréfaction est généralement accordée au sel commun, et Hoffmann l'attribue à sa disposition naturelle à se dissoudre, qui fait que s'insinuant facilement dans les pores, il en chasse l'humidité superflue. Cependant cette propriété ne convient absolument qu'aux sels parfaitement neutres, où ne prédomine aucune substance alcaline ou sulfurée qui augmenterait dans le sel la facilité de s'impregner de l'humidité de l'air ...». La tinta verde delle soluzioni saline trattate con sciroppo di violetta, sia pure poco pronunciata, consente di stabilire una scala dove «le sel où le changement s'est fait plus lentement est préférable parce que l'alcali y prédomine moins».</p>	<p>La quinta è una proprietà erronea avendo dimostrato il celeberrimo chimico Mr Baumé che nei sali marini vi è costantemente perfetta neutralità, senza alcuna soprabbondanza di acido, né di Alkali; e che qualche fenomeno atto a far sospettare l'esistenza di un alcali soprabbondante, è l'effetto della terra calcarea libera.</p>

<p>6) Plus grande abondance des cristaux. Tale dato è ricavato procedendo ad una ricristallizzazione delle soluzioni: Hoffman «assure que le sel qui donne plus de cristaux est le plus propre aux usages domestiques et aux salaisons».</p>	<p>La sesta è superflua, perché nella terza si comprende; certo essendo che al sale più puro deve corrispondere maggior copia quando dopo la soluzione, e filtrazione, si riduce di nuovo a cristallizzazione.</p>
<p>7) Moindre facilité à se dissoudre à l'air humide. «Trois causes peuvent rendre [le sel] plus susceptible de dissolution: la petitesse des ses molécules, sa plus grande porosité, le mélange des parties hétérogènes plus ou moins absorbantes».</p>	<p>La settima, essendo una proprietà essenziale e caratteristica nelle specie di sali, essa è da me pure, e principalmente considerata nell'arguire le differenze di bontà tra sale e sale.</p>
<p>8) Moindre quantité de matière combustible reconnue par le sédiment de la filtration après la décapitation. La differenza di risultati rispetto all'undicesima prova è attribuita al consumo di materie combustibili prodotti durante il riscaldamento.</p>	<p>L'ottava non può trovarsi nel sale, che come materia estranea ed accidentale; e non già secondo il sentimento dell'autore, il quale suppone nei sali immedesimata della sostanza flogistica, cioè combustibile. Il sopraddetto M^r. Baumé, dimostratore di chimica nella Reale Accademia delle Scienze di Parigi, che ha fatte diligentissime analisi di molti sali, e acque salse, ad istanza del Fermiere Generale del Regno, non vi ha mai potuto scoprire né zolfo, né olio, né Bitume, né alcun'altra materia infiammabile.</p>
<p>9) Plus grande acidité de flegmes dans la distillation. La miscela «d'acides et d'alcali, qui forme la substance saline du sel commun, n'est pas dans un proportion égale, [...] l'expérience rapportée à l'article III fait connoître que l'alcali y prédomine. [...] Pour connoître ensuite les degrés d'acidité, l'auteur se servit du sel de tartre fixe, qui est un alcali, dont il mêla dans les flegmes les doses suivantes jusqu'à parfaite saturation de l'acide»</p>	<p>La nona proprietà, anziché dinotare maggiore purezza del sale, fa all'opposto conoscere ch'esso contiene tanto maggiore quantità di sali a base terrea quanto più il suo flegma è acido. La speranza ha fatto discernere che l'azione del solo fuoco, senza intermezzi appropriati, non vale a scomporre il vero sale marino; e che lo spirito acido, da esso in tal caso somministrato, proviene dai sali terrosi, scomponibili in parte dalla forza del calore.</p>
<p>10) Plus grande concentration et activité des esprits. Si misura dapprima la gravità specifica delle soluzioni ottenute raccogliendo i vapori acidi ottenuti per distillazione; poi «pour régénérer le sel commun, les chymistes prennent une quantité d'alcali fixe, et l'ayant dissous dans un volume d'eau proportionné, y mêlent goutte à goutte de l'esprit de sel autant qu'il en faut pour rendre la solution</p>	<p>Per la decima non può giudicarsi precisamente della forza dei sali. La maggiore, o minore quantità di acido, ed il più o meno di sua concentrazione, spesso dipendono da tali cagioni e circostanze, che non concludono a senso dell'Anonimo.</p>

parfaitement neutre, c'est à dire jusqu'à ce que l'effervescence continue dans la dissolution alcaline». La corrispondenza tra i due test permette di differenziare i sali.	
<p>11) Moindre déposition de terre dans la filtration des sels naturels. Moindre déposition dans la filtration des sels décrépités.</p> <p>Vengono considerati sia il sale naturale che quello rimasto dopo la decrepitazione. I due residui sono diversi: nel primo sono presenti anche le sostanze bituminose che nel secondo sono assenti poiché consumate durante il trattamento termico. Tuttavia le due prove danno risultati concordanti.</p>	

Il confronto dei sali istituito da Arduino, a differenza di quello dell'anonimo, viene stabilito in base a riproducibili criteri di origine sperimentale, non su base osservativa o convenzionale. Non vengono inoltre presi in considerazione, né i caratteri supplementari né le modifiche, pur orientate in senso quantitativo, dell'autore della *Description*.

Può essere interessante confrontare l'analisi svolta da Arduino con quella di un chimico piemontese, Bonvicino, che circa 15 anni più tardi si trovò alle prese con un problema analogo.²⁹

Anche tale autore individua due tipi di impurezze: quelle acquisite durante la precipitazione e mescolate grossolanamente al prodotto, variabili secondo le circostanze. Di tali presenze si può dare solo un'idea probabile. Diverso il discorso per altre sostanze: «la partie de l'analyse qui regarde les principes combinés et constitutifs, elle me paroît plus constante par les raisons qu'on peut aisément apercevoir».

L'analista prosegue poi con numerose prove chimiche che gli permettono di identificare l'esistenza di selenite, terra calcarea e terra magnesiaca, combinate queste ultime con l'acido marino. Quanto poi all'impiego egli insiste dapprima sull'innocuità dei sali (di tutti i sali esaminati) e poi sottolinea che la diversa attitudine alla salagione dipende dall'umidità presente, a sua volta legata al tenore dei cloruri di calcio e magnesio.

Anche Bonvicino espone i suoi sali all'aria umida, ma non ne ricava un criterio di valutazione; le prove di essiccazione fanno comunque ritenere che le perdite siano collegate alla presenza dei sali terrosi deliquescenti: «le plus pur et le

²⁹ C.B. BONVICINO, *Analyse chimique et comparée de la plupart des sels marins qu'on distribue au public dans les États de S.M.*, «Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de Turin», 1788, année 1786-87, pp. 645-657.

moins déliquescent est toujours préférable». Complessivamente dunque, i risultati del chimico piemontese, condotti con procedimenti chimici più sofisticati di quelli di Arduino, conducono ai suoi stessi risultati; dal punto di vista della praticabilità anzi il metodo dello studioso veronese è ancora da considerarsi più semplice ed efficace.

Di maggior spessore, anche perché i vent'anni nel frattempo trascorsi sono stati tra i più densi della storia della chimica, il lavoro di un autore inglese su numerosi campioni, compiuto al fine di valutare «whether [the] preference of foreign salt be founded on accurate experience, or be merely a matter of prejudice». Oltre alla presenza di materiale insolubile vengono distinti alcuni sali, identificati come cloruri e solfati di calce e magnesia. Le proporzioni di tali impurezze, leggermente più abbondanti nel sale di produzione nazionale, sono attribuibili secondo l'autore alle modalità dei processi di cristallizzazione.⁴⁰ La igroscopicità dovuta al cloruro di magnesio residuo è da attribuirsi all'umidità aderente al sale, la cui quantità è maggiore se la grana dei cristalli è minore. L'analisi di Henry, che per i motivi citati, sotto il profilo chimico non è confrontabile con quella di Arduino, dal punto di vista pratico non dice molto di nuovo. Le scrupolose procedure dell'autore inglese, se raggiungono lo scopo di evidenziare le scarse e non fondamentali diversità tra il sale estero e quello domestico, non si risolvono poi in tecniche semplici ed efficaci per la differenziazione.⁴¹

Non sappiamo se e in che misura la metodica di Arduino che, almeno per quanto risulta, è la prima analisi di sali commerciali che dà risultati quantitativi per tutti i caratteri considerati rilevanti, sia stata effettivamente applicata; in ogni caso essa avrebbe conservato la sua validità anche in seguito.

Per completezza merita accennare, alla fine di questa disamina, a due altre relazioni, redatte nel 1790 e nel 1794. Mentre nella seconda, svolta in età ormai avanzata, egli rinuncia ad un esame chimico vero e proprio dando una breve rassegna dei caratteri esterni degli otto sali esaminati, quella del 1790 presenta qualche elemento di interesse.⁴²

Come già in passato i Provveditori al Sal gli chiesero «se li sali grossi recentemente fabbricati nelle saline di Potamò in Corfù sieno della medesima granitura, colore, e attività di quelli grossi di Santa Maura».

«Quanto all'oculare esame — riferisce Arduino — ho veduto che simile è d'ambidue la granitura ed il colore; se non che quello di Potamò si mostra un poco più bello, più netto di quello di Santa Maura». Per quanto

⁴⁰ I sali sono ottenuti evaporando in caldaia a temperature più o meno elevate.

⁴¹ W. HENRY, *An analysis of several varieties of British and Foreign salt, (mariate of soda) with a view to explain their fitness for different economical purposes*, «Philosophical Transactions of the Royal Society of London», 1810, 100, pp. 89-122.

⁴² Biblioteca Comunale di Verona, *Ms. Fondo Arduino*, b. 757, fasc. I, h. 3/4/1790 (incur): «In conformità...».

riguarda l'attività egli richiama l'attenzione sul fatto che il primo «è meno infetto di terra libera» dell'altro, avvertendo però che vi sono problemi di campionatura: «la terra libera mescolata nei sali, essendo accidentale, non vi può essere in ogni parte della massa de' medesimi in un'istessa quantità, ma in dosi molto varie, secondo le fortunate circostanze del loro raccoglimento».

«Oltre alla terra libera — continua Arduino — trovansi nei sali muriatici, ossia comuni, altre terre naturalmente seco miste e combinate con l'acido muriatico sotto forme saline, cioè la calcaria e la magnesia, costituenti il sale marino a base terrea».⁴¹ Tale distinzione, si ricorderà, era assente nelle precedenti perizie. La sottolineatura documenta l'attenzione con cui l'autore segue l'evolversi delle conoscenze chimiche, oltre a rifletterne la vena didascalica, vena confermata dalla precisione con cui viene riportata la reazione di doppio scambio che si instaura in seguito al trattamento con soda: «l'acido muriatico de' prefati sali terrosi, per forza di sua maggiore affinità con esso natro che con dette terre, quelle abbandona, precipitandole, e con lo stesso natro combinasi in perfetto sale comune».

Il contenuto in sale, comprensivo di quello così ottenuto, è tale che il «sale da Potamò di Corfù anche nel grado di sua attività è a quello di Santa Maura affatto uguale, come gli è simile nella granitura e nel colore» come conferma il quadro analitico allegato:

Sale di Santa Maura segnato A. Una marca = once 8

Con acqua raccolta da pioggia, a misura medica libbre 3

Filtrata li 26 per filtro pesante karati 13; 1.

Seccato il filtro cioè la terra in esso rimasta pesa grani 49, cioè per marca karati 12 1/4. fanno per ogni libbra karati 24 1/2 e per ogni libbre 100 karati 2450. Sono once 17; karati 2; cioè libbre 1; once 1; karati 2.

Precipitata la magnesia con cristalli di soda di Spagna once 2/4 è risultata, detratto il filtro grani 65; cioè calcaria e magnesia karati 16 1/4.

Sono per ogni libbra di sale karati 32 1/2, e per ogni libbre 100 karati 3250; fanno once 22 1/2; karati 10; [cioè] libbre 1; once 6 1/2; karati 10.

Il sale dopo tale purgazione, ridotto secco al fuoco, pesa once 7

Sale della nuova salina di Corfù segnato B una marca = once 8.

Con acqua, ut supra mediche libbre 3.

Filtrata li 26 per filtro pesante karati 13 3/4.

Seccata col filtro, la terra rimastavi, essa pesa grani 42; cioè karati 10 1/2 fanno per ogni libbra 1 karati 21, e per ogni libbre 100 karati 2100; sono once 14 1/2; karati 12.

Precipitata la magnesia con cristalli di soda di Spagna once 2/4 è risultata, detratto il filtro grani 65; fanno karati 16 1/4 che sono per libbre 1 karati 32 1/2 e per ogni libbre 100 karati 3250; fanno once 22 1/2 karati 10, cioè libbre 1; once 6 1/2 karati 10.

Il sale dopo tale purgazione, pesa once 7; karati 2.

⁴¹ Qui Arduino ha ben presenti le osservazioni nel frattempo formulate da T. BERGMAN, *De Magnesia*, in *Opuscula physica et chemica*, Lipsia, Muller 1788, pp. 343-380, nel quale l'autore, rispetto alla differenza tra calce e magnesia, trova ancora opportuno avvertire: «tanta haec est discrepantia, eademque constans, ut confundi amplius non debeant hae materiae».

Di impostazione leggermente diversa l'ultima relazione, svolta nel 1794 su otto sali, al fine di dare «distinta esposizione dei gradi rispettivi di forza salificante di ciascuno di essi».⁴⁴

Dopo la consueta premessa, una costante di tutte le perizie, sull'identità chimica dei sali marini, «che hanno l'identica attività nel salamento delle materie, per le quali si usano», egli restringe la sua indagine alla determinazione delle sostanze «eterogenee, non saline, acquee e terrose» con due sole misure, il materiale insolubile e l'acqua presente. Il dato percentuale ottenuto sottraendo il risultato ponderale relativo a tali sostanze fornisce automaticamente «il grado di forza nel salamento delle cose salabili [che] è in proporzione della quantità della pura sostanza salina».

Nessuna discussione qui sulla presenza di sali non sodici, né quindi sulle proprietà igroscopiche che avevano in precedenza richiamato la sua attenzione; ciò forse è dovuto, se non si presuppongono elementi esterni, alla semplicità del quesito postogli: in questo caso, data la scarsa formalità della richiesta, espressagli verbalmente, egli si limita allo stretto necessario.

LE TABELLE DENSIMETRICHE DI MARCO CARBURI

Nel secondo 700 venne tentato un approccio diverso alla valutazione della qualità del sale comune mediante un metodo, si potrebbe dire, più fisico che chimico: la determinazione delle densità delle soluzioni.

Lo studioso tedesco Lambert ricorda che nel commercio dei sali la quantità viene spesso rilevata mediante misure di capacità anziché di peso.⁴⁵ In tal caso però alcuni fattori contribuiscono a falsare in parte la determinazione. L'autore osserva che il peso specifico del sale rispetto all'acqua è 2,148. In condizioni normali però la massa del sale in grani contiene numerosi spazi vuoti che contribuiscono molto a minorare il peso senza contare che la parte inferiore del recipiente, dove il sale è più compresso, ne contiene di più della superiore: l'altezza quindi non è proporzionale alla quantità.

Notevole rilievo ha anche il tipo di cristallizzazione posseduto dal sale: se questa è ottenuta mediante evaporazione rapida i cristalli risultano piccoli e irregolari ed occuperanno più spazio rispetto a quelli ottenuti con evaporazione lenta.

Tali considerazioni trovano conferma in una serie di prove eseguite su cam-

⁴⁴ A. SAGRADO, *Scritture inedite del doge Marco Foscarini e di Giovanni Arduino pubblicate al compiere dei suoi studi Girolamo Dian*, Venezia, Gaspari 1854 (ristatura 60 esemplari); l'originale è conservato presso la Biblioteca del Museo Correr di Venezia, Msc., PD. 547/C. 14.

⁴⁵ J.H. LAMBERT, *Expériences sur le poids du sel et la gravité spécifique des saumures*, «Histoire de l'Académie Royale des Sciences et Belles Lettres», (Berlin) 1769, année 1762 (18), pp. 27-65.

pioni diversi: un medesimo volume può esser occupato da quantità di sali in rapporto da 8 a 11 e se si usano recipienti particolarmente alti lo scarto può estendersi da 6 a 11: «c'est à dire presque du simple au double; ce qui fait voir qu'en achetant ou en vendant le sel par mesure, on peut se tromper encor plus fortement».

Lambert procede a misurare con grande cura pesi e volumi di soluzioni saline diverse fino a ricavare una relazione tra il peso del sale disciolto e il peso della soluzione corrispondente; con questa redige poi una tabella che, mediante una proporzione, permette di risalire, dalla misura del rapporto in peso tra il volume di una soluzione e quello dell'acqua pura, a «déterminer combien il y a de sel dans une saumure proposée quelconque». Secondo l'autore inoltre il procedimento consente la soluzione di altri problemi: per esempio «quand on a une saumure foible et qu'on veut savoir combien il faut en faire évaporer jusqu'à ce qu'elle commence à produire des cristaux», oppure «si on achete le sel au poids, et qu'il soit fort humide, trouver combien il y a d'humidité, et combien par conséquent on achète moins de sel, qu'il s'étoit bien sec».

La memoria si conclude con la descrizione del procedimento per tarare gli areometri al fine di avere una risposta immediata e con l'estensione del metodo ad altre sostanze, purché solubili almeno quanto il cloruro sodico.

Tanto denso di contenuto algebrico il procedimento ideato da Lambert quanto volutamente empirico quello di Carburì, che non risulta conoscere il precedente, nonostante ne sia stata data notizia in un periodico diffuso nel Veneto.⁴⁶

Il docente padovano, che nella sua introduzione dà un quadro parziale degli studi precedenti,⁴⁷ osserva che «tra le tante sagacissime ricerche sul sale, non si vedea traccia d'un metodo per determinare a vantaggio degli usi quotidiani, che ne fanno gli uomini, i differenti gradi di attività delle diverse sue spezie». Egli parte dalle conclusioni di Lémery e colleghi relative al sale di Pécais, e precisamente sul punto già ricordato relativo alla ricordata relazione da essi stabilita tra qualità del sale e carattere igroscopico.

Le sue prove lo portano a concludere che i sali che «coll'infusione dei due alcali fissi nelle loro soluzioni si dimostrano più puri delle altre dieci descritte spezie di sali, son anco, non meno dai seguenti esperimenti, che dall'esperienza in grande del loro uso, dimostrati i più atti di tutti gli altri». Inoltre questi stessi sali «vengono dall'aria asciugati, e spogliati del notato loro umido, e si mantengono

⁴⁶ *Sperienze sopra il peso del Sale, e la gravità specifica delle salamaje fatte ed analizzate dal Signor Lambert*, «Giornale d'Italia spettante alla Scienza Naturale, e principalmente all'Agricoltura, alle Arti, ed al Commercio», 1770, 6, p. 273.

⁴⁷ A Carburì sfuggono il prospetto di Hoffmann, l'anonimo considerato da Arduino e la tabella di Baumé. Nessun cenno neppure ad un incarico ricevuto nel 1773, pressoché simultaneo a quello assegnato ad Arduino, «sopra l'occorrenza di conseguire la precisa individuazione delle specifiche differenze relative all'attività di varie qualità di sali...»; ASV, *Riformatori allo Studio di Padova*, b. 38, c. 218 (4/9/1773). Di tale incarico non risultano altri riscontri.

gono asciutti, in proporzione del loro maggior grado d'intrinseca purità, ossia d'attività». Il confronto tra i due aspetti sperimentali dimostra che «i diversi gradi di facilità, ch'essi hanno d'inumidirsi all'aria od a liquarsi del tutto, sono proporzionati all'intrinseca loro impurità, ossia debolezza».

Se i chimici francesi avessero potuto fare queste esperienze con questi sali «non avrebbero certamente enunziato, che una delle proprietà del sale comune è d'inumidirsi tanto più facilmente, quant'egli è più puro, proposizione, alla quale direttamente contraddicono in fatti esposti fin ora».

Vale inoltre la considerazione che la perdita d'acqua a caldo può costituire un indice di qualità solo per quelli che contengono i sali terrosi; per gli altri, non igroscopici, il tenore in acqua dipende dal tempo trascorso dalla produzione e dalle condizioni di conservazione.

Non è adatto a valutare l'attività della derrata neppure il peso, anche se determinato in situazione controllata e riproducibile: a tal scopo egli determina il peso di volumi uguali dei prodotti esaminati sia come provenienti dalle saline, sia «ammaccati, e ridotti a parità di grana con uno staccio», ed anche «perfettamente asciugati col calore da tutta l'esterna loro umidità». Le differenze osservate dimostrano che «l'esperimento del peso della loro misura, conduce a false conseguenze, sì rispetto alla chimica precisione, che agli usi loro economici, ed ai calcoli della pubblica economia», poiché ad esso contribuisce infinitamente il loro umido, che spesso vale a rendere una misura di sale più debole, considerabilmente più pesante della stessa misura riempita di sale molto più attivo».

Sempre in riferimento all'analisi di Lémery e colleghi egli osserva che risultati inesatti si ottengono anche misurando la densità di soluzioni filtrate, sia per via dell'evaporazione che per il sale presente nella soluzione che intride il filtro. Le difficoltà del metodo degli autori francesi sottolineano «la necessità di sostituirne uno più esatto e più semplice».

La sua proposta consiste nel misurare con esattezza la densità di soluzioni non filtrate dopo aver fatto sedimentare la parte insolubile. Essa non interferisce con la misura e per quanto riguarda la «porzione di sale marino a base terrestre [...] mi dimostrò l'esperienza, che questa porzione di terra mai forma sensibile differenza di peso specifico tra una soluzione di sale comune purissimo con unica base alcalina, ed una di sal comune intimamente imbrattato di sale comune con base terrestre». Le differenze di peso specifico pertanto «unicamente provengono dall'effettive differenze di quantità di materia salina in essi contenuta».

Per determinare il contenuto dei diversi campioni si procede al confronto con soluzioni a titolo noto di salemma, adatto a costituire la sostanza di riferimento, privo com'è d'acqua, di materie estranee e di sali terrosi.

Il metodo proposto dal docente padovano presenta interesse per la critica alle precedenti metodiche, per il rigore quantitativo e per l'accuratezza operativa che sottintende nell'autore, ma non possiede grande efficacia pratica: a parte

L'impiego della bilancia idrostatica e la manipolazione della vetreria, non adatti a personale inesperto, essa non corrisponde ad una fondamentale esigenza di questa analisi merceologica, che non si esaurisce nella valutazione del contenuto in cloruro sodico, ma necessita di differenziare i sali in relazione alle componenti da cui dipendono amarezza e igroscopicità. Anche rispetto al procedimento di Carburì quello di Arduino mantiene originalità ed efficacia.

ETTORE CURI (*)

Il dibattito tra elettrochimici e voltiani in Italia (1800-1860)¹

Summary - In the first half of the XVIII century there was a large and lively debate throughout the scientific Europe, about the origin of the electricity in the Volta's pile.

The debate developed between those who sustained the chemical origin of the pile and those who attributed its origin to the simply contact.

All the important scientists from H. Davy to Faraday, from J. Berzelius to Bequerel were involved.

In Italy the debate was particularly lively and concluded only at the very beginning of this century with Fermi's studies.

La scoperta della pila, da parte di Alessandro Volta, è avvenuta attraverso un lungo percorso di ricerca che può essere riassunto in quattro tappe fondamentali: la prima e forse la più importante fu raggiunta nel 1782, quando il comasco creò l'elettrometro condensatore, che² fu l'apparecchio che gli permise di percepire e misurare differenze di potenziali anche debolissime.

La seconda va individuata dieci anni dopo, quando nella disputa con Galvani, Volta ebbe la geniale intuizione che gli consentì di indicare nei muscoli della rana dei sensibilissimi elettroscopi che percepivano la piccola differenza di potenziale scatenata dall'arco bimetallico.³

(*) Accademia di Agricoltura, Scienze e Lettere di Verona.

¹ Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

² A. VOLTA, *Del condensatore, ossia del modo di rendere sensibilissima la più debole elettricità sia naturale sia artificiale*, *Philosophical Transaction*, t. 72, parte I, 1782.

³ Si accenna spesso ad una priorità di G. Valentino Fabbroni nella osservazione di fenomeni di tipo galvanico ma lo stesso Fabbroni, fin dal 1792, attribuì i vari fenomeni ad una causa chimica e non ad un agente presunte inconnu tal que le feu électrique. *Sur l'action chimique des differens metaux entr'eux, à la temperature commune de l'atmosphère, et sur l'explication de quelques phenomenes galvaniques*, *Journal de Physique de la Métherie*, t. 49, 1799, p. 348.

Successivamente don Alessandro, convinto della teoria del contatto, misurò le deboli differenze di potenziale che si manifestavano al contatto di due metalli diversi e poté, così, compilare una vera e propria scala dei potenziali dei metalli fino ad allora conosciuti e che per Volta andava dallo zinco fino al carbonio.⁴

Infine il trionfale ritrovato di interporre tra le coppie dei metalli eterogenei un elettrolita, un conduttore che lui definiva di seconda classe: in tali condizioni gli *sbilanci*, come Volta indicava le differenze di potenziale tra i metalli, si sommarono, dando così, per numerose coppie di metalli, una differenza di potenziale apprezzabile e soprattutto continua.

Nacque così, nel dicembre del 1799, la celebre pila di Volta che divenne, a quei tempi, lo strumento più usato nei laboratori di chimici e fisici di tutto il mondo, ma anche il più studiato.

Ma se la pila fu accolta trionfalmente in tutti i laboratori d'Europa, non altrettanto avvenne per la giustificazione che Volta aveva dato del fenomeno ossia per la teoria del semplice contatto.

Secondo don Alessandro, infatti, il funzionamento della pila era dovuto al fatto che al contatto tra due metalli diversi si verificava uno sbilanciamento, per cui uno dei due metalli risultava caricato positivamente e l'altro negativamente; l'elemento base della pila era costituito, per Volta, da una coppia di metalli diversi mentre l'elettrolito interposto aveva la semplice funzione di conduttore, consentendo così agli sbilanci di varie coppie di sommarsi l'uno all'altro.

Tale teoria che prevedeva quindi il contatto tra due metalli diversi come origine dell'elettricità, fu appunto detta teoria del contatto o voltiana e voltiani furono chiamati tutti quei fisici e chimici che in tutta Europa accettarono tale teoria.

A chi gli domandava se non ritenesse che lo strato d'elettrolito fosse un elemento importante nella creazione dello sbilanciamento, Volta rispondeva che... *si veramente... ma così poco, trattandosi di acqua sia semplice sia impregnata di diversi sali... che generalmente non è tale azione da paragonarsi per alcun conto a quella che dispiegasi tra due metalli assai diversi...*⁵

E concludeva le sue sperimentazioni affermando che... *Egli è pure evidente che tutto qui dipende dai metalli e sì dalla loro diversa qualità, necessario essendo per la riuscita delle sperienze di cui si tratta, che sieno due metalli dissimili: condizione soprattutto e assolutamente indispensabile. Anziché dunque chiamarsi elettricità animale potrebbe dirsi a buon diritto elettricità metallica.*⁶

Tuttavia, rammentava don Alessandro, in una pila sono sempre necessari tre conduttori, indifferentemente di prima o di seconda specie, e mai due soli.

⁴ La scala era costituita da Zn, Pb, Sn, Fe, Cu, Ag, Au, e C, a cui poi Volta stesso aggiunse vari composti, come il biossido di manganese e altri. Sarà proprio grazie alla pila che H. Davy scoprì gran parte dei metalli del I° e del II° gruppo.

⁵ *Opera di A. Volta*, a cura di F. Massardi, Associazione Elettrotecnica Italiana e U. Hoepli, Milano, 1927, p. 257.

⁶ T. MARIANI, *La teoria voltiana del contatto e le sue vicende*, Venezia, 1891, p. 10.

Ma subito vi furono dei forti dubbi sulla teoria del contatto e a cominciare dal Gautherot, si diede inizio ad una serie impressionante di esperimenti per saggiare la veridicità della teoria voltiana; lo stesso Gautherot concluse le sue esperienze affermando che ... *da queste esperienze noi apprendiamo ancora che i fenomeni del galvanismo appartengono meno alla Fisica che alla Chimica* ...⁷ e da parte degli stessi Nicholson e Carlisle, che nel 1800 ottennero, grazie alla pila appena scoperta, la scomposizione dell'acqua, e di numerosi altri scienziati, la teoria del contatto fu rifiutata preferendo attribuire ai processi galvanici un'origine chimica.

Il mondo scientifico europeo si divise così in due gruppi nettamente distinti: i voltiani di cui fecero parte Ohm, Oersted, Helmholtz, Kirchoff, Biot, Pfaff, Poggendorf, von Marnum, Pecllet, Jacobi, Peltier, e agli inizi lo stesso Davy e persino Becquerel; e gli elettrochimici con personalità come Davy, Faraday, Arago, Clausius, Ritter e De la Rive e poi Parot, Yelin, Barlow e molti altri.

Gli scritti e gli esperimenti per dimostrare la veridicità dell'una e dell'altra teoria furono infiniti e si protrassero per circa un quarantennio, principalmente sulle pagine della *Bibliothèque Universelle de Genève* diretta dal De la Rive, sugli *Annales de Chimie et Physique*, sulle *Mémories dell'Accademia di Francia* e sulle *Philosophical Transactions*, mentre la pila, studiata e ristudiata sotto ogni aspetto assumeva connotati sempre diversi rispetto all'originale, per cui in quel periodo furono sperimentate almeno una decina di pile diverse tra le quali la celebre pila Daniel, per non parlare poi di una pila di zampe di rane, in cui i muscoli delle stesse venivano collegati con i nervi delle successive.⁸

Sembra oggi incredibile che un argomento come questo che per oltre mezzo secolo interessò quasi tutti i fisici ed i chimici d'Europa, analizzato attraverso migliaia di esperimenti descritti in centinaia di memorie e resoconti, sia del tutto scomparso non solo dalle analisi storico-scientifiche ma anche dalla odierna didattica.

Il grandissimo numero di esperienze e di prove portò spesso a dati confusi e a valutazioni contraddittorie per cui, ad esempio, non si riusciva più a determinare perfettamente quale polo emanava l'elettricità e di quale segno fosse quest'ultima; bisognerà attendere il 1856, quando de La Rive chiari, una volta per tutte che ... *noi intendiamo le parole positivo e negativo in un senso indipendente dall'elettricità, cioè a dire nel senso assoluto della superiorità del corpo positivo sul negativo in ciò che riguarda la loro potenza elettro-motrice* ... ossia che positivo era il polo che emetteva elettricità e negativo quella che la riceveva, ammettendo

⁷ GAUTHEROT, *Recherches sur les causes qui développent l'électricité dans les appareils galvaniques*, *Journal de Physique de la Métherie*, t. 56, anno XI, p. 456.

⁸ Tra le più celebri quelle di J.F. Daniell (1836), di W.R. Grove (1838), di Bunsen (1842), di Maré-David (1839), e di Leclanché (1868). La pila a zampe di rana fu opera di Carlo Matteucci, *Annales de chimie et de physique*, II^e série, t. 68, 1802, p. 49.

che ... *abbiamo trovato più comodo non cambiare la denominazione impiegata fin dall'origine.*

E fu così che per i fisici, da allora fino ai nostri giorni, per consuetudine, si afferma che l'elettricità va dal positivo al negativo, per poi subito avvisare che in realtà è opposto.⁹

Subito al sorgere dei primi dubbi, le grandi istituzioni bandirono concorsi per premiare chi avesse dato la dimostrazione più evidente della veridicità di una delle due teorie, per cui al concorso bandito dall'Accademia di Francia e vinto dal voltiano Biot, rispose l'Accademia di Harlem premiando l'elettrochimico Perrot.

In Italia, patria di Alessandro Volta, il dibattito fu particolarmente acceso e diffuso con la partecipazione di tutti gli scienziati italiani di grido dagli elettrochimici Avogadro, Nobili, Botto, Dal Negro, Matteucci, Configliaeschi, fino al Righi, ai convintissimi voltiani Marianini e Zamboni, mentre alcuni, quali Fusinieri e Zantedeschi preferirono restare in una posizione intermedia di dubbio.

In particolare il Marianini mostrò una fede incrollabile nella teoria voltiana che difese per decenni attraverso un'impressionante serie di esperimenti e di scritti. Il suo correttissimo ed educatissimo dibattito con il de La Rive è, a tutt'oggi, un bellissimo esempio di come due studiosi possano discutere per anni di un argomento mantenendo il massimo reciproco rispetto e la massima correttezza, pur restando ognuno delle proprie idee.

Amedeo Avogadro seppe subito elevarsi al di sopra dei termini della questione, preferendo spaziare sui grandi temi dei rapporti tra elettricità e materia, inserendosi a pieno titolo nel campo delle ricerche di Dalton, Gay-Lussac, Berzelius e Faraday, sulla costituzione della materia, dando il suo apporto decisivo con la distinzione tra molecole elementari e molecole integranti e stabilendo la celebre legge che porta il suo nome, ma non per questo rinunciò a dare il suo apporto, insieme al Michelotti, alla teoria elettrochimica.

Volta non prese granché parte al dibattito; all'inizio rispose minuziosamente alle obiezioni di Nicholson, ma poi preferì defilarsi, accontentandosi di affidare a Pfaff e a von Marnum il compito di confermare la sua teoria, consigliando loro alcuni esperimenti; e i due scienziati stranieri confermarono che ... *i risultati di queste esperienze non sono per nulla favorevoli all'opinione che l'ossidazione come tale sia la causa principale dell'aumento dell'effetto di corrente delle pile ... e l'ossidazione dei metalli non vi contribuisce assolutamente per nulla...*¹⁰

Il dibattito sulla pila in Italia si svolse principalmente sulle pagine delle Memorie della Reale Accademia delle Scienze di Torino, su quelle della Società Italiana delle Scienze e del Nuovo Cimento, oltre ai numerosi articoli comparsi

⁹ A. de La Rive, *Traité d'Electricité*, t. II^e, Parigi, 1856, p. 601.

¹⁰ *Epistolario di A. Volta*, Vol. IV, lettera n° 1210, 29 novembre 1801.

sugli Annali delle Scienze del Regno Lombardo Veneto, negli Atti dell'Istituto Veneto e nei rendiconti delle varie Riunioni degli Scienziati Italiani.

In realtà, almeno nei primi decenni dell'ottocento la maggior parte dei fisici italiani propendeva per le idee del Volta e gli scritti degli elettrochimici furono rari. Ma quando cominciarono a giungere dall'estero le notizie sulle ricerche di Davy, di Faraday e di Berzelius, la questione elettrochimica acquistò forza e si cominciarono a pubblicare numerosi lavori di chimici che tendevano a dimostrare l'azione chimica nella pila.

Nel 1812 giunse la notizia della scoperta, da parte dell'abate veronese Giuseppe Zamboni,¹¹ della pila a secco, di una pila cioè costituita da migliaia di foglietti di carta stagnola dorata ed argentata, posti a diretto contatto tra loro; una pila che raggiungeva differenze di potenziale di qualche migliaio di volt ma che poi forniva correnti di pochi millampere. Un apparecchio insomma che sembrava convalidare definitivamente la teoria voltiana e che per di più godeva di una autonomia di parecchi decenni al punto che lo stesso Zamboni lo definì elettromotore perpetuo, persuaso che la sua durata sarebbe stata infinita; un congegno che se non aveva nessuna importanza da un punto di vista pratico, data la debolezza delle correnti erogate, ebbe tuttavia un'enorme importanza dal punto di vista teorico; se Galvani voleva escludere dal circuito i metalli e Volta le rane, l'abate veronese si illuse di poter escludere l'elettrolito.

Giuseppe Zamboni acquistò in quegli anni una fama vastissima e fu invitato nei più famosi laboratori d'Europa per ripetere le sue esperienze e giunse, come Volta, di cui fu sempre devotissimo sostenitore, a ripetere i suoi esperimenti all'Accademia di Francia, dove fu accolto con tutti gli onori.¹²

Finalmente le idee voltiane non erano più una teoria: la pila a secco era la prova più evidente che l'elettricità nella pila nasceva dal contatto tra metalli diversi e non vi era possibilità di ritenere che avvenissero processi chimici.

E se non bastassero le pile zamboniane, Pecler in Francia e Marianini in Italia dimostrarono l'esistenza della elettricità da contatto operando nel vuoto e misurando differenze di potenziali tra due metalli posti nel vuoto spinto, senza la partecipazione di alcun'altra sostanza chimica, nemmeno dell'aria e tanto meno dell'umidità dell'aria. La battaglia dei voltiani sembrava quindi vinta ed in maniera trionfale; la teoria poggiava su alcune dimostrazioni pratiche difficilmente attaccabili e che si possono così riassumere:

1) Nelle pile a secco il contatto avviene tra due metalli e non vi è elettrolito che possa condurre a pensare a qualsivoglia azione chimica. L'esilissimo

¹¹ Su Giuseppe Zamboni vedi E. Cini, *Il contributo di G. Zamboni nel dibattito tra voltiani ed elettrochimici*, in Atti del Convegno Giuseppe Zamboni, un fisico veronese dell'Ottocento, Accademia di Agricoltura, Scienze e Lettere di Verona, 1996.

¹² La grande fama a cui giunse Zamboni in tutta Europa non fu dovuta alla sua pila, ritenuta da tutti di scarsa applicazione, ma per il fatto che la pila zamboniana rappresentava per i più la stoccata finale e fatale agli elettrochimici.

foglietto di carta che sosteneva gli strati dei metalli non poteva certo essere considerato alla stregua dello strato d'elettrolito della pila di Volta. All'obiezione che tale esile strato di carta poteva essere imbevuto dall'umidità dell'aria, Zamboni rispose ponendo le sue pile in vasi di vetro ermeticamente chiusi con cere-lacche e mastici vari e le pile continuarono a funzionare benissimo.

2) Ciò che fa escludere, nelle pile a secco, qualsiasi azione chimica è la loro durata, ininterrotta, di decine e decine di anni; se vi fosse azione chimica lo stato delle sostanze, la loro stessa natura dovrebbe mutare e si dovrebbe constatare, se non altro, un affievolirsi della loro potenza; ed invece la loro azione decennale si svolse mantenendo costante la tensione.¹³

Erano argomentazioni in realtà solide e difficilmente impugnabili.

Eppure, sostenevano i chimici, era innegabile che durante l'erogazione della corrente la pila di Volta mostrasse il verificarsi di processi chimici, come l'ossidazione, che sempre si manifestava all'anodo di qualunque pila; e poi, come aveva fatto notare il Ritter, quella straordinaria identità tra la scala delle tensioni dei metalli di Volta e quella delle attività chimiche nelle soluzioni dei loro sali, non testimoniava forse, un'identità di azione? E le leggi che Faraday andava scoprendo nell'elettrolisi non testimoniavano la proporzionalità tra quantità di sostanza chimica e quantità d'elettricità?

Del resto lo stesso Volta, che già nel 1802 aveva sperimentato una pila a secco con carte stagnate intrise di miele, barchettava lo Zamboni facendogli ammettere... *Ella saggiamente avverte che la mia macchinetta non è a tutto rigore ma può tuttavia denominarsi pila a secco ... e che ... l'umidità è sempre il vero conduttore del fluido elettrico da una in altra coppia di pila ...!*¹⁴

Per anni quindi, la battaglia tra i due schieramenti, si sviluppò, con accenti a volte molto duri, come quando interveniva nella discussione il focoso Fusinieri e spesso sarcastici, negli scritti di Zamboni, ad esempio. Marianini e Configliacchi continuarono a ritenere responsabile del fenomeno una qualche azione meccanica. Dal Negro e Leopoldo Nobili a squilibri determinati da differenze di temperature, il Fusinieri e lo Zantedeschi¹⁵ alla materia attenuata, come prevedeva la loro teoria.

¹³ Presso il museo di Storia della Fisica dell'Università di Padova è conservato un pendolo con due pile Zamboni utilizzato nel 1830 dal prof. S. Dal Negro ed ininterrottamente funzionante fino al 1930; parimenti di oltre un secolo è la durata delle varie pile conservate presso il laboratorio del Liceo Classico S. Maffei di Verona, presso il quale Zamboni insegnò per quarant'anni circa.

¹⁴ Carteggio Volta, lettera di Giuseppe Zamboni ad Alessandro Volta del 24 agosto 1812, f. 89.

¹⁵ Su Francesco Zantedeschi sono in via di pubblicazione gli atti del Convegno su questa figura di sacerdote e scienziato che l'Accademia di Agricoltura, Scienze e Lettere di Verona ha organizzato nel novembre del 1997; vi si troverà anche un mio modesto contributo su F. Zantedeschi e la teoria della Dinamica molecolare.

Gli elettrochimici non riuscirono a presentare una teoria capace di giustificare le loro idee e si limitarono a contrapporre alle prove sperimentali dei voltiani tutta quella sequela di fatti teorici che gli studi dei grandi chimici europei andavano travasando in Italia; e reagivano ponendo forti dubbi sulla reale mancanza di umidità nelle carte delle pile a secco oppure sulla reale durata di queste che, Zamboni perseverava a definire perpetue.

Nel 1840 Michel Faraday pubblicò un suo scritto che fece presto giustizia di tutte le fumose teorie ed eleucubrazioni che si andavano facendo sull'argomento.

Faraday mise per prima cosa l'accento sull'infinito numero di esperimenti e di prove che erano state fatte per dimostrare l'esattezza dell'una o dell'altra idea e pur riconoscendole per la maggior parte valide giunge alla conclusione che nessuna poteva considerarsi definitiva e che probabilmente sarebbe stato più importante affrontare l'argomento non dal punto di vista particolare, ma bensì generale. E subito espresse una considerazione tanto geniale quanto elementare:

*... La teoria del contatto suppone che una forza capace di vincere una resistenza energetica possa sorgere dal nulla; o, in altri termini, essa ammette che senza cambiamento della sostanza operante, o spesa di forza generatrice qualunque possa essere prodotta una corrente, la quale vincerà una resistenza costante ... ma ricorda il genio inglese ... non v'ha potenza prodotta senza il corrispondente consumo di qualche forza che la mantenga e il moto perpetuo sarebbe vero in questo caso ...*¹⁶ Questo signore insomma, dieci anni prima della enunciazione del principio di conservazione dell'energia, aveva già capito tutto ed intuito tutto.

Verso la metà del secolo, la teoria elettrochimica non era più messa in discussione perché corroborata, ormai, non solo da evidenti giustificazioni teoriche ma anche, grazie alle nuove scoperte e ai nuovi ritrovati tecnici, anche da un'abbondante documentazione sperimentale.

È notevole osservare che proprio negli anni in cui la teoria elettrochimica del Berzelius crollava di fronte all'impossibilità di giustificare i fenomeni della chimica organica nascente, la teoria elettrochimica della pila conquistava le menti anche dei più accesi sostenitori voltiani.

In particolare fu l'enunciazione del primo principio della termodinamica, nel 1850, che ammoniva che l'energia non può essere creata né distrutta ma solo trasformata, a far decadere ogni pretesa, ad esempio, di moto perpetuo, e quindi di elettromotore perpetuo; proprio la durata ultradecennale delle pile a secco, che Zamboni indicava come prova evidente di effetto da contatto, diventava, alla luce delle nuove scoperte l'ostacolo più insormontabile per giustificare la teoria voltiana; all'ormai vecchio abate veronese non rimase che scrivere un Trattato di conciliazione dei Elettrochimici coi Voltiani, tentando di salvare almeno l'idea del contatto.

¹⁶ M. FARADAY, *Sull'origine del potere della pila voltiana*, *Philosophical Transactions*, parte I, n.º 2071, anno 1840.

Nel 1867, l'allora Senatore del Regno d'Italia, Carlo Matteucci, esponeva, in una conferenza popolare la nuova visione dei fenomeni: *Cosa avviene nella pila?* si domandava l'illustre fisico, ... *in qual modo si genera nella pila una così grande quantità di forza motrice? Venti anni sono si poteva restar contenti della risposta che il Volta dava a queste questioni. Volta, senza impegnarsi a risolvere veramente queste questioni, come si può fare oggi, si contentò di dire che il contatto tra due metalli diversi è una sorgente continua d'elettricità. Ma oggi che non solo la meccanica, ma anche la fisica sperimentalmente hanno provato che il moto perpetuo è un sogno di fantasie malate; oggi che si sa come non vi è movimento generato se non da altro movimento trasformato, sarebbe impossibile di appagarsi della forza elettromotrice del Volta ... in tutti i fenomeni fisici e chimici noi dobbiamo vedere oggi delle trasformazioni di movimento. Di qui il canone fondamentale della filosofia naturale moderna che, cioè, in tutti i fenomeni fisici e chimici a cui assistiamo, non vi è mai perdita o distruzione né di materia né di forza ...*¹⁷

Alcuni anni dopo, nel 1898, finalmente, Nerst riuscì a ideare una teoria che giustificasse i processi chimici che avvenivano nelle pile voltiane.

Ma la cosa non finì così, perché la statistica applicata alla meccanica ondulatoria da Enrico Fermi nel 1927 dava perfettamente conto dell'esistenza dell'effetto Volta che venne confermato da esperienze termoeioniche e fotoelettriche avvenute nel vuoto, lontane cioè, da ogni possibile effetto chimico. Millikan dimostrò che la differenza di potenziale esistente tra due metalli è pari alla differenza dell'energia di estrazione di un elettrone dagli stessi.¹⁸ Nelle pile di tipo Daniell, Fermi e Orso Maria Corbino hanno dimostrato che il calore di dissoluzione dello zinco è quasi esattamente eguale al calore di condensazione del rame e la forza elettromotrice osservata è quindi quasi esclusivamente dovuta all'effetto Volta.¹⁹

È quindi il contatto tra due metalli che fa nascere la differenza di potenziale che innescava il processo, mentre i fenomeni chimici susseguenti mantengono tale differenza di potenziale con sufficiente continuità, per cui dopo tante discussioni, esperimenti, dimostrazioni varie non resta che constatare insomma, che, nonostante i vari tentativi, specie da parte di studiosi francesi, di denigrare la scoperta della Pila, il vecchio don Alessandro aveva, ancora una volta visto giusto quando aveva sospettato che il contatto origina la corrente, essendone la causa, e le reazioni chimiche la mantengono.

¹⁷ C. MATTEUCCI, *La pila di Volta*, Firenze, Cielli, 1867.

¹⁸ M. HARRISINSKY, *Atomistica moderna e la chimica*, Hoepli, Milano, 1930, pp. 302-303.

¹⁹ M. HARRISINSKY, *Atomistica ...*, cit., p. 306.

MARCO CIARDI (*)

Riforme scientifiche e Risorgimento. Chimici e nomenclatura nell'Italia preunitaria (**)

Scientific Reforms and Risorgimento. Chemists and Nomenclature in Italy (1814-1861).

Summary - This study examines the development of chemistry in Italy with respect to the question of nomenclature. In most cases the role of theory in Italian chemistry has been regarded as irrelevant. There is no doubt that this assumption is correct but, in a historical perspective, there are a few exceptions.

Esiste un periodo della storia della scienza italiana, che va dalla Restaurazione all'Unità, particolarmente sottovalutato e scarsamente studiato. L'importanza delle vicende politiche che hanno caratterizzato l'età del Risorgimento non soltanto ha polarizzato l'attenzione degli storici, ma ha finito per determinare un'interpretazione preconstituita dell'attività svolta in specifici settori, quali quello scientifico.¹ Emblematico è il caso delle riunioni degli scienziati italiani, che si tennero a partire da quella di Pisa nell'ottobre 1839. Come ha scritto Eugenio Garin, che «l'esplosiva situazione italiana desse una coloritura patriottica alle riunioni degli scienziati, a cominciare dal congresso pisano del '39, è innegabile, ma fu piuttosto conseguenza che programma».²

(*) Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

¹ Cfr. G.C. MARINO, *La formazione dello spirito borghese in Italia*, Firenze, La Nuova Italia, 1974.

² E. GARIN, *Il congresso pisano degli scienziati italiani del 1839*, «Giornale critico della filosofia italiana», LXIX, 1990, p. 284. A questo contributo si rimanda per ulteriori indicazioni bibliografiche sul convegno pisano. Per un panorama d'insieme cfr. invece *I congressi degli scienziati italiani nell'età del Positivismo*, a cura di G. Pancaldi, Bologna, CLUEB, 1983. La necessità di considerare le vicende nazionali nell'ottica delle diverse situazioni politiche, istituzionali, culturali e sociali (e quindi anche scientifiche) dei vari Stati italiani è sostenuta da

In ogni caso, relativamente agli studi sulla scienza negli Stati italiani dopo la Restaurazione, non siamo in presenza di vuoto storiografico assoluto ed sono già disponibili alcuni contributi di notevole rilievo. Tuttavia la situazione non è soddisfacente, se paragonata ad esempio al Settecento e, soprattutto, mancano interpretazioni di ampio respiro. Questo giudizio è, a mio avviso, estendibile anche al caso della storia della chimica. Oggi, infatti, grazie ad una serie di ricerche innovative realizzate a partire dagli anni '80, siamo in grado di ricostruire in maniera esauriente le vicende «italiane» dello sviluppo e della definizione della chimica da sapere emergente, all'interno del complesso mondo della filosofia naturale, a scienza specifica. Tali ricerche hanno tra l'altro consentito di ribaltare alcune interpretazioni tradizionali della rivoluzione chimica, intesa fino a non molti anni fa come una «semplice» disputa fra Lavoisier e Priestley.¹ Contemporaneamente disponiamo di contributi che, in vario modo, ci permettono di avere un'idea precisa dell'importanza e del valore della rivoluzionaria opera di Stanislao Cannizzaro.² Tuttavia, come ha messo in evidenza anche Antonio Di Meo nella sua *Storia della chimica in Italia*, ben poco conosciamo di ciò che accadde fra l'opera di Avogadro e quella dello stesso Cannizzaro.³ La scarsa attenzione dedicata all'opera dei chimici italiani nell'età del Risorgimento è stata sostanzialmente motivata attraverso giustificazioni teoriche e politiche. Secondo un'opinione diffusa, durante questo periodo le ricerche chimiche furono di basso livello e avulse dai principali dibattiti teorici che si stavano svolgendo a livello internazionale; inoltre il loro sviluppo non venne in alcun modo incoraggiato da iniziative statali o governative. Questa interpretazione, tuttavia, seppur fortemente plausibile, è ancora tutta da dimostrare in sede storiografica, proprio per la mancanza di studi metodologicamente aggiornati, che vadano al di là di posizioni ideologiche o

Gazin anche in *Attualità dell'Ottocento. Riflessioni*, «Antologia Virsuseux», n. serie, I, n. 1, 1995, pp. 17-20. Sullo stesso tema aveva insistito a suo tempo P. REDONDI, *Cultura e scienza dell'illuminismo al positivismo*, in *Storia d'Italia. Annali 3: Scienza e tecnica*, a cura di G. Micheli, Torino, Einaudi, 1980, pp. 679-685.

¹ Per riferimenti bibliografici aggiornati si possono inizialmente vedere i saggi di M. BERETTA, *Italian Translations of the Méthode de nomenclature chimique and the Traité élémentaire de chimie: The Case of Vincenzo Dandolo*, e F. ABBI, *Science and Politics in the Italian Reception of Lavoisier's Nomenclature*, in *Lavoisier in European Context. Negotiating a New Language for Chemistry*, a cura di F. Abbi e B. Benaude-Vincent, Canton Mass., Science History Publications, 1995 (pp. 225-247 e pp. 249-265).

² Cfr. ad esempio L. CERBUTI, *Il luogo del 'Sunto'*, in S. CANNIZZARO, *Sunto di un corso di filosofia chimica*, Palermo, Sellerio, 1991, pp. 73-286; *Lettere a Stanislao Cannizzaro*, a cura di L. Paoloni, Palermo, Università di Palermo («Seminario di Storia della Scienza», Quaderni n. 2, 1992; n. 3, 1993); S. CANNIZZARO, *La teoria atomica e molecolare*, a cura di A. Di Meo, Roma, TeKnoS, 1994.

³ *Storia della chimica in Italia*, a cura di A. Di Meo, Roma, Vignola, 1996, pp. XXX-XXXII e XLVI. Su Avogadro mi permetto di rimandare al mio *L'atomo fantasma. Genesi storica dell'ipotesi di Avogadro*, Firenze, Olshchki, 1995, e all'antologia A. AVOGADRO, *Saggi e memorie sulla teoria atomica*, Firenze, Giunti, 1995.

schematizzazioni epistemologiche. In questa occasione, quindi, lungi dal presentare i risultati di una ricerca compiuta, intendo soltanto cercare di offrire alcuni spunti per eventuali linee di indagine alternative rispetto alle tradizionali presentazioni della chimica italiana nella prima metà dell'Ottocento.

In una memoria del 1842 pubblicata su «Il Politecnico», Carlo Cattaneo, passando in rassegna la storia del sapere chimico, si soffermava a parlare della riforma della nomenclatura avvenuta in Francia circa cinquant'anni prima, felice sintesi delle scuole filosofiche «materialmente opposte ma subiettivamente consone di Cartesio e Condillac», delle quali il risultato più duraturo fu proprio «la somma unità, semplicità, limpidezza e precisione del linguaggio, grande strumento d'influenza universale». Da esso, infatti, continuava Cattaneo, «alla Chimica ne derivò poi l'inesestimabil dono d'una nomenclatura così bella ed espressiva, che permette d'indicare con precisione e facilità, senza bisogno d'interprete, non solo tutte le combinazioni trovate, ma eziandio tutte le combinazioni trovabili. Codesta nomenclatura, comunque possa successivamente riformarsi e variarsi, sopravviverà sempre come principio e modulo interno d'ogni altra».⁶

Cattaneo si mostrava in effetti scettico, e anche un po' preoccupato, per i progressivi ritocchi introdotti nel linguaggio della *Méthode*, incluse le «due principali rifusioni della nomenclatura», ovvero quelle di Berzelius e di Thénard. Infatti «le novità della nomenclatura per *refusione* generale, e non per graduale aggiunta, non si dovrebbero fare se non quando nuovi nomi indicano davvero nuove dottrine»; altrimenti si dovrebbe «imparare ogni anno una nuova nomenclatura». Purtroppo, invece, la situazione era diversa da quella auspicata:

A quest'ora si sono già moltiplicati forse senza bisogno i nomi d'una medesima sostanza; l'acido idrosolforico si dice anche acido solfidrico, acido idrotionico, solido idrico, gas idrogeno solforato. La vita passa nell'impurar parole e non fatti. E non facciamo menzione di certi strani e barbari principj di nomenclatura, come quello in cui Griffins pretese rappresentare le formule molecolari, chiamando, a cagion d'esempio, il marmo, non carbonato di calce, ma *calcioariproximitria*; e l'allume, non solfato d'allumina e potassa, ma nientemeno che *kalsidintriasulintetraoxinoctaaquindodeca*. In pari modo Bergeter pretendeva, che, invece dei soavi nomi di *melissa*, *lavanda* e *menta*, dicessimo *saf-neanciana*, *saefniaceam* e *oigqafoujaz!*⁷

⁶ C. CATTANEO, *Varietà chimiche per i non chimici*, in «Il Politecnico» 1839-1844, a cura di L. Ambrosoli, Torino, Bollati Boringhieri, 1989, 2 voll., II, p. 1028. Sull'attribuzione dell'articolo a Cattaneo cfr. *ibid.*, p. 1817. Per un'analisi dell'immagine della scienza in Cattaneo si veda P. REDONDI, *op. cit.*, pp. 733-763. Sulla chimica in particolare cfr. C. CATTANEO, *Scritti scientifici e tecnici*, a cura di G.C. Lacaita, Firenze, Giunti, 1969, t. I, pp. LXX-LXVIII; A. DI MEO, *Visibile ed invisibile nella chimica*, in *Atti del III Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica*, a cura di F. Abbrì e F. Crispini, Cosenza, Brenner, 1991, pp. 121-130. Si veda anche L. CERUZZI, *Stanislao Cannizzaro e la sua storia della chimica*, in *Aspetti della storia della scienza nella tradizione italiana*, a cura di P. Pizzamiglio, Brescia, Università Cattolica, 1985.

⁷ *Ibid.*, pp. 1036-1037. Di John Joseph Griffin, londinese, costruttore di apparati chimici e autore di numerose opere divulgative, si ricordano *A practical treatise on the use of the blow-pipe in chemical and mineral analysis: including a systematic arrangement of simple minerals*,

La difesa della nomenclatura della *Méthode* si fondava, in primo luogo, sul riconoscimento di Lavoisier come vero e proprio creatore della chimica moderna.⁸ Alla sua «mente più assestata» delle altre era spettata infatti «la gloria di rifondere la chimica e darle splendore di scienza».⁹ Ben diverso, ad esempio, il giudizio su Humphry Davy, presentato da Cattaneo come «uomo d'alte ambizioni e vago di gloriose», il quale «avrebbe volentieri rifiuta la Chimica, tolto il grado di principio unificante all'ossigeno, e il nome di fondatore a Lavoisier».¹⁰

Nell'articolo traspariva naturalmente anche tutta l'ostilità positivista contro il concetto di atomo. «Non si può credere», affermava Cattaneo, «quanto questa sola voce, desunta dalle antiche ontologie indiane e greche, sia stata idea d'inciampo alla scienza. Fu un vero soffione di caligine metafisica, che mise il capogiro agli studiosi; i quali, abbandonato il filo dell'austera esperienza, s'ingolfarono tosto a fantasticare se gli atomi degli elementi, cioè dei radicali, fossero assolutamente e ontologicamente indivisibili, oppure se la materia fosse divisibile all'infinito».¹¹ Anche grandi scienziati, secondo Cattaneo, erano incappati in questa terribile trappola:

La dottrina atomica fu adoperata più che altrove nelle opere dell'illustre Berzelius, al quale i giudizi scrittori non sanno perdonare quei contraddittori nomi d'atomi semplici, e d'atomi composti. E tale è la tendenza della mente umana a dedurre idea da idea, piuttosto che faticosamente indiziarsi intorno al fatto, che molti colla sola scelta dei numeri atomici stabilirono come esistenti molte combinazioni che l'esperienza non ha mai potuto effettuare. E perciò Dumas ebbe a dire: s'io potessi, cancellerei dalla scienza il nome d'atomo.¹²

adapted to aid the student in his progress in mineralogy, by facilitating the discovery of the names of species, Glasgow, R. Griffin, 1827, e *A system of crystallography with its application to mineralogy*, Glasgow, R. Griffin, 1841. Degli interessi mineralogici e geologici di Cattaneo è testimone un articolo pubblicato su «Il Politecnico» nel 1839, dal titolo *Varietà geologiche per servire di prenozioni all'articolo susseguente*, premessa ad una memoria sui tettili fossili di Giuseppe Balsamo-Grivelli, in cui Cattaneo dimostrava di aver subito l'influenza del pensiero di Cuvier e di Alexander von Humboldt; cfr. REDONDI, *op. cit.*, pp. 737-738.

⁸ Sull'importanza filosofica per Cattaneo della rivoluzione lavoisieriana si veda C. CATTANEO, *Psicologia delle menti associate*, in *Opere scelte*, a cura di D. Castelnuovo Friggesi, Torino, Einaudi, 1972, vol. IV, p. 162. Cfr. A. DI MEO, *Visibile ed invisibile*, cit., p. 122. Un recente (e valido) contributo sulle trasformazioni del linguaggio chimico nel Settecento e sull'impatto rivoluzionario della nuova nomenclatura è quello di M. BERETTA, *The Grammar of Matter. Chemical Nomenclature during the 18th Century*, in *Sciences et langues en Europe, sous la direction de R. Chartier e P. Corsi*, Paris, École des Hautes Études en Sciences Sociales, 1996, pp. 109-125. Di Beretta ricordiamo naturalmente anche *The Enlightenment of Matter. The Definition of Chemistry from Agricola to Lavoisier*, Canton, Science History Publications, 1993.

⁹ *Ibid.*, p. 1031.

¹⁰ *Ibid.*, p. 1041.

¹¹ *Ibid.*, pp. 1051-1052.

¹² *Ibid.*, pp. 1053-1054. «Si j'en étais le maître, j'effacerais le mot atome de la science, persuadé qu'il va plus loin que l'expérience; et jamais en chimie nous ne devons aller plus loin que l'expérience». Con è noto Dumas pronunciò questa celebre frase al termine della sua *seizième leçon* del 28 maggio 1836. Cfr. J.-B. DUMAS, *Leçons de philosophie chimique*, Paris, 1837.

Rifiuto della teoria atomica e considerazione positiva di quella degli equivalenti costituivano tratti caratterizzanti dell'opera di molti chimici «italiani», fra i quali Gioacchino Taddei, che già nel 1822, di ritorno da un viaggio «europeo» che lo aveva condotto anche a Parigi e a Londra (dove conobbe, fra gli altri, Gay-Lussac, Thénard e Davy), aveva aderito alla teoria di Wollaston,¹⁵ esponendola nel giro di pochi anni sia nel *Sistema di stechiometria chimica, o teoria delle proporzioni determinate*,¹⁶ sia nella *Farmacopea generale*.¹⁷

Per Taddei la teoria delle proporzioni determinate rappresentava il passo «più gigantesco» che la Chimica avesse «mai fatto nella sempre spinosa via dell'analisi»¹⁸ perché, «elevando la scienza dell'indagine a quel grado d'esattezza e di sublimità che le conveniva», l'aveva resa «la parte più bella della Filosofia moderna».¹⁹ Relativamente al problema della nomenclatura, Taddei non intendeva per ora entrare «in discussioni etimologiche», e si limitava a fare una denuncia:

Qualunque sia la branca d'Istoria naturale cui le sostanze farmaceutiche appartengono, ciascuna ordinariamente ritiene il nome stesso del minerale, della pianta o dell'animale da cui proviene. Non è però così dei materiali che sono d'esclusivo dominio della Chimica, i quali, oltre il nome scientifico per essi fissato di comun'accordo fra i Chimici, o accettato dall'universalità dei medesimi, ritengono tuttora per mala sorte i nomi non meno ridicoli che insignificanti con cui furon designati dagli Alchimisti.¹⁴

Naturalmente Taddei non si riferiva tanto al campo di esperienza della nuova chimica lavoisieriana, quanto alle «espressioni ora vaghe ora assurde che tuttora si conservano nel linguaggio medico-farmacutico».¹⁹

Ben diverso era l'atteggiamento del professore di Farmacologia, nonché Intendente di Farmacia presso l'Imperiale e Regio Arcispedale di Santa Maria Nuova a Firenze, nella seconda edizione (rivista, corretta ed ampliata) dell'opera, che nel 1837 prese il nome di *Elementi di farmacologia sulle basi della chimica*.²⁰

¹⁵ Cfr. G. CONTI, *Orazione funebre a Gioacchino Taddei*, Firenze, coi tipi di M. Cellini e C. alla Galileiana, 1860, nota 2. Su Taddei si vedano la voce di G. PRONENZAL, *Profili bibliografici di chimici italiani. Sec. XV-XIX*, Roma, Istituto nazionale medico farmacologico «Seroni», 1938, pp. 135-144, e l'articolo di P. ANTONIOTTI, *Gioacchino Taddei, 1792-1860*, «Nuncius», III, n. 2, 1988, pp. 71-100.

¹⁶ G. TADDEI, *Sistema di stechiometria chimica, o teoria delle proporzioni determinate*, Firenze, Pagni, 1824.

¹⁷ G. TADDEI, *Farmacopea generale sulle basi della chimica farmacologia o elementi di farmacologia chimica*, Firenze, Luigi Pezzani, 1826-1828, 4 voll.

¹⁸ G. TADDEI, *Farmacopea generale*, cit., vol. I, p. xi.

¹⁹ *Ibid.* vol. II, p. 130. Secondo Taddei «le voci atomo, proporzione determinata, o quantità definita, particella proporzionale, e molecola equivalente son tutte sinonime nel linguaggio della Teoria atomistica», *ibid.*, vol. II, p. 135.

²⁰ G. TADDEI, *Farmacopea generale*, cit., vol. I, p. 236.

²¹ *Ibid.*, p. 237.

²² G. TADDEI, *Elementi di farmacologia sulle basi della chimica*, Firenze, Guglielmo Piatti, 1837, 5 voll.

«Se troppo minuziose, e forse disdicevoli ad un'opera di Farmacologia», scriveva Taddei nell'introduzione, «taluno reputasse che fossero molte delle cose da me dette intorno al calorico, all'elettricità, alla combustione, alle leggi dell'affinità chimica, al peso specifico dei corpi ec., oppure altri giudicasse essere dal soggetto troppo lontane le modificazioni che ho portato nella nomenclatura della Scienza (...) mi conforta d'altronde la speranza che da simili imputazioni forse taluno mi difenderà».²¹

Taddei (che non temeva di affrontare questioni teoriche) si mostrava dunque favorevole a discutere modifiche e variazioni alla nomenclatura lavoisieriana. Infatti, per Taddei la nascita della chimica moderna era da considerarsi un prodotto svedese piuttosto che francese:

E prima di tutto piacemi di rammentare, essere stata la Svezia la terra prediletta della chimica, in quantoché tre grandi luminari sursero nel secolo passato in quella contrada nelle persone di un Bergman, di un Gahn, e di un Scheele; del qual' ultimo i lavori furono preludio in gran parte delle scoperte fatte contemporaneamente dal celebre Lavoisier.²²

Per questo motivo era stato soprattutto Berzelius, «educato alla scuola di costoro», il modello di chimico che Taddei aveva cercato di seguire. Al professore di San Miniato, sostenitore degli equivalenti, poco importava del resto che Berzelius fosse stato un sostenitore della teoria atomica. Per Taddei riferirsi all'opera dello scienziato svedese significava infatti pensare ai fondamentali contributi che avevano aperto la strada alla nascita della chimica organica e fisiologica.²³ Del resto, secondo Taddei, il vantaggio del linguaggio della *Méthode* era costituito proprio dal fatto di poter essere agevolmente modificato in relazione ai cambiamenti delle teorie, senza perdere la sua natura e la sua struttura: «sulle innovazioni delle teorie è facile di adattare e modellar quelle di una nomenclatura sistematica, e di far sì che mantengansi in consonanza fra loro».²⁴ Più precisamente, affermava Taddei, «si vuole che i nomi da usarsi, oltre a indicarci la qualità dei principi componenti di un corpo qualsiasi, atti siano ad indicarci eziando le quantità relative dei medesimi, o le proporzioni in cui essi sono con-

²¹ *Ibid.*, vol. I, pp. v-vi.

²² G. TADDEI, *Elogio storico di Giovanni Giacomo Berzelius*, «Giornale Italiano di Scienze Mediche e Naturali», nn. 5-6, 1848, originariamente presentata come «prelezione» al corso di Chimica Organica dell'anno accademico 1848-49. Sulle relazioni fra Svezia e Toscana si veda F. ANZI, *A Forgotten Dialogue: Sweden and Tuscany in the Eighteenth Century*, «Lychnos», 1989, pp. 129-148. Sempre dello stesso autore, *Fontana e le teorie «svezze»*, in *Id. Science de l'air. Studi su Felice Fontana*, Cosenza, Brenner, pp. 53-64 e *Linnaeus and Italian Culture*, in *Siderius Nuncius & Stella Polaris. The Scientific Relations between Italy and Sweden in Early Modern History*, a cura di M. Beretta e T. Fringsmyr, Canton Mass., Science History Publication, 1997, pp. 111-120.

²³ A questa parte delle ricerche di Berzelius era così dedicato la maggior parte dell'elogio di Taddei.

²⁴ G. TADDEI, *Elementi di farmacologia*, cit., vol. I, p. 320.

tenuti nel composto». Per raggiungere questo scopo era quindi necessario «innettar dei numeri alle voci adoperate per denominare i corpi, poiché altrimenti sarebbe stato impossibile di conseguire simultaneamente il doppio oggetto che si ha in mira». ²⁵ Così, «pensando al vantaggio, che ai cultori della Scienza ne verrebbe, qualora si adottasse un linguaggio, che, oltre a darci l'idea dei principi costituenti di un composto», offrisse anche «quella della quantità relativa, nella quale i medesimi concorrono a formarlo, immaginai di denominare i composti con voci tali, che, precedute da avverbi numerali, potessero condurre allo scopo prefissomi». Taddei naturalmente non negava che tale modificazione altro non fosse che «un'imitazione ed ampliazione di ciò che, o per bisogno o per comodo, erasi già incominciato a fare per vari composti come cloruri, solfuri, ecc., rispetto ai quali si usano fino da qualche tempo le voci di bicloruro, bisolfuro, trisolfuro». Egli si attribuiva però il merito di avere esteso «questa nomenclatura fino agli ossidi e agli ossiacidi». ²⁶

Ora dunque se i nomi di acido solforico, acido solforoso, fosforico, ossido di rame, di stagno, ecc., nella Scienza introdotti da coloro che ne riformarono il linguaggio, ci offrono bene la nozione dei principi loro componenti, altra e non meno importante si è quella che ci vien data dall'avverbio numerale, da cui io faccio precedere i ridetti nomi, essendo cotai mezzo il più atto per acquistare idea del rapporto, in cui quei stessi componenti si trovano nel composto. Di qui è che, mentre i nomi d'acido iposolforoso e d'acido solforico finora usati ci danno soltanto idea di corpi, ove l'ossigeno passando dall'uno all'altro è in incremento, le voci da me sostituite di acido unisolforoso, bisolforoso e trisolforico c'indicano il rapporto in cui l'ossigeno dell'uno è all'ossigeno dell'altro, essendo ben facile a comprendersi, che nell'acido bisolforoso contieni 2 volte, e nel trisolforico 3 volte la stessa quantità d'ossigeno, che contenuto è nell'acido unisolforoso, prima e più bassa delle combinazioni acide dello zolfo. ²⁷

Durante la Prima Riunione degli Scienziati Italiani, tenutasi a Pisa nell'ottobre del 1839, Luigi Luciano Bonaparte de' Principi di Canino, ²⁸ propose «par-

²⁵ *Ibid.*, vol. I, p. 326.

²⁶ *Ibid.*, vol. II, p. 9.

²⁷ *Ibid.*, vol. II, p. 10.

²⁸ Luigi Luciano Bonaparte (1813-1891) era uno dei dieci figli nati dal secondo matrimonio di Luciano Bonaparte con Alessandrina Bleschamps, matrimonio che fu all'origine di un grave dissidio con il fratello Napoleone. Più di Luigi svolse attività scientifica il fratello Carlo Luciano, zoologo, botanico e promotore delle riunioni degli scienziati italiani. Sulle presenze fiorentine della famiglia Bonaparte, che ebbe indubbiamente un ruolo di primo piano nelle vicende del Risorgimento italiano cfr. A. CRISTO, *I Bonaparte a Firenze*, Firenze, Olshki, 1961. Per un primo approccio alla scienza toscana nell'età del Risorgimento cfr. G. BARNESI, *Il pensiero scientifico in Toscana. Disegno storico dalle origini al 1859*, Firenze, Olshki, 1969; R. PASTA, *Scienza, politica e rivoluzione. L'opera di Giovanni Fabbroni (1752-1822), intellettuale e funzionario al servizio dei Lorena*, Firenze, Olshki, 1989; F. ARMI, *Scienza, potere e istituzioni nella Toscana lorenese*, in *Le meraviglie dell'ingegno. Strumenti scientifici dai Medici ai Lorena*, a cura di F. Gravina, Firenze, Ponte alle Grazie, 1990, pp. 49-67; M. MIGNATI, *Nobili e l'ambiente scientifico fiorentino*, in *Leopoldo Nobili e la cultura scientifica del suo tempo*, a cura di

tendo dalla teoria atomistica, e prevalendosi in alcune idee del prof. Taddei, (...) di stabilire una nomenclatura tale che dal nome d'una sostanza fosse dato dedurre il numero degli atomi de' suoi componenti».²⁹ Il lavoro di Bonaparte era animato dal «desiderio di rendere familiare ed utile agli studiosi la teoria atomistica, e di potere, sol che si sappiano i pesi atomici delle sostanze indecomposte, determinare la quantità dei componenti chimici».³⁰ La memoria venne pubblicata da Bonaparte subito dopo la riunione.³¹ Per esplicita ammissione, il punto di partenza della sua riflessione sulla nomenclatura era costituito proprio dagli *Elementi di Farmacologia* editi da Gioacchino Taddei nel 1837.³²

Le proposte di Taddei non erano comunque esenti da vincoli di tipo patriottico, vincoli che avevano indotto i due chimici a rifiutare anche la soluzione di Berzelius relativa ai composti binari, la quale avrebbe potuto teoricamente soddisfare «pienamente all'oggetto voluto».³³ Non «avrei esitato un solo momento ad adottarla, senza restrizione o modificazione di sorta», scriveva Taddei negli *Elementi di Farmacologia*, «se non mi avesse trattenuto la grande avversione nei confronti delle «desinenze in *oso* o in *ico* le quali (...) avrebbero deturpato l'idioma nostro». Infatti le voci «ferroso e ferrico, argentoso e argentario, e più che mai quelle di piomboso e piombico, oroso ed orico, per distinguere i diversi gradi di ossidazione nel ferro, nell'argento, nel piombo, e nell'oro, non avrebbero potuto a meno di dispiacere a coloro, che con tanto impegno vegliano alla conservazione della purità della nostra lingua».³⁴

G. Tarozzi, Bologna, 1986, pp. 41-51; *Lettere inedite a Cosimo Ridolfi nell'Archivio di Melegnano 1817-1835*, a cura di R.P. Coppini e A. Volpi, Firenze, Olshki, 1994; S. BONICCHI, *Un proprietario toscano tra scienza, rivoluzione e filantropismo: Girolamo de' Bardi (1777-1829)*, «Nunciata», X, 1995, pp. 51-97. Cfr. anche gli articoli contenuti in *La Toscana dei Lorena. Riforme, territorio, società*, a cura di Z. Ciuffoletti e L. Rombai, Firenze, Olshki, 1987. Su Carlo Luciano, protagonista anche della politica risorgimentale, si veda la voce di F. Bartocchini e M. Cappellotti Alippi nel *Dizionario Biografico degli Italiani*.

²⁹ *Atti della Prima Riunione degli Scienziati Italiani tenuta in Pisa nell'ottobre del 1839*, Pisa, Nistri, 1840, pp. XXVII-XVIII (d'ora in poi con l'abbreviazione *ATTI Pisa*).

³⁰ *ATTI Pisa*, p. 9.

³¹ L.L. BONAPARTE, *Esposizione di una nuova nomenclatura esprimente il rapporto atomico*, Firenze, Piatti, 1839.

³² Diversamente da Taddei, Bonaparte proponeva di chiamare «ossidi tutte le combinazioni che forma l'ossigeno cogli altri corpi, comprendendo sotto questa denominazione anche gli acidi». Cfr. L.L. BONAPARTE, *op. cit.*, p. 6. Così, ad esempio l'acido solforico della nomenclatura della *Méthode* (SO₃), l'attuale anidride solforica) diventava ossido tri-uni-solforico (pp. 8-11). Sui rapporti fra Taddei e Bonaparte si veda anche lo scambio di lettere avvenuto sulle pagine della «Gazzetta toscana delle scienze medico-fisiche», I, nn. 12-13, 1843 (e stampate successivamente come estratti dalla Società Tipografica in Firenze) relativamente ad «alcuni artifizii immaginati e tentati onde render facile e spedita la ricerca di minime quantità di vari composti metallici entro un qualche liquido». Nell'occasione i due chimici adottarono la nomenclatura modificata.

³³ G. TADDEI, *Elementi di farmacologia*, cit., vol. I, p. 328.

³⁴ *Ibid.*, p. 329.

Al termine della lettura della memoria di Bonaparte (6 ottobre) si accese una discussione fra i partecipanti ai lavori della sessione. Pietro Configliachi, che presiedeva l'adunanza, fece subito notare che «i cambiamenti dei linguaggi scientifici» non potevano essere ottenuti «che a poco per volta, quando, cioè, molte ed accreditate opere si comincino a scrivere col linguaggio medesimo». Ferdinando Maestri, giurista parmense, assai sensibile al problema dell'istituzione di scuole tecniche e professionali, aggiunse che «il nuovo linguaggio» avrebbe necessariamente portato «alla compilazione di un nuovo dizionario», ma senza la possibilità di «sopprimere l'antico, necessario all'intelligenza delle opere finora pubblicate». Bonaparte si difese, attenuando i toni, sostenendo che non aveva «inteso di dire che la sua nomenclatura debba necessariamente adottarsi». In suo aiuto giunse però lo stesso Taddei, anch'egli presente alla riunione, affermando che la sua nomenclatura aveva «servito mirabilmente all'intelligenza de' suoi alunni, trattandosi massimamente di composizioni e decomposizioni chimiche».³⁷

Un'obiezione di diverso genere alla proposta di Bonaparte venne da Giovan Battista Canobbio, docente di chimica farmaceutica all'Università di Genova, contrario in senso generale all'impiego della «teoria atomistica», utile forse per «lo studio dei corpi inorganici, non però rispetto agli organici». Conseguentemente Canobbio riteneva «intempestivo e dannoso per ora nell'insegnamento cattedratico l'uso per questi corpi di una tal teorica, e l'adozione della nomenclatura proposta da Bonaparte, mentre non hanno peranche convenuto i Chimici sulla composizione della molecola organica elementare». Canobbio dichiarava infatti di approvare pienamente «il metodo praticato dal Professor Branchi nell'insegnamento della Chimica, che fu già comunicato alla Sezione».³⁸

Quella di Giuseppe Branchi, professore di chimica e direttore del laboratorio chimico dell'Università di Pisa, era stata la prima relazione del congresso per la parte relativa alla sezione di fisica, chimica e matematica. Durante la lettura della sua memoria Branchi aveva esplicitamente condannato l'uso di qualsiasi riferimento, sebbene ipotetico, alla struttura della materia, preferendo «la dimostrazione dei fatti ben provati», ed invitando «i colleghi ad unirsi per stabilire fatti, riserbandosi in seguito a basarvi con maggiore sicurezza le teorie».³⁷

Di ben altra natura era, benché critica nei confronti di Taddei e Bonaparte, la posizione di Giuseppe Gazzeri, il quale aveva auspicato «a scanso di dannosi equivoci», che «ai gruppi di corpi che hanno un nome volgarmente conosciuto, altri non se sostituiscono».³⁸ L'obiezione di Gazzeri andava infatti nella direzione

³⁷ *Atti Pisa*, pp. 12-13.

³⁸ *Atti Pisa*, pp. 31-32.

³⁷ *Atti Pisa*, pp. 3-4.

³⁸ *Atti Pisa*, p. 13. Su Gazzeri, uno dei personaggi di primo piano della scienza toscana nell'età del Risorgimento, si vedano G. PROVENZAL, *Profili bio-bibliografici*, cit., pp. 99-102, le notizie contenute in S. BONICCHI, *op. cit.*, e F. ARBBI, *La chimica in Toscana da Fontana a Gaz-*

esattamente opposta a quella di Branchi, ed era stata sollevata non tanto per sostenere la positivistica negazione di ipotesi e modelli molecolari, bensì per ribadire la validità della teoria atomistica vera e propria. Bonaparte, invece, come Taddei, sosteneva favorevolmente la nomenclatura degli equivalenti, anche perché riteneva impossibile poter introdurre modifiche linguistiche utilizzando la teoria atomica vera e propria. «Ciò che mi ha determinato ad attenermi agli equivalenti, anziché agli atomi nella formazione delle denominazioni chimiche», scriveva Bonaparte, «si è principalmente la difficoltà, che si prova attenendosi a questi ultimi, di avere delle denominazioni uniformi; che l'atomo essendo ipotetico, alcuni Chimici li fanno doppio, ed altri anche quadruplo».³⁹

Non è dato sapere se Bonaparte intendesse riferirsi con il suo giudizio in maniera specifica anche ad Amedeo Avogadro.⁴⁰ Certo era che Avogadro non aveva mai abbracciato la teoria degli equivalenti, continuando ostinatamente a proporre una particolare interpretazione della teoria atomica (che risulterà, grazie a Cannizzaro, quella vincente), in cui le molecole delle sostanze elementari si dividevano solitamente «in due», ma «in altri casi» avrebbero potuto scomporsi «in quattro» o «in otto».⁴¹

Sicuramente chi conosceva l'opera di Avogadro era invece Gazzeri che, nella terza edizione del suo *Compendio d'un trattato elementare di chimica*, indicava lo scienziato torinese, seppur attraverso le parole di Dumas, fra coloro che, assieme a Gay-Lussac, Berzelius, Ampère, avevano fatto compiere maggiori progressi alla «teoria atomistica».⁴² In questo caso, però, Gazzeri, riferendosi al calcolo delle proporzioni determinate, non intendeva riferirsi, come avrebbero

zari, in *La politica della scienza. Toscana e Stati italiani nel tardo Settecento*, a cura di G. Barantini, V. Becagli e R. Pasta, Firenze, Olschki, pp. 265-277. Dello stesso autore è in corso di stampa la voce per il Dizionario Biografico degli Italiani.

³⁹ L.L. BONAPARTE, *Esposizione*, cit., p. 11.

⁴⁰ Anche Avogadro, fin dai primi passi della sua carriera scientifica, si era impegnato in un tentativo di revisione della nomenclatura chimica; cfr. M. CIARDI, *Teorie senza sperimenti. Le ricerche di Amedeo Avogadro sulla natura dei sali metallici*, «Nuncius», VII, n. 2, 1992, pp. 161-193. Negli anni '40 lo scienziato torinese ritornò sul tema con due memorie: 1) *Proposizione di un nuovo sistema di nomenclatura chimica*, «Memorie della Società Italiana delle Scienze», XXIII, 1844, pp. 260-304. 2) *Sopra un sistema di nomenclatura di chimica*, «Memorie della Società italiana delle Scienze», XXIV (2 parte), 1850, pp. 166-211. Su questi lavori si veda il contributo di G.B. MARINI BETTOLO, *Amedeo Avogadro. Uno dei Quaranta della Società Italiana delle Scienze*, in *Commemorazione del Bicentenario della nascita di Amedeo Avogadro (1776-1976)*, Roma, Accademia Nazionale delle Scienze, 1977, pp. 17-27.

⁴¹ Cfr. M. CIARDI, *L'atomo fantasma*, cit., p. 162.

⁴² G. GAZZERI, *Compendio d'un trattato elementare di chimica. Terza edizione*, Firenze, Piatti, 1853. Gazzeri si riferiva a J.-B. DUMAS, *Sur quelques points de la théorie atomistique*, «Annales de chimie et de physique», XXXIII, 1826, pp. 337-391. Nella prima fase della sua carriera, Dumas aderì sia alla teoria atomica che all'ipotesi di Avogadro-Ampère. Cfr. L. CERURI, *Il luogo del 'Santo'*, cit., p. 134.

fatto Taddei e Bonaparte, alla teoria degli equivalenti, a cui dedicava un breve accenno, ma all'atomismo vero e proprio:

La costanza e l'invariabilità dei composti chimici obbligano a riguardare le particelle elementari di ciascuna specie di materia; particelle che i chimici hanno da non molto tempo preso ad indicare col nome di *atomi*, riproducendo una denominazione usata già dall'antico filosofo Democrito, le cui idee in questo proposito non erano forse tanto strane quanto è stato supposto.⁴³

Ipotesi atomica e teoria degli equivalenti erano dunque per Gazzeri due cose ben distinte. Ed il chimico fiorentino non soltanto cercava di sostenere la validità della prima, ma nella scelta fra Berzelius e Lavoisier, si mostrava ancora favorevole a quest'ultimo.⁴⁴

Attraverso un'analisi, per quanto sommaria, delle posizioni di alcuni chimici italiani (o di intellettuali a tutto campo come Cattaneo) relativamente ad un problema di natura teorica (o se si vuole, per utilizzare l'espressione di Maestri, «filosofica»),⁴⁵ quale quello della nomenclatura, è dunque possibile mettere in luce l'adesione a idee sulla materia o immagini della chimica estremamente differenziate fra loro, che rivelano qualcosa in più del carattere eminentemente pratico che è stato attribuito (peraltro giustamente), alla chimica del nostro paese nell'età del Risorgimento. Esisteva una precisa attenzione di quegli stessi chimici verso problematiche, decisamente non secondarie, di natura strettamente scientifica e speculativa, e questo anche durante una delle cosiddette riunioni «politiche» degli scienziati italiani.

«... questa è la prima volta che si è veduta una simile riunione di scienziati italiani, e se anche non si fosse trattato di una riunione di scienziati italiani, ma di una riunione di scienziati stranieri, si direbbe che si tratta di una riunione di scienziati stranieri, e non di una riunione di scienziati italiani...»

⁴³ G. Gazzeri, *Compendio*, cit., p. 330.

⁴⁴ Sul punto si veda l'articolo di G. Provenzal, *La chimica italiana nel Risorgimento*, cit., p. 136.

⁴⁵ Per un'analisi delle posizioni di G. Gazzeri, si veda l'articolo di G. Provenzal, *La chimica italiana nel Risorgimento*, cit., p. 136.

⁴⁶ G. Gazzeri, *Compendio*, cit., p. 330.

⁴⁷ Questo aspetto era stato correttamente individuato da G. Provenzal, *G. Taddei*, cit., p. 136.

⁴⁸ *Atti Pisa*, p. 13.

PAOLO BENSI (*)

Un pioniere delle analisi scientifiche sulle opere d'arte nella Milano dell'Ottocento: Antonio De Kramer ()**

A 19th pioneer of scientific analyses in the works of art in Milan: Antonio de Kramer.

Summary - Antonio de Kramer (Milan, 1806-1853) distinguishes oneself for chemical researches applied to the industry and for his didactic activity in the courses of the «Società d'Incoraggiamento d'Arti e Mestieri» in Milan. His contacts with the world of restoration above all with the count Giovanni Secco Suardo and the examinations of the samples taken from Leonardo's Last Supper is here described.

Da alcuni anni mi occupo dei rapporti tra le discipline scientifiche, chimiche in primo luogo, e lo studio tecnico delle opere d'arte, ai fini della ricerca storica e delle pratiche conservative. Il contributo delle indagini chimiche in questo settore è più antico di quanto si pensi, grazie alle ricerche di Giuseppe Branchi e Giovanni Fabbroni nell'ultimo decennio del Settecento: vorrei sottolineare l'apporto italiano in questo campo dato che nella storia della diagnostica scientifica delle opere d'arte vengono quasi sempre citati per primi i nomi di studiosi francesi e inglesi come Berthollet, Chaptal e Davy. Nel Convegno di Storia della Chimica di Venezia ho presentato la figura di Icilio Guareschi, in questa sede vorrei sottoporre alla vostra attenzione l'opera di un pioniere in questo campo, Giovanni Antonio De Kramer.¹

(*) Accademia Ligustica di Belle Arti di Genova.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

¹ Sulla storia della diagnostica artistica cfr. M. HOURS, *Les secrets des chefs-d'oeuvre*, Paris 1983; P. BENSI, *Icilio Guareschi tra storia della chimica e storia dell'arte*, Atti del IV Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica», Venezia 1991, a cura di G. MICHELON, Roma 1992, pp. 255-264; P. BENSI, *Scienziati e restauratori nell'Italia dell'Ottocento. Una difficile convivenza*, Atti del Convegno Internazionale di Studi «Giovanni Secco Suardo. La cultura del restauro tra tutela e conservazione dell'opera d'arte», Bergamo 1995, in corso di pubblicazione sul «Bollettino d'Arte».

Grazie soprattutto alle recenti ricerche di Carlo Lacaita disponiamo di un buon numero di dati sulla vita e l'attività dello scienziato, che brevemente riassumiamo. Nasce a Milano il 21 luglio 1806, figlio di un industriale tessile tedesco attivo nel campo della stampa dei tessuti di cotone, i cosiddetti *calicò* o *indiane*.

Di famiglia protestante, frequenta in Svizzera la scuola del pastore evangelico Gerlach e a Parigi il laboratorio del Collegio di Francia diretto da Louis Thénard; tornerà più tardi in Francia per acquisire informazioni sulle materie coloranti e i processi tecnologici di tintura e stampa delle stoffe e sulla estrazione dello zucchero dalle barbabietole. Rientrato a Milano si impegna nelle attività manifatturiere della famiglia ed apre un laboratorio di analisi privato nel 1832.²

La svolta della carriera pubblica dello scienziato è la collaborazione didattica con la «Società d'Incoraggiamento d'Arti e Mestieri», fondata nel 1838 per iniziativa della Camera di Commercio (con il nome di «Cassa di incoraggiamento...») con lo scopo di «*migliorare le arti utili e le manifatture nella provincia di Milano*» soprattutto attraverso la concessione di «*doni onorifici e di incoraggiamento*» e di «*sovvenzioni a titolo gratuito a favore di preclari artisti, meccanici o fabbricatori*» (i primi premi vennero distribuiti nel 1843): istituzione che esprime la chiara volontà degli imprenditori lombardi più evoluti di porsi al passo con lo sviluppo delle industrie dei paesi europei più progrediti.³

Già nel 1842 il primo presidente Enrico Mylius, noto imprenditore e benefattore, affermava che «*il miglior mezzo di favorire l'industria è quello di illuminare coll'istruzione*»: la Società si poneva quindi l'obiettivo di diffondere la conoscenza delle novità scientifiche e tecnologiche mediante corsi pubblici di istruzione, precorrendo l'istituzione del Politecnico milanese.⁴

La prima ad essere istituita fu la Scuola di Chimica pratica, affidata appunto ad Antonio De Kramer, comprendente lezioni teoriche ed esperienze di laboratorio di chimica sia inorganica — dalla produzione del vapore alle industrie metallurgiche, dalla fabbricazione dei laterizi e vetri alla produzione di acidi — sia organica — l'industria dello zucchero, dell'alcool, dei saponi; la fabbricazione della carta; la sbiancatura, tintura e stampa dei tessuti. Come si vede si tratta di

² Per le notizie biografiche cfr. F.D., *Di Antonio De Kramer. Cenni biografici*, «Giornale dell'Ingegnere, Architetto e Agronomo», 1853, pp. 139-141; C.G. LACAITA, *L'intelligenza produttiva. Imprenditori, tecnici e operai nella Società d'Incoraggiamento d'Arti e Mestieri di Milano (1838-1988)*, Milano 1990 (nel seguito LACAITA), in particolare pp. 40-43 e 357. De Kramer progettò tra l'altro quattro zuccherifici a Milano, Torino e Verona.

³ Per la storia della Società d'Incoraggiamento cfr. LACAITA: le citazioni sono tratte da p. 20. L'istituzione esiste ancora a Milano come Ente Morale e gestisce diversi corsi professionali nei settori meccanico, elettrotecnico, elettronico, chimico, informatico e delle arti applicate, come un recente corso di specializzazione per artefici e restauratori di vetrate.

⁴ Cfr. LACAITA, p. 39. Enrico (Heinrich) Mylius era nato a Francoforte nel 1769 e si era stabilito nel 1789 a Milano, segnalandosi per le sue attività finanziarie e di propulsore dell'industria lombarda; fu presidente della Società dal 1841 al 1854: LACAITA p. 23.

argomenti pienamente consoni alle ricerche condotte dallo studioso, oggetto tra l'altro di saggi pubblicati nel «Politecnico» di Carlo Cattaneo, che assumerà nel 1845 l'incarico di *relatore* (direttore) della Società di Incoraggiamento.⁵

Rimandando alle notizie riportate dagli «Atti» della Società e al saggio di Lacaïta per ulteriori informazioni possiamo dire che le lezioni ebbero inizio il 26 febbraio 1844 e proseguirono negli anni successivi con grande successo di pubblico a cui contribuivano le capacità oratorie di De Kramer.⁶ Nel maggio dello stesso anno egli trasferisce nella sede della Società il suo laboratorio, ricco di alcune centinaia di pezzi tra attrezzature, campioni e modelli, e la sua importante biblioteca: viene affiancato da un assistente-preparatore, Davide Nava, e nel settembre del 1844 può ospitare nel laboratorio due esperimenti pubblici nel corso del Sesto Congresso degli scienziati italiani. Sotto la guida di De Kramer svolgono esperienze pratiche alcuni giovani studiosi come Tullio Brugnatelli e Luigi Chiozza, che diverrà assistente e successore dello scienziato milanese.⁷

Nell'aprile del 1845 per iniziativa di De Kramer viene costituita una Commissione per lo studio dei calcari in Lombardia al fine di studiare la realizzazione di calchi idrauliche e cementi con materie prime locali, in linea con le più aggiornate ricerche nel resto d'Europa in campo edilizio: viene tra l'altro indicata come una delle possibili applicazioni dei materiali la decorazione di carattere artistico. Gli altri membri della commissione sono il geologo Giulio Curioni e gli ingegneri Elia Lombardini e Giuseppe Cadolini, tutti collaboratori del «Politecnico»; De Kramer si assume il compito di analizzare la composizione dei materiali lapidei.⁸

I corsi di Chimica continuarono, affiancati dai corsi di Fisica industriale, affidati a Luigi Magrini, di Geometria e Meccanica, tenuti da Giulio Sarti, e di Tessitura serica, tenuti da Angelo Piazza, sino all'insurrezione di Milano del 1848 seguita dagli eventi bellici che comportarono la sospensione di tutte le attività della Società.⁹

⁵ Per la struttura della Scuola di chimica cfr. Archivio della Società d'Incoraggiamento d'Arti e Mestieri (nel seguito A.SIAM), cart. 169; «Atti della Società d'Incoraggiamento delle Arti e de' Mestieri» (nel seguito «Atti»), 1845, p. 5; pp. 40-41: i corsi si tenevano da novembre a luglio, tre volte alla settimana, di sera. De Kramer sin dal 1841 faceva parte della Commissione tecnica incaricata di seguire le attività industriali legate alla chimica (LACAÏTA pp. 26-27). Per la collaborazione di Carlo Cattaneo alla Società cfr. LACAÏTA pp. 58-63.

⁶ Cfr. «Atti», 1845, p. 6; LACAÏTA pp. 43-45.

⁷ Cfr. «Atti», 1845, p. 7; LACAÏTA pp. 45-46. Le collezioni annesse al Laboratorio fu ampliate per iniziativa di De Kramer sia sollecitando donazioni da imprenditori e studiosi sia tramite un viaggio in vari paesi europei nel 1847: cfr. «Atti», 1847, p. 9; LACAÏTA pp. 45-47.

⁸ Cfr. «Atti», 1845, p. 8; 1846, pp. 15-18; LACAÏTA pp. 70-73 (nel 1847 De Kramer aveva fatto costruire anche una fornace sperimentale: p. 73).

⁹ Cfr. LACAÏTA pp. 49-58: Luigi Magrini preparò delle dispense del corso del 1845; non risulta che De Kramer abbia mai fatto qualcosa di analogo.

È il momento però di fare qualche ipotesi relativa all'inizio dei contatti dello scienziato con il mondo della conservazione delle opere d'arte, in particolare con il conte Secco Suardo, autore nel 1866 del primo manuale di restauro concepito in modo sistematico e razionale. Quest'ultimo era nato nel 1798 a Lurano (nei pressi di Treviglio) e nel 1831 si era trasferito a Milano, essendo stato nominato «*Deputato della città di Bergamo presso la Congregazione Centrale del capoluogo lombardo, in qualità di 'nobile possidente'*», dove rimase sino al 1860.¹⁰ A Milano Secco Suardo, appassionato di pittura antica, iniziò a frequentare le botteghe degli antiquari e dei restauratori e le dimore dei collezionisti: le strade dei due studiosi si incrociarono tra il 1832 (ritorno di De Kramer a Milano) e il 1851 (una lettera di quell'anno attesta che i rapporti tra i due si erano già stabiliti), in un momento ancora da determinare ma che probabilmente è da porre a ridosso del 1850, quando il conte bergamasco effettuò i suoi primi esperimenti di restauro di dipinti.¹¹ Forse Secco Suardo frequentava le lezioni della Società di Incoraggiamento; forse la conoscenza potrebbe essere iniziata sul lago di Como, dove soggiornavano sia lo scienziato sia Giovanni Morelli, noto studioso d'arte e buon amico del conte.¹²

Comunque De Kramer non era completamente estraneo al mondo dell'arte, dato che faceva parte del Collegio dei Conservatori del Civico Museo di Milano; inoltre era legato da amicizia ad Enrico Mylius, noto negli ambienti culturali milanesi come raffinato collezionista e committente di opere d'arte.¹³

Le frequentazioni tra i due studiosi sono testimoniate da un brano del *Manuale* di restauro del 1866, dove a proposito del problema dell'eliminazione dei tarli dai dipinti su supporti lignei Secco Suardo scrive: «*il valentissimo chimico nobile Antonio De Kramer, la di cui immatura perdita è ancora rimpianta da tutti i buoni, mi trasse d'impaccio, suggerendomi di asfissiarlo; e tra le varie sostanze che impiegare si ponno a tale intento, si trovò che la più opportuna è il*

¹⁰ Il titolo del testo di Giovanni Secco Suardo era *Manuale ragionato per la parte meccanica dell'Arte del Restauratore di dipinti*, tip. P. Agnelli, Milano 1866; solo dopo la morte del conte fu ristampato in una versione più ampia con il titolo di *Il Restauratore di dipinti*, Hoepli, Milano 1894. Per le notizie biografiche sul Secco Suardo cfr. C. GIANNINI, *Giovanni Secco Suardo. La vita, le opere, i restauri*, in *Giovanni Secco Suardo (1798-1873). Fonti, strumenti, materiali di ricerca*, a cura di E. DE PASCALE, C. GIANNINI, Bergamo 1995: la citazione è a p. 7. Colgo l'occasione per ringraziare Cristina Giannini per le utili indicazioni amichevolmente fornite in più di una occasione.

¹¹ Per le conoscenze del conte nell'ambiente artistico e i primi esperimenti di restauro cfr. C. GIANNINI, *op. cit.*, pp. 7-9 e 20-21.

¹² Cfr. LAICATA p. 87 e C. GIANNINI, p. 7.

¹³ Cfr. F.D., *op. cit.*, p. 140. Su Enrico Mylius collezionista e mecenate si veda almeno la scheda di I. MARELLI, *Ritratto di Luigia Mylius Vitali*, in *Hayez*, catalogo della mostra a cura di M.C. GOZZOLI, Milano 1983: Mylius aveva commissionato dipinti, oltre che ad Hayez, a Pelagio Palagi, Giuseppe Molteni, al Migliara, e diverse sculture.

petrolio». Il brano prosegue con la descrizione dell'apparecchiatura utilizzata per il trattamento e si conclude con un'altra citazione di De Kramer «*Quel valente chimico mi assicurava che nessun animale può reggere alle evaporazioni del petrolio, le quali si infiltrano ovunque e penetrano nei legni i più duri e compatti*». ¹⁴

Non è ancora sufficientemente nota la storia dei prodotti chimici usati per la disinfestazione del legno ma dal testo di Secco Suardo si deduce che negli anni Cinquanta la metodologia suggerita da De Kramer doveva porsi come una novità assoluta, almeno in Italia: in precedenza erano consigliati vapori di acqua bollente o di acquaragia, mentre oggi si utilizzano gas più penetranti e più efficaci come il bromuro di etile. ¹⁵ Il tono dello scritto fa comprendere i rapporti di stima e di amicizia che dovevano sussistere tra i due studiosi, purtroppo interrotti dalla morte immatura del chimico milanese.

L'altro importante momento di contatto per De Kramer con l'ambiente del restauro è precisamente documentato e si colloca nel 1851: prima di darne conto è opportuno però accennare brevemente alle vicende umane e professionali dello scienziato. La riapertura dei corsi di chimica è autorizzata alla fine del 1849 ma De Kramer riprese effettivamente le lezioni solo nel novembre 1850, per sospenderle nel maggio 1851 a causa del viaggio programmato a Londra in occasione della celebre Esposizione Universale, di cui possediamo una relazione stesa nel marzo 1852, molto interessante sia per le note di grande entusiasmo suscitato da quell'«*evento straordinario, unico negli annali dell'Umanità*» sia per gli accenti di delusione e di malcelata amarezza provocati dagli esiti della missione ufficiale connessa al viaggio, ossia l'incremento delle dotazioni del Laboratorio di chimica. ¹⁶

De Kramer lamentava la scarsità dei fondi stanziati dalla Società per gli scopi specifici della sua missione, che lo aveva costretto a limitare gli acquisti di campioni e apparecchiature o affidarsi alla buona volontà degli espositori al Crystal Palace per ottenere materiali in sconto o in dono, facendo sicuramente ricorso al proprio prestigio personale. Diversi campioni erano stati comunque procurati per il Laboratorio, alcuni dei quali riguardanti la tintura delle stoffe ed altri la pittura, come la *biacca di zinco* (ossido di zinco) ed additivi per l'essiccamento degli olii. ¹⁷

Probabilmente nei primi mesi del 1851 avviene il contatto a cui si accennava, che porta il chimico ad occuparsi delle condizioni conservative del dipinto milanese probabilmente più celebre in assoluto, l'*Ultima Cena* di Leonardo da

¹⁴ Cfr. G. SECCO SUARDO, *Il Restauratore ... cit.*, pp. 108-109.

¹⁵ Cfr. G. SECCO SUARDO, *Il Restauratore ... cit.*, p. 108. Per i metodi moderni di disinfestazione si veda G. PERUSINI, *Il restauro dei dipinti e delle sculture lignee. Storia, teorie e tecniche*, Udine 1989, pp. 164-166.

¹⁶ Per i corsi di De Kramer tra il 1849 e il 1851 cfr. A.SIAM, cart. 169; «Atti», 1851, p. 6; LACAITA p. 81. La relazione di De Kramer sul viaggio a Londra è in A.SIAM, cart. 65, relazione alla Presidenza del 27 marzo 1852; si veda anche LACAITA pp. 83-85.

¹⁷ Cfr. A.SIAM, cart. 65, relazione citata.

Vinci. È noto come le condizioni dell'opera abbiano suscitato preoccupazioni sin dall'inizio del Cinquecento a causa delle particolari tecniche esecutive scelte da Leonardo, ossia una tempera (con leganti proteici o oleoso-proteici) su muro e non un affresco: era già stata oggetto di restauri documentati, consistiti in drastiche puliture con materiali in genere basici e rifacimenti più o meno vasti, nel 1726, nel 1770 e nel 1821.¹⁸ In vista di un nuovo intervento il presidente dell'Accademia di Belle Arti, conte Ambrogio Nava, invita De Kramer ad eseguire «un'analisi della natura del colore e del fondo, o intonaco, sul quale Leonardo aveva dipinto»; l'Accademia esercitava il controllo sulla conservazione del *Cenacolo* tramite una commissione di cui facevano parte tra gli altri il pittore Francesco Hayez e il pittore-restauratore Giuseppe Molteni.¹⁹

L'incarico affidato allo scienziato si può collegare con la grande notorietà raggiunta, grazie anche all'attività didattica, e probabilmente a contatti già esistenti con l'ambiente artistico milanese: non dimentichiamo che sia Hayez che Molteni avevano eseguito dipinti per il Mylius.²⁰ Inoltre aveva frequentato il laboratorio di Thénard a Parigi tra il 1824 e il 1826, anni in cui lo studioso francese aveva già preparato il pigmento blu a base di alluminato di cobalto, aveva proposto l'acqua ossigenata come sbiancante della biacca annerita nei dipinti e suggerito al pittore Gros un particolare impasto come fondo per la pittura.²¹ I temi di chimica analitica non erano estranei a De Kramer, come si può dedurre da alcuni saggi pubblicati sul «Politecnico» e dalla partecipazione alla Commissione di studio sui cementi: quest'ultima lo rendeva particolarmente adatto alle indagini sulla composizione degli intonaci.²²

Purtroppo sinora non mi è stato possibile reperire negli archivi della Società di Incoraggiamento alcun documento relativo alle indagini scientifiche sul *Cenacolo*: un fatto inaspettato dato che queste ultime quasi sicuramente dovettero essere state condotte nel Laboratorio della Società e non in forma privata, e negli archivi sono conservate relazioni di analisi effettuate in quegli anni dalla Società per conto di vari enti. Saranno necessarie ulteriori ricerche negli archivi delle Soprintendenze milanesi; in ogni caso mi sono servito di quello che sembra essere un riassunto quasi completo della relazione finale pubblicato nel 1906 a cura dell'Ufficio Regionale per la Conservazione dei Monumenti della Lombardia.²³

¹⁸ Per la storia dei restauri dell'*Ultima Cena* cfr. P. BRAMBILLA BARCILON, *Il Cenacolo di Leonardo in Santa Maria delle Grazie. Storia, condizioni, problemi*, Ivrea 1985, in particolare le pp. 28-41.

¹⁹ Cfr. Ufficio Regionale per la Conservazione dei Monumenti della Lombardia, *Le vicende del Cenacolo di Leonardo da Vinci nel secolo XIX*, Milano 1906, p. 39.

²⁰ Si veda la nota 13 sulla committenza di Mylius; Giuseppe Molteni era anche molto legato al Secco Suardo: cfr. C. GIANNINI, *op. cit.*, p. 8.

²¹ Per i contatti con Thénard cfr. F.D., *op. cit.*, p. 139; sul contributo dello scienziato francese allo studio delle opere d'arte cfr. P. BENSI, *Scienziati e restauratori ... cit.*

²² Sulle pubblicazioni di De Kramer di argomento analitico cfr. F.D., *op. cit.*, p. 140.

²³ Cfr. Ufficio Regionale ..., *op. cit.*, pp. 39-40; P. BRAMBILLA BARCILON, *op. cit.*, p. 83.

Non è noto quando e soprattutto, dato fondamentale, dove furono prelevati i campioni; sappiamo che il 10 maggio 1851 De Kramer consegnò un rapporto sui risultati delle indagini alla Commissione di controllo, da cui attingiamo le notizie che seguono.

L'intonaco vi è descritto come *gialliccio*, spesso 1-2 millimetri, «*che si distacca in squamette di forma irregolare*» — è questo un dato ancor oggi riscontrabile nell'opera, dovuto in parte al tipo di tecnica utilizzata da Leonardo e in parte agli interventi conservativi succedutisi nei secoli: risulta formato da carbonato di calcio e cera, con scarso inerte sabbioso, argilla e composti di ferro. Il legante appare «*di natura grassa (...) ma non mi fu possibile rinvenire se olio o altro*»: viene riscontrata anche una piccola quantità di rame, forse proveniente dal recipiente «*nel quale fu liquefatta la cera*».²⁴

I risultati meritano qualche parola di commento. Le cere erano individuabili anche con i metodi analitici dell'epoca, quindi si può avere una ragionevole sicurezza della loro presenza; tuttavia costituiscono un aspetto tecnico anomalo, che fa pensare addirittura ad un prelevamento in zone già interessate da precedenti restauri: si sa ad esempio che nel restauro del 1821 eseguito da Stefano Barezzi erano state utilizzate sostanze cerose.²⁵ Per quanto riguarda i leganti è interessante che De Kramer abbia portato una prova sperimentale all'ipotesi di una esecuzione a secco del dipinto, appunto basata sull'azione di sostanze organiche e non sull'inglobamento dei pigmenti in una matrice di carbonato di calcio, come avviene in un affresco. Però anche in questo caso c'è da chiedersi se i risultati non siano stati inficiati dalle modalità di prelievo, dato che quasi sicuramente i restauri del 1726 e del 1770 comportarono vaste ridipinture ad olio.²⁶

Lo scienziato milanese non disponeva ancora di metodologie adatte a distinguere con precisione leganti proteici (uova, colle animali) da materiali oleosi (olio di semi di lino o di noci), comunque anche oggi tale tipo di analisi risulta spesso problematica, e nel caso specifico del *Cenacolo* i metodi più moderni non sono riusciti a individuare con sicurezza le sostanze leganti.²⁷

Certamente se una lezione ancora attuale possiamo trarre dalla vicenda è l'importanza centrale da attribuire al campionamento, che deve essere limitato, esente da contaminazioni, mirato al chiarimento di precisi interrogativi sulla tecnica e sullo stato conservativo delle opere d'arte.

²⁴ Cfr. Ufficio Regionale ..., *op. cit.*, p. 40.

²⁵ Cfr. P. BRAMBILLA BARCILON, *op. cit.*, pp. 40 e 44.

²⁶ Cfr. P. BRAMBILLA BARCILON, *op. cit.*, pp. 32 e 37.

²⁷ Cfr. P. BRAMBILLA BARCILON, *op. cit.*, pp. 97-99; H. KUHN, *Naturwissenschaftliche Untersuchung von Leonardo «Abendmahl» in Santa Maria delle Grazie in Mailand*, «Maltechnik Restauro», 1985, n. 4, pp. 24-51; M. MATTEINI, A. MOLES, *Il Cenacolo di Leonardo: considerazioni sulla tecnica pittorica e ulteriori studi analitici sulla preparazione*, «OPD Restauro», n. 1, 1986, pp. 34-41 (a p. 34 c'è un breve accenno alle analisi di De Kramer).

Da una lettera dell'archivio Secco Suardo a Lurano (individuata da Cristina Giannini) apprendiamo come, nella stessa data in cui fu consegnata il rapporto alla Commissione, De Kramer abbia scritto al restauratore bergamasco riportando in modo pressoché testuale la relazione stessa aggiungendo «*io parto per Londra*»: abbiamo quindi la testimonianza di una conoscenza tra i due già consolidata che si aggiunge alla citazione nel *Manuale* riportata in precedenza.²⁸

Due anni dopo il pittore Stefano Barezzi intervenne nuovamente sull'*Ultima Cena* con operazioni di consolidamento: negli atti della Commissione di controllo le analisi di De Kramer non vengono citate, se non in un'occasione dal Nava, che ne traeva la convinzione che Leonardo avesse eseguito l'opera ad encausto, ossia con leganti cerosi; si tratta, in base a quanto sopra esposto, di una interpretazione non corretta dei risultati delle indagini.²⁹

Aggiungiamo una postilla sulle successive vicende umane dello scienziato. Ammalatosi al ritorno dal viaggio in Inghilterra ebbe un rapido declino delle forze che lo condusse alla morte avvenuta il 25 settembre 1853, all'età di 47 anni: prima di spegnersi indicava in Luigi Chiozza il suo successore alla cattedra di Chimica, suggerimento accolto dalla Società di Incoraggiamento. Chiozza era in quel momento l'assistente di De Kramer: oltre che alla sua scuola si era formato per alcuni anni con C.F. Gerhardt a Parigi, specializzandosi in chimica organica.³⁰

De Kramer donò inoltre alla Società il suo laboratorio e la sua biblioteca (purtroppo solo in parte sopravvissuta): l'inventario steso all'epoca ci mostra la presenza dei principali testi chimici dell'epoca, come quelli di Sobrero, Liebig, Gerhardt, Berthollet, Lavoisier, Dumas, Chevreul e la *Chimie appliquée aux arts* di Chaptal.³¹

In conclusione possiamo cercare di inquadrare le ricerche dello studioso milanese applicate allo studio delle opere d'arte nel panorama generale degli studi contemporanei. Alcuni scienziati avevano già partecipato a commissioni di controllo di restauri, come era avvenuto nel 1801 in Francia a Berthollet e Guyton de Morveau per gli interventi sulla *Madonna di Foligno* di Raffaello o a Napoli nel 1825 per Nicola Covelli nel caso delle operazioni conservative sugli affreschi pompeiani.³² Si erano particolarmente distinti in Italia Giovanni Fab-

²⁸ Cfr. C. GIANNINI, *Le fonti manoscritte*, in *Giovanni Secco Suardo ... cit.*, pp. 54 e 60.

²⁹ Cfr. Ufficio Regionale ..., *op. cit.*, pp. 41 e 48; P. BRAMBILLA BARCILON, *op. cit.*, pp. 42-45.

³⁰ Cfr. «Atti», 1853, p. 57; LACAITA p. 87; Anonimo, *L'addio alla scuola del professor Antonio Kramer*, «Il chimico italiano», a. VII, n. 4, luglio-agosto 1996, p. 23. Per le notizie biografiche sul Chiozza cfr. A. GAUDIANO, voce *Chiozza, Luigi*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 25, Roma 1981, pp. 39-41.

³¹ Cfr. ASIAM, cart. 67, per l'elenco dei libri donati da De Kramer alla Società. Una statua dello scienziato fu collocata nell'«Atrio dei Benefattori» della sede della Società, accanto a quella di Enrico Mylius, dove tuttora si trova: cfr. Anonimo, *op. cit.*, p. 23 e la lettera al Direttore di Massimo Scortecci in «Il Chimico Italiano» a. VII, n. 5, settembre ottobre 1996, p. 23.

³² Cfr. A. CONTI, *Storia del restauro e della conservazione delle opere d'arte*, Milano 1988, pp. 193 e 214; P. BENSI, *Scienziati e restauratori ... cit.*

broni a Firenze, per i suoi esperimenti di impiego della cera nella protezione di dipinti murali e sculture, e Giuseppe Branchi a Pisa, per le analisi condotte nel 1791, 1806 e 1836 su dipinti su tavola e su muro a Pisa e Pistoia, ottenendo risultati molto probanti per l'epoca sulla natura degli intonaci e dei pigmenti, mentre problematica rimaneva l'identificazione dei leganti organici. Non sappiamo se De Kramer fosse a conoscenza dei risultati di tali indagini, pubblicate in alcune riviste dell'epoca, di fronte ai quali le sue ricerche appaiono abbastanza generiche, pur rimanendo fuori discussione la modernità dell'approccio scientifico all'opera d'arte.³³

Qualche anno dopo a Padova due chimici, Francesco Filippuzzi e Carlo Cerato, collaboravano alle commissioni di controllo sui restauri effettuati da Guglielmo Botti nella Cappella degli Scrovegni e nella Cappella Ovetari tra il 1869 e il 1871.³⁴ Il Botti, uno dei più noti restauratori dell'epoca, cercava di proporsi in quegli anni anche per un nuovo intervento sul *Cenacolo*: la Commissione di controllo chiese il parere di Angelo Pavesi, docente di chimica nell'Istituto Tecnico Superiore di Milano, che eseguì una serie di osservazioni sul dipinto ma non ritenne opportuno effettuare nuove analisi, giudicando sufficienti quelle a suo tempo eseguite dall'*illustre Kramer*, vuoi per riverenza per il famoso scienziato vuoi per scarsa competenza specifica.³⁵

Dobbiamo attendere il 1969 per trovare nuove campagne di indagini sull'*Ultima Cena*, di cui Antonio De Kramer era stato il precursore.³⁶

Desidero ringraziare per la gentilissima collaborazione offertami la Società d'Incoraggiamento d'Arti e Mestieri di Milano, il particolare il Presidente, dott. Massimo Scortecchi, il sig. Fabio Poltri Tanucci e il personale della segreteria.

³³ Cfr. P. BENSI, *Scienziati e restauratori ... cit.*: nel 1839, nel corso della Prima Riunione degli scienziati italiani, una sessione dei lavori del settore della chimica venne dedicata, per iniziativa del Branchi, all'esame del degrado degli affreschi del Camposanto di Pisa, cfr. *Atti della Prima Riunione degli Scienziati Italiani tenuta in Pisa nell'ottobre 1839*, Pisa 1840, pp. 43 e 52-54.

³⁴ Cfr. P. BENSI, *Scienziati e restauratori ... cit.*

³⁵ Cfr. Ufficio Regionale ..., *op. cit.*, pp. 55-58 (in particolare pp. 56-57).

³⁶ P. BRAMBILLA BARCILON, *op. cit.*, pp. 87-88.

GIULIANO DALL'OLIO (*) - ROMOLO M. DORIZZI (**)

La diagnostica chimica della malattia renale nell'Ottocento: reazioni e apparecchi (*)**

The chemical diagnosis of the kidney disease in XIX century: reactions and instruments.

Summary - Two major medicine schools appeared in XIX century in Europe since the french physicians preferred the physical methods of investigation while german physicians proposed the use of chemical methods. Claude Bernard (1813-1878) was the first important author who proposed in France the study of physiological chemistry and Johann Lucas Schonlein (1793-1864), clinician in Wurzburg, sustained chemical and microscopical researches in biological fluids.

However, the first «chemical sign» adopted in the diagnostic process was the albuminuria which Richard Bright described in 1827 as the key sign of kidney disease (or Bright's disease). It must be noted that other authors, first of all Domenico Cotugno in 1764, had described that sign without ascribing to it the proper role.

In the middle of XIX century the first clinical laboratories were opened: Johan Franz Simon carried out chemical analyses for the clinician Schonlein in Berlin, Johan Joseph Scherer (1814-1869) established in 1842 at Wurzburg a laboratory devoted to «clinical chemistry» analyses, Johann Florian Heller (1813-1871) founded in 1844 a laboratory of «pathological chemistry» in Wien, Giovanni Bizio became in 1863 the chief chemist at the laboratory of the General Hospital of Venice.

Several articles document the usefulness of chemical investigations (for example: the measurement of urea, creatinine, albumine in blood and urine, relative density, freezing point) in the management of patients suffering from kidney diseases cured in the General Hospital of Venice in the second half of XIX century.

All the major methods used in XIX century for the diagnosis of kidney diseases are described in the article. Among the methods for the urea, the Millon-Boymond method (1849), the Bunsen method (1850), the Liebig method (1853), the Knop-Hufner method (1877) and the Folin method (1901) are described. Also the most popular methods for urinary albumine measurement are described: the biuret reaction (1833), the Heller reaction (1852), the Heynsius reaction (1875), the Esbach method (1874 and 1882), the urinary test papers (1883). Finally the methods for creatinine assay are described: the Jaffe method (1884), the Folin method (1904) and two methods proposed by italian authors: Bruttini and Giannetti.

(*) Laboratorio di Chimica clinica ed Ematologia Ospedale «S. Bortolo», Vicenza.

(**) Laboratorio Analisi Chimico Cliniche ed Ematologiche, OCM, Azienda Ospedaliera, Verona.

(***) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

INTRODUZIONE

Nell'Ottocento la diagnostica clinica vede, inizialmente, il contrapporsi di due scuole: la francese che privilegia i metodi fisici di indagine, come l'auscultazione e la percussione, e la scuola tedesca che, sotto l'influsso del clinico di Wurzburg Johann Lucas Schoenlein (1793-1864), introduce fra i criteri diagnostici anche le ricerche chimiche e microscopiche sui liquidi biologici.

Successivamente, anche in Francia, sotto l'impulso delle idee innovatrici di Claude Bernard (1813-1878) divulgate con la pubblicazione dell'«Introduction à l'étude de la Médecine Expérimentale» (1865), si diffonde l'interesse per la chimica fisiologica e le sue applicazioni alla medicina pratica.

Per lo studio del decorso della malattia, le osservazioni cliniche non sono sufficienti e l'esame autoptico indicherà solo lo stato finale del processo patologico. L'obiettivo è lo studio di un processo morboso, di un irregolare funzionamento dell'organismo, per mezzo di nuovi metodi scientifici fisici e chimici [1].

L'uso di metodi chimici nella diagnosi clinica ha il suo esordio agli inizi del secolo in seguito alla introduzione di un «segno chimico» nella definizione di una malattia adottato per la prima volta da Richard Bright (1789-1858) nel 1827. Egli descrisse l'albuminuria come segno chiave del morbo che prese poi il suo nome [2]. Gli studi di Bright mettono in stretta relazione «l'osservazione clinica, la dissezione anatomica e la "dissezione chimica" nello studio della malattia» [3].

I progressi della fisiologia e della chimica portano, nel corso del secolo, ad individuare una serie di reazioni chimiche per la diagnosi delle malattie più note e soprattutto di quelle difficilmente diagnosticabili con il solo esame obiettivo. Il conseguente aumento della richiesta di indagini di laboratorio da parte dei clinici stimola i ricercatori alla costruzione di apparecchi per rendere i processi analitici più rapidi ed affidabili. Intorno alla metà dell'Ottocento sorgono anche i primi laboratori di chimica clinica, istituiti all'interno dei grandi ospedali per l'esecuzione di analisi chimiche a scopo diagnostico. I laboratori di chimica clinica si sviluppano di pari passo con l'evolversi delle tecniche chimico analitiche e della strumentazione.

I PRIMI LABORATORI DI CHIMICA CLINICA IN EUROPA

Le date principali sono comprese tra il 1840 ed il 1863.

1840. Presso l'Ospedale di Berlino il chimico-farmacista Johan Franz Simon (1807-1843) esegue analisi chimiche su materiale biologico per conto dell'illustre clinico Johan Lucas Schonlein.

1842. Al Juliuspsital di Wurzburg viene allestito il primo laboratorio destinato alle analisi «chimico cliniche». È diretto da Johan Joseph Scherer (1814-1869), allievo di Liebig.

1844. Il chimico Johan Florian Heller (1813-1871), allievo di Liebig, istituisce a Vienna un laboratorio di «chimica patologica».

1863. All'Ospedale Generale di Venezia funziona un laboratorio, diretto dal chimico Giovanni Bizio (1823-1891), per eseguire «*le indagini chimiche organiche richieste dai medici primari*».

LE INDAGINI CHIMICHE NELLA MALATTIA RENALE

La presenza di albumina nelle urine di pazienti nefropatici era stata osservata già nel 1764 da Domenico Cotugno (1736-1822) che nella sua «*De Ischiade Nervosa Commentarius*» descrive la presenza di «*albam massam tenerrimo iam coacto ovi albumine persimilem*» (denso corpo bianco come albume di uova sode) nelle urine riscaldate di un soldato di 28 anni con anasarca, febbre intermittente, pochissima sete e poche urine [4]. Secondo Rayer (1839) è uno dei primi trionfi della chimica applicata alla patologia.

Richard Bright, nella sua opera «*Reports of Medical Diseases*» (1827), lega a lesioni anatomiche del rene un segno clinico (edema) ed una anomalia riscontrata nelle urine (urine coagulabili). Nel 1842 al Guy's Hospital istituisce una unità collegata ad un laboratorio specializzato nello studio delle malattie renali.

«... non vi ha adunque albuminuria, sia acuta e sia cronica, sia mortale che lieve, la quale non abbia per causa prossima un'alterazione anatomica dei reni» (Gaetano Primavera. *Manuale di Chimica Clinica*, 1873).

La scoperta e gli studi sull'urea da parte di numerosi chimici e medici: Fourcroy, Vaquelin, Prevost, Dumas, Wohler, Bechamp portano ad individuare questo componente dell'urina e del sangue come un indice attendibile di malattia renale. Interessanti studi in questo senso si debbono al medico e chimico inglese John Bostock (1773-1846) che viene considerato uno dei primi patologi chimici. Molto preparato in chimica, sua scienza prediletta, Bostock nel 1827 attraverso indagini chimiche contribuisce ai progressi della biochimica delle malattie renali rilevando per primo la relazione fra la diminuzione dell'albumina nel sangue e il suo corrispondente aumento nell'urina. Nota una diminuzione dell'urea nell'urina ed un aumento nel sangue [5].

Per l'urea, come per altri analiti, vengono individuati dei «valori normali» corrispondenti ai risultati analitici ottenuti da soggetti sani che, confrontati con quelli di soggetti affetti da particolari patologie, aiutano ad arrivare a conclusioni diagnostiche soprattutto nei casi dubbi.

«... diceva di soffrire da due mesi di gonfiezze vaganti. Allora non se ne vedevano ma dalla storia fui indotto ad esaminare le urine che ho mandate al prof. Bizio. Ecco i risultati della sua analisi: (Fig. 1)
... gli spedii pure una piccola quantità di sangue ... e in grammi 115,30 il prof. Bizio separò 0,908 d'urea. L'urea ... egli scrisse, si trovava in proporzione di 0,787 per cento, mentre a media normale, secondo il Picard, sarebbe di 0,016 per cento

in parti 100.		media normale.		
Albumina.	0.134	0.000	
Cloro.	1.193	} materie fisse	2.330	
Sali	0.521		4.955.	1.540
Altre m. fisse.	0.107		0.290
Acqua	98.045		96.000
	<hr/>		<hr/>	
	100.000		100.000	

Fig. 1. Risultati delle analisi eseguite da Bizio sulle urine di un paziente [1].

... Nella dissezione del cadavere ho trovato ... atrofici i reni con degenerazione lardacea ...» (Giornale Veneto di Scienze Mediche, 1868).

«In un infermo di albuminuria, portato in ospedale nell'ultima settimana della sua vita, la diagnosi non avrebbe potuto farsi senza l'esame chimico delle urine, tanto erano incerte le parvenze sintomatiche» (Giornale Veneto di Scienze Mediche, 1865).

La diagnostica chimica della malattia renale nell'Ottocento avviene prevalentemente attraverso indagini sulle urine, il liquido biologico reperibile facilmente, in grande quantità e maggiormente studiato. Le analisi sul sangue sono più rare perché richiedono metodi indaginosi ma soprattutto, e questo è il vero grosso ostacolo, necessitano di grandi quantità di campione (circa 100 mL).

Solo all'inizio del Novecento con i micrometodi proposti da Ivar Bang (1869-1918) e Fritz Pregl (1869-1930) ed i metodi colorimetrici studiati da Otto Folin (1867-1934) e dalla sua scuola sarà possibile il diffondersi delle determinazioni su questo complesso liquido biologico. Anche per le indagini colorimetriche sull'urina, a causa dell'effetto della matrice biologica, saranno determinanti gli studi di Folin all'inizio del Novecento.

Rilevare un determinato analita nell'urina o nel sangue oppure la valutazione delle variazioni di concentrazione costituisce spesso un «segno chimico» sufficientemente specifico per la diagnosi di malattia renale (albumina, urea, creatinina, ...), altre indagini chimico fisiche (densità dell'urina, crioscopia, ...) non hanno da sole un grande significato ma sono invece utili per delineare un quadro più completo in quella che Ludwig Thudichum (1829-1901) definisce «l'identificazione chimica della malattia» [1]. I pareri, comunque, sono spesso discordi:

«La crioscopia è molto utile nei casi di nefriti croniche, perché molti sintomi ancora oscuri vengono rilevati per mezzo di essa. È molto difficile però dire se si tratti di impermeabilità glomerulare o d'insufficienza cardiaca ... In questi casi è la chimica che deve illuminare la crioscopia e non questa quella» [6].

«L'abbassamento del punto di congelamento dell'urina sta in rapporto col grado di lesione del rene» [7].

«La eliminazione quotidiana normale della creatinina è di gr. 0,60-1,30 ... diminuisce nella nefrite» [8].

Le indagini chimico-fisiche sulle urine e su sangue messe a punto nell'Ottocento e nei primi anni del Novecento utili per la diagnosi di malattie renali possono essere individuate in:

- Misura della densità (urina);
- Rilievo del punto crioscopico (urina);
- Determinazione qualitativa e quantitativa dell'albumina (urina);
- Determinazione quantitativa dell'urea (urina/sangue);
- Determinazione qualitativa e quantitativa della creatinina (urina/sangue);
- Ricerca dell'emoglobina (urina);
- Misura dei cloruri (urina).

REAZIONI E APPARECCHI

CRIOSCOPIA

Metodo di misura: abbassamento crioscopico

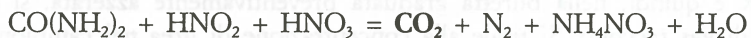
Apparecchio di Beckmann modificato da Bousquet (Fig. 2) [8].

Il recipiente esterno più grande (a) e il tubo *b* contengono rispettivamente una miscela refrigerante (ghiaccio e cloruro di sodio) e un mezzo di trasmissione termica (acqua e glicerina in parti eguali). Il liquido in esame viene introdotto nel tubo più interno (c), con un termometro ed un agitatore di platino, dove comincia a congelare. La temperatura scende rapidamente e quindi, per aggiunta di un cristallino di ghiaccio, inizia a risalire fino ad un punto al quale rimane costante per alcuni secondi. Il valore rilevato a quel momento è la temperatura di congelamento del liquido.

METODI DI DOSAGGIO DELL'UREA

Metodo di Millon-Boymond (1849)

Facendo reagire una soluzione di urea con acido nitroso e nitrico (reattivo di Millon: soluzione acquosa di mercurio e acido nitrico) l'urea viene decomposta in azoto e anidride carbonica che si sviluppano [9].



Millon (1849) determina solamente la CO_2 per pesata, assorbendola su un tubo a potassa a peso noto, e da questa risale all'urea nel campione in esame.

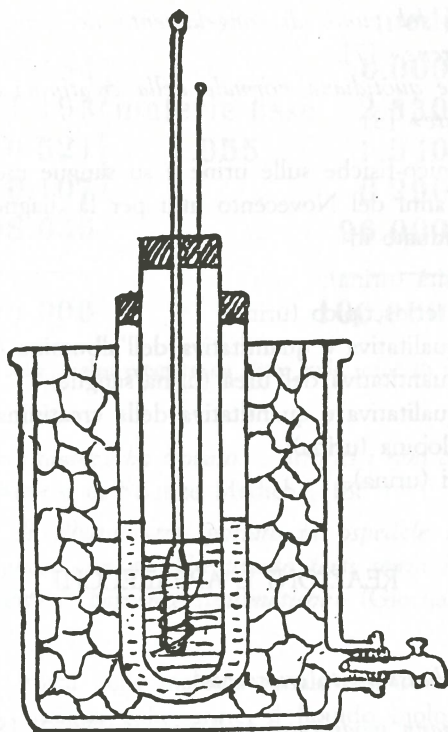


Fig. 2. Apparecchio di Beckmann modificato da Bousquet [8].

Boymond (1873) fa avvenire la reazione in un apparecchio a diminuzione di peso e dalla sua variazione si risale alla quantità di CO_2 e N_2 sviluppati e quindi alla quantità di urea nel campione.

«È un buon metodo. Per uso clinico questo metodo e quello di Hufner sono i migliori» [9].

Nel 1897 il metodo di Millon-Boymond viene modificato da Riegler che misura il volume dei gas azoto e anidride carbonica con l'apparecchio riportato in figura 3. L'urina da esaminare si trova nel tubo **A** in comunicazione con un imbuto **B** contenente il reattivo di Millon e con una buretta graduata **C** contenente una soluzione di acqua e glicerina. L'urina viene portata a temperatura ambiente ponendo **A** nel bagno **R** per qualche minuto, quindi si aggiunge da **B** un volume determinato di reattivo, si agita e si scalda. Si raffredda il tutto nel bagno **R** e quindi, nella buretta graduata preventivamente azzerata, si legge il volume di gas raccolto. Si risale alla concentrazione di urea nel campione attraverso calcolo o per mezzo di una tabella predisposta che dà la quantità di urea in 1000 parti di urina per ogni centimetro cubo di gas misurato.

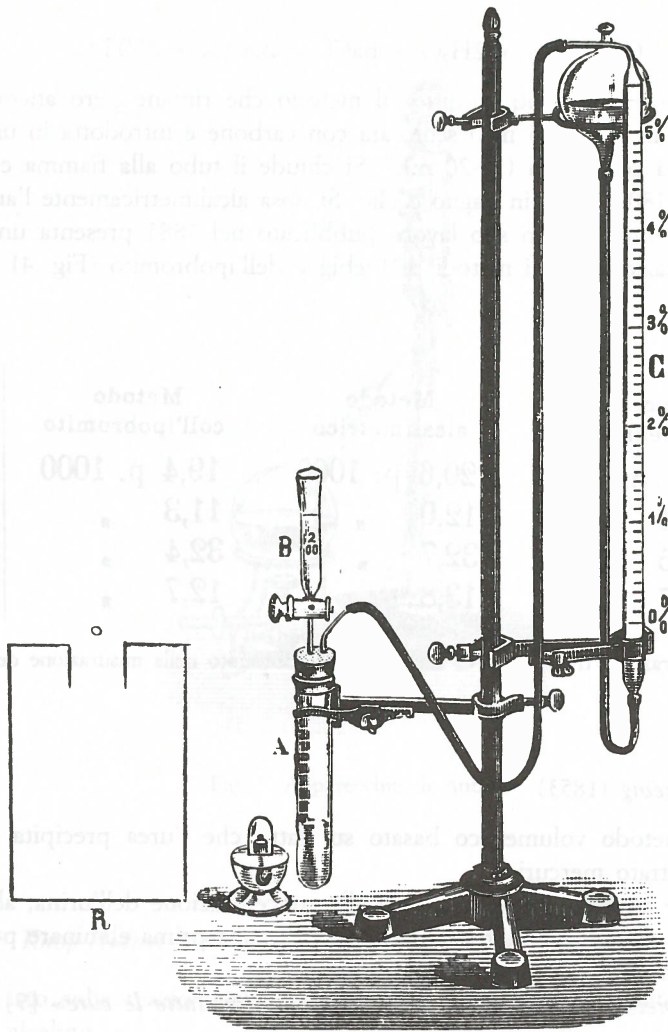


Fig. 3. Apparecchio di Riegler.

Metodo di Bunsen (1850)

Per riscaldamento dell'urea a temperatura elevata si forma carbonato di ammonio che in presenza di cloruro di bario si trasforma in carbonato di bario. Dal peso di quest'ultimo si risale alla quantità di urea nel campione di urina in esame [9].



Nel 1883 Hugouneq modifica il metodo che rimane però ancora indaginoso. L'urina in esame (5 mL) scolorata con carbone è introdotta in un tubo di vetro e diluita con acqua (15-20 mL). Si chiude il tubo alla fiamma e si scalda per un'ora a 180-190 °C in bagno d'olio. Si dosa alcalimetricamente l'ammoniaca prodottasi. L'autore in un suo lavoro pubblicato nel 1883 presenta una interessante comparazione con i metodi di Liebig e dell'ipobromito (Fig. 4) [9].

Processo Liebig	Metodo alcalimetrico	Metodo coll'ipobromito
25 p. 1000	20,6 p. 1000	19,4 p. 1000
16,4 "	12,0 "	11,3 "
34,5 "	32,7 "	32,4 "
16,7 "	13,8 "	12,7 "

Fig. 4. Comparazione tra metodo di Liebig e dell'ipobromito nella misurazione dell'urea [9].

Metodo di Liebig (1853)

È un metodo volumetrico basato sul fatto che l'urea precipita completamente col nitrato mercurico.

Richiede molte correzioni relative alla concentrazione dell'urina, all'acidità e alla presenza di solfati ed altre sostanze che bisogna prima eliminare poiché precipitano anch'esse con il nitrato mercurico.

«È un metodo buono se si mette in pratica con tutte le cure» [9].

Metodo di Folin (1901)

L'urea quando viene riscaldata con cloruro di magnesio e acido cloridrico si decompone sviluppando ammoniaca. In simili condizioni altre sostanze azotate presenti nell'urina (creatinina, acido ippurico) non subiscono decomposizione. L'ammoniaca che si forma viene determinata con il metodo di Kjeldahl.

Assai pratico in questa determinazione è l'apparecchio di Aubin (Fig. 5). La reazione avviene nel pallone grande collegato ad uno speciale distillatore con refrigerante a ricadere. L'ammoniaca distillata si fa condensare in un volume noto di acido solforico N/10 (palloncino) il cui eccesso viene poi titolato con idrato sodico N/10 [7, 10].

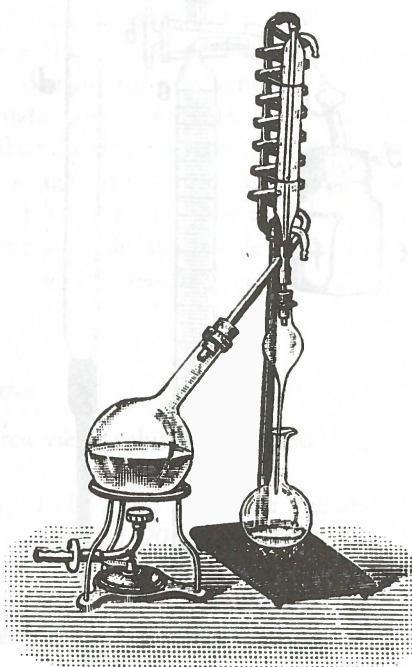


Fig. 5. Apparecchio di Aubin.

Metodo di Knop-Hufner (1877)

È basato sulla reazione che ha luogo fra l'urea e l'ipobromito di sodio in ambiente alcalino:



L'anidride carbonica non si sviluppa, trattenuta dall'eccesso di soda contenuta nel reattivo. Misurando il volume del solo azoto prodotto si risale alla quantità di urea nell'urina in esame.

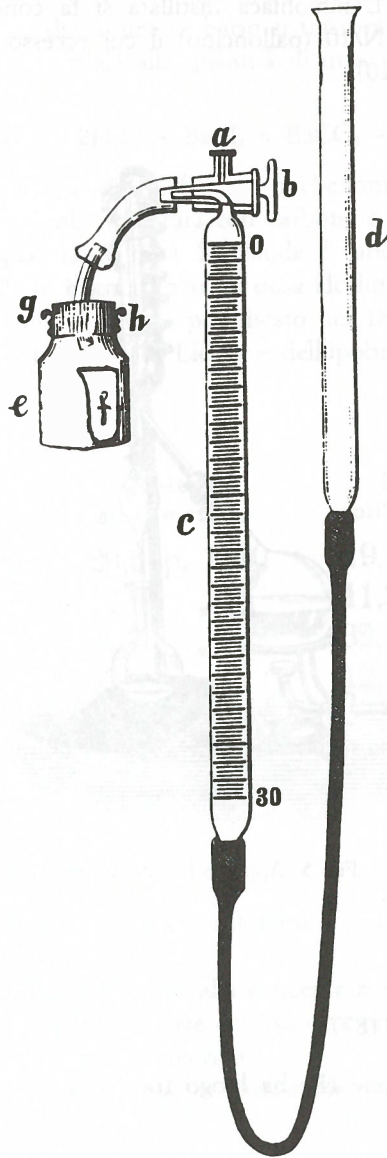


Fig. 6. Ureometro di Lunge.

«Vi sono altre sostanze nell'urina, che possono sviluppare dell'azoto coll'ipobromito sodico, quali la creatina, la creatinina e l'acido urico, ma è lieve l'influenza di queste sostanze; prima, perché sono in piccolissima quantità, poi perché la reazione tra l'ipobromito e l'urea avviene rapidamente mentre coll'ipobromito e le altre sostanze ha luogo lentamente» [9].

La reazione è stata usata in decine di tipi di strumenti, noti con il nome di ureometri, le cui ultime versioni sono state costruite intorno al 1950. Descriveremo l'ureometro di Lunge in uso alla fine del secolo scorso [9]. L'urina viene posta nel contenitore e (Fig. 6) ed il reattivo (ipobromito di sodio) nella provetta f in modo che i due liquidi non vengano a contatto. Il vaso e è collegato ad una buretta graduata contenente mercurio che prima della reazione viene portato al livello 0 alzando o abbassando il contenitore d anch'esso contenete mercurio. Si inclina e si agita il vaso e in modo che il reattivo e l'urina si mescolino. L'azoto prodotto dalla reazione viene raccolto e misurato nella provetta graduata e dal suo volume si risale all'urea del campione in esame.

«Questo metodo è molto comodo e noi crediamo sarebbe utile usarlo anche nelle cliniche» [9].

Metodo del peso specifico

La quantità di urea viene valutata misurando il peso specifico del campione di urina in esame.

«L'esperienza insegna che l'urea contenuta nell'urina ascende con 1014 di peso specifico a circa 1%, con 1014-1020 a circa 1,5%, con 1020-1024 a 2-2,5%, con 1028 a circa 3%» (Sahli, 1894) [11]. L'urina non deve contenere zucchero e albumina.

La densità può essere misurata rapidamente con gli urometri (Fig. 7).

METODI DI DETERMINAZIONE DELL'ALBUMINA NELLE URINE

Metodi qualitativi

Reazione del biureto (1833): all'urina in esame, alcalinizzata con idrossido di potassio, si aggiungono alcune gocce di solfato di rame 10%. In presenza di albumina si ottiene una colorazione rosso violetto.

Reazione di Heller (1852): all'urina si aggiunge acido nitrico lentamente lungo le pareti della provetta. Alla superficie di contatto si forma un intorbidamento anulare bianco.

Reazione di Heynsius (1875): all'urina, acidificata con acido acetico concentrato, viene aggiunta una soluzione di cloruro di sodio e riscaldata fino all'ebollizione. In presenza anche di piccolissime quantità di albumina si osserva un precipitato fioccoso.

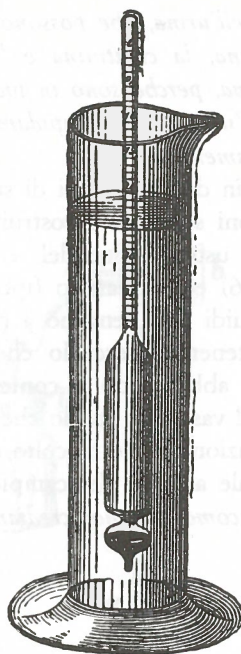


Fig. 7. Urometro.

Urinary test papers (Oliver 1883, Geissler, 1883): il kit è costituito da due tipi di carte da filtro: un tipo impregnato di una soluzione di acido citrico, l'altro di ioduro di mercurio e potassio. Le cartine vengono essiccate e conservate in apposite scatole (dry chemistry). Al momento dell'esame si immergono nell'urina le due cartine, in presenza di albumina si osserva un intorbidamento [12, 13]. Altre cartine, proposte successivamente, erano imbevute di acido citrico e ferrocianuro di potassio.

Metodi quantitativi

I metodi gravimetrici, lunghi ed indaginosi, vengono sostituiti nella seconda metà dell'Ottocento dai più comodi metodi volumetrici che richiedono semplicissime apparecchiature: gli albuminometri.

Il primo di questi albuminometri viene ideato da Georg Hubert Esbach (1843-1890) nel 1874 e modificato dallo stesso autore nel 1882. Negli anni successivi vengono costruiti altri albuminometri simili nella forma e che necessitano dello stesso reattivo studiato da Esbach (albuminometri di Aufrecht, Tsuchiya, Weiss ...) rimasti in uso nei laboratori e negli ambulatori del medico pratico fino alla metà del Novecento.

Descriviamo qui un albuminometro di Esbach al quale è aggiunta anche una seconda scala di misura per la determinazione dei cloruri (albumino-clorurimetro di Agasse-Lafont e Douris) [14]. È una particolare provetta sulla quale sono incise due scale, una per la misura dell'albumina (destra), l'altra per la determinazione dei cloruri (sinistra) (Fig. 8).

Determinazione dell'albumina: Introdurre l'urina da esaminare fino al segno **U** (scala di destra) e il reattivo di Esbach (acido picrico g. 1, acido citrico g. 2, acqua distillata q.b. a 100 mL) fino ad **R**. Mescolare più volte capovolgendo il tubo e quindi lasciarlo a riposo in posizione verticale per 24 ore. L'altezza del precipitato che si forma, letto nella scala inferiore, dà la quantità di albumina per litro di urina.

Determinazione dei cloruri: Versare l'urina in esame fino alla linea contrassegnata con **U** (scala di sinistra) e quindi il reattivo al bicromato (bicromato di potassio g. 2, acido acetico g. 3, acetato di sodio g. 10, acqua distillata q.b. a 1000 mL) fino al segno **R** (scala di sinistra). Mescolare capovolgendo il tubo ed aggiungere a poco a poco una soluzione di nitrato di argento (3%). Si produce un intorbidamento rosso che scompare mescolando; si interrompe l'aggiunta quando il colore è divenuto persistente. Il livello del liquido, rilevato dalla scala graduata, dà direttamente la quantità di cloruri per litro di urina analizzata.

METODI DI DOSAGGIO DELLA CREATININA

Nel 1886 Max Jaffe (1841-1911) osserva che la creatinina reagisce con acido picrico in ambiente alcalino formando un composto di colore giallo arancio. «*La reazione è positiva anche per un contenuto di creatinina al cinquemillesimo (1:5000). La colorazione aumenta dopo alcuni minuti e rimane invariata per molte ore*» [11]. Questa reazione, utilizzata per la ricerca qualitativa della creatinina, viene ripresa nel 1904 da Otto Folin che ne fa un ottimo metodo colorimetrico quantitativo ancora oggi utilizzato. I metodi quantitativi in uso fino a quel momento sono poco affidabili, inaccurati, indaginosi e richiedono molto tempo ed una notevole quantità di urina. Folin utilizza solo 10 mL di urina, 15 mL di acido picrico (12 g/L), 5 ml di NaOH (10%) che mescola in un cilindro graduato e lascia a riposo per 5-6 minuti prima di effettuare la misura colorimetrica. Le sole sostanze che possono interferire sono l'etere acetacetico, l'acetone e l'acido solfidrico, raramente presenti nell'urina e comunque facilmente rimovibili con pochi minuti di riscaldamento con HCl. Un'altra importante osservazione emersa dagli studi di Folin è l'eguaglianza del colore sviluppato dalla reazione con soluzioni di bicromato di potassio in adatta concentrazione, soluzioni che potranno essere utilizzate come confronto [15]. Per le sue ricerche analitiche Folin utilizza il diffusissimo comparatore ottico realizzato da Jules Duboscq (1817-1886) nel 1854. Con questo

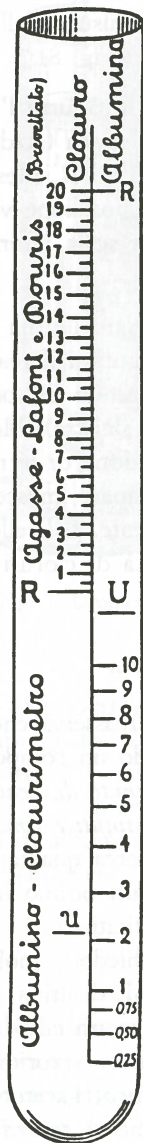


Fig. 8. Albumino-clorurimetro di Agasse-Lafont e Douris.

metodo rapido e ragionevolmente accurato Folin introduce l'uso del colorimetro nella routine del laboratorio di chimica clinica.

Con il diffondersi di questo tipo di strumentazione vengono ripresi e utilizzati i molti comparatori ottici costruiti nella seconda metà dell'Ottocento.

Interessanti, anche perché ideati da ricercatori italiani, sono i colorimetri di Arturo Bruttini [16] e di Giannetti [17]. Entrambi sono del tipo a «bilanciamento» basati cioè sulla comparazione del colore di una soluzione incognita con quello di una soluzione a titolo noto; lo spessore attraverso cui si guarda una soluzione rimane costante mentre lo spessore dell'altra può essere variato fino a raggiungere una eguale intensità di colore.

Nel colorimetro di Bruttini (Fig. 9) eguali quantità della soluzione a titolo noto e di quella incognita sono introdotte in due cilindri graduati di vetro

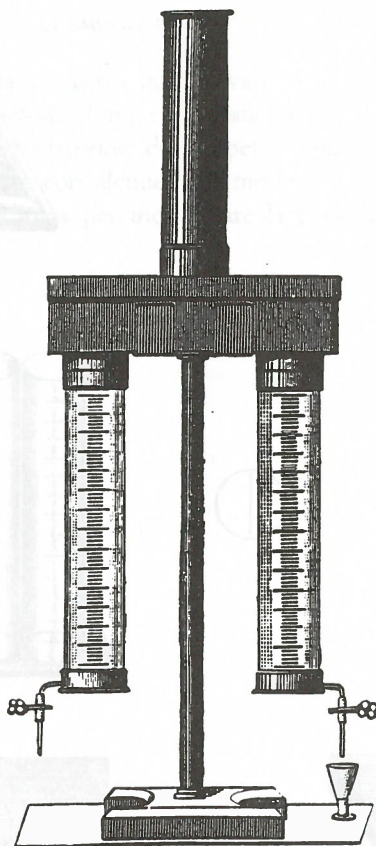


Fig. 9. Colorimetro di Bruttini.

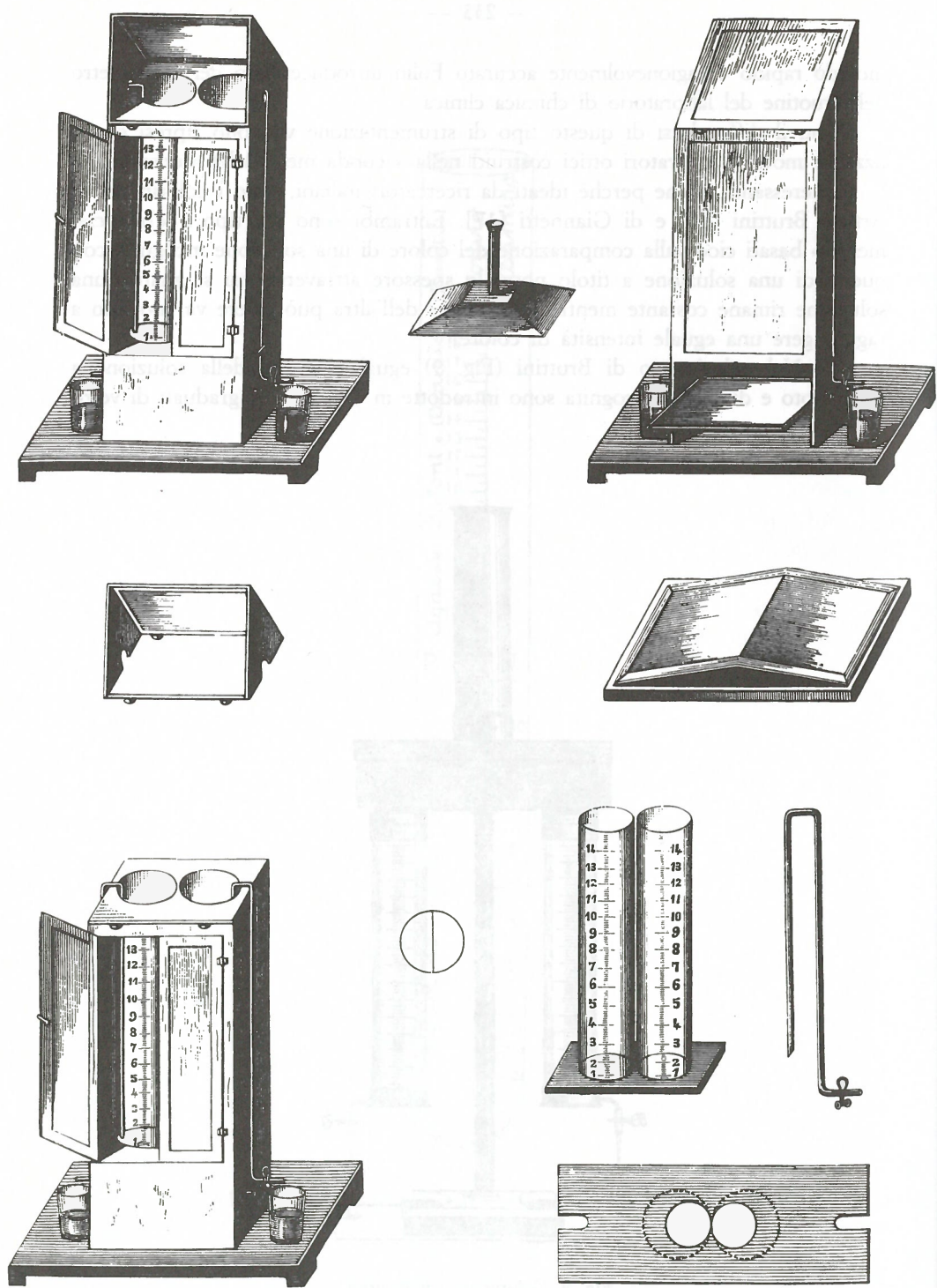


Fig. 10. Colorimetro di Giannetti.

di uguale diametro di base e recanti sul fondo un rubinetto. I due cilindri possono essere osservati contemporaneamente lungo i loro assi per mezzo di prismi posti all'interno della scatola metallica cui sono appesi. Se la soluzione incognita è di colore più intenso di quella di riferimento se ne farà uscire una quantità tale da osservare attraverso l'oculare la stessa intensità di colore. Dall'altezza dei liquidi incognito e di riferimento rilevate nei due cilindri graduati, si risale alla concentrazione della soluzione in esame.

Nel colorimetro di Giannetti l'altezza delle soluzioni viene regolata con dei sifoni ed il colore delle soluzioni nei cilindri è osservato su uno specchio inclinato posto alla loro sommità, oppure, più accuratamente, tramite un cannocchiale applicato alla sommità anteriore dello strumento che permette di osservare meglio le immagini sullo specchio. L'apparecchio in tutte le sue parti è rappresentato in figura 10.

METODI PER LA RICERCA DELL'EMOGLOBINA

Per quanto riguarda la ricerca qualitativa dell'emoglobina nelle urine esistono nell'Ottocento alcuni metodi chimici qualitativi basati su reazioni colorimetriche. Dopo il 1860 con la costruzione dello spettroscopio da parte di Kirchhoff e Bunsen questo strumento, con alcune lievi modifiche, viene largamente usato nel laboratorio di chimica clinica per individuare la presenza di emoglobina.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BUTTNER J., *From chemistry of life to chemistry of disease: the rise of Clinical Biochemistry*, «Clin Biochem.», 13: 232-5, 1980.
- [2] BUTTNER J., *The origin of clinical laboratories*, «Eur. J. Clin. Chem. Clin. Biochem.», 30: 585-593, 1992.
- [3] PREMUDA L., *Introduzione storica*. In: Burlina A, ed., *Trattato Italiano di Medicina di Laboratorio*, Padova, Piccin, 1992.
- [4] SCHENA F.P., *Domenico Cotugno and his interest in proteinuria*, «Am J. Nephrol.», 14: 325-9, 1994.
- [5] CAMERON J.S., *John Bostock MD FRS (1773-1846): physician and chemist in the shadow of a genius*, «Am J. Nephrol.», 14: 365-70, 1994.
- [6] CHAUCHI E., *Fisiologia e Patologia dell'urina*, Milano, Wassermann, 1933.
- [7] ALESSANDRI P.E., *Urologia chimica e microscopica*, Milano, Hoepli, 1917.
- [8] FERANNINI L., *Semejologia*, Terza ed., 1913.
- [9] GUARESCHI I., *Commentario della Farmacopea Italiana e dei medicamenti in generale*, Torino, Unione Tipografico-Editrice, vol. III(II).
- [10] SERONO C., *Manuale di analisi chimica. Clinica, fisio-patologica ed igienica*, Torino, Unione Tipografico-Editrice Torinese, 1932.
- [11] SAHLI H., *Manuale dei metodi clinici d'esame*, Milano, Francesco Vallardi, 1913.
- [12] GEISSLER E., MOELLER G., *Enciclopedia generale di Farmacia*, Milano, Francesco Vallardi, sd.
- [13] VOSWINCKEL P., *A marvel of colors and ingredients. The story of urine test strips*, «Kidney International», 46: S3-7, 1994.
- [14] AGASSE-LAFONT E., *Il laboratorio moderno del medico pratico*, Parigi, «Monde Médical», 1933.
- [15] MEITES S., *Otto Folin. America's first clinical biochemist*, Washington, American Association for Clinical Chemistry, 1989.
- [16] *Supplemento annuale alla Enciclopedia di Chimica*. Diretto da Guareschi I., Torino, Unione Tipografico-editrice, 1891.
- [17] *Supplemento annuale alla Enciclopedia di Chimica*, Diretto da Guareschi I., Torino, Unione Tipografico-editrice, 1886.

ANTONIO DI MEO (*)

Filosofia chimica o filosofia della chimica?

Un approccio di tipo storico (**)

Summary - The term «chemical philosophy» was first adopted by A.F. Fourcroy. In the beginning, it substituted for the previous term «philosophical chemistry», and it was — in time — quite successful, though with relevant shift in meaning, towards what coned better be named «philosophy of chemistry». On both grounds a major rôle is played by *analogy*, which is considered as one of the main process of discovery.

1. Nel 1792 fu pubblicata a Parigi la prima edizione di un trattato di chimica che già nel titolo rivelava un notevole grado di originalità. Si tratta della *Philosophie chimique ou vérités fondamentales de la Chimie moderne disposées dans un nouvel ordre* di Antoine-François Fourcroy.¹ Allievo di Jean-Baptiste-Michel Bucquet e di Pierre-Joseph Macquer, a partire dal 1786 Fourcroy divenne aperto sostenitore della nuova chimica di Antoine-Laurent Lavoisier, del quale divenne collaboratore. Egli, inoltre, fu uno dei maggiori riformatori del sistema dell'educazione e della ricerca scientifica nella Francia rivoluzionaria e post-rivoluzionaria.² La «chimie moderne» di cui si parla nel titolo del trattato è appunto quella antiflogistica che, qualche anno prima, nel 1789, era stata esposta in maniera sistematica dal suo principale (e per molti anni unico) protagonista nel celebre *Traité élémentaire de chimie*. Il trattato di Fourcroy ebbe una immediata e notevole fortuna editoriale: ebbe altre tre edizioni in lingua francese di cui una a Bruxelles (1795, 1795; 1806); tre in inglese (*The philosophy of*

(*) Università di Macerata.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

¹ A.-F. FOURCROY, *Philosophie chimique ou vérités fondamentales de la chimie moderne. Disposées dans un nouvel ordre*, Paris, 1792.

² Cfr. W.A. SMEATON, *Fourcroy: Chemist and Revolutionary*, Cambridge, 1962; J.R. PAR-
TINGTON, *Fourcroy*, in *A History of Chemistry*, London, MacMillan, 1962, pp. 535 sgg.

chemistry, 1795, 1795; *Chemical philosophy*, 1807); un'edizione rispettivamente in lingua italiana (1794), svedese (1795), tedesca (1796), danese (1797), russa (1799), spagnola (1801?), greca (Vienna, 1802), polacca (1808). Una diffusione pari al *Traité* lavoisieriano e dalla quale non si può prescindere nelle ricostruzioni della iniziale diffusione e recezione della nuova chimica «francese» nelle varie comunità scientifiche nazionali.³ Il motivo principale del successo del trattato risiede senza dubbio nel suo contenuto. Tuttavia vi sono sufficienti indizi che consentono di affermare che non solo di questo si tratta. Ancora una volta è lo stesso titolo a metterci sulla via di scoprire alcuni aspetti di quel successo che non riguardano direttamente, in maniera immediata, la teoria chimica lì esposta, quanto la *forma* di tale esposizione. E precisamente l'espressione «nouvel ordre». «Nouvel» rispetto a quale ordine precedente? Innanzitutto a quello di alcune opere dello stesso Fourcroy: le *Leçons élémentaires d'histoire naturelle et de chimie* del 1782 e gli *Éléments d'histoire naturelle et de chimie* del 1786, dove l'impianto di tipo «naturalistico» è molto presente e determinante (Bucquet, il suo maestro, era soprattutto un naturalista). Ma (forse) l'ordine di cui si tratta, Fourcroy lo considerava nuovo anche rispetto allo 'strano' modello espositivo adottato da Lavoisier nel suo *Traité*. Ma una delle cose straordinarie dell'opera in questione è in realtà la prima parte del titolo, quella espressione «philosophie chimique», così aggressiva ed efficace dal punto di vista comunicativo e assolutamente inedita per la chimica e per le altre discipline scientifiche (salvo una importante eccezione di cui si dirà). Da secoli, nella chimica, era invalso l'uso dell'espressione «chimica filosofica» per indicare prima una filosofia generale della natura a fondamento chimico; poi una chimica razionale e sistematica, nel senso di relazionale alla maniera di E.B. de Condillac (*Traité des systèmes*, 1749). Il rovesciamento soggetto/predicato che si realizza nel titolo di Fourcroy fra i termini «chimica» e «filosofia», come vedremo, non può considerarsi neutro dal punto di vista teorico.

In primo luogo, come risulta immediatamente ovvio, «philosophie chimique» e «nouvel ordre» rinviano a problematiche fortemente e intimamente collegate tra loro. In secondo luogo, l'espressione «filosofia chimica» è indice di una ulteriore specializzazione dei saperi scientifici, di un loro processo di autonomizzazione e distinzione, che passavano tramite l'assunzione di propri e specifici principi, teorie, apparati strumentali, metodologie di ricerca. Quindi non è casuale che l'espressione ebbe successo in altri campi disciplinari distinti dalla chimica: nel 1809 Jean-Baptiste Lamarck diede alle stampe una *Philosophie zoo-*

³ Cfr. A. DONOVAN (ed.), *The Chemical Revolution. Essays in Reinterpretation*, numero speciale di *Osiris*, vol. 4, 1988 (in particolare R. SIEGFRIED, «The Chemical Revolution in the History of Chemistry»). M. BERETTA, *The enlightenment of matter*, SHP, USA, 1993; B. BENSUADE-VINCENT, F. ABBRI (eds.), *Lavoisier in European Context. Negotiating a New Language for Chemistry*, SPH, USA, 1995.

logique e, successivamente, Etienne Geoffroy Saint-Hilaire pubblicò negli anni 1818-1822 una ponderosa *Philosophie anatomique*. Ma il successo più clamoroso nell'adozione di quella espressione originaria si ebbe, negli anni, nella chimica. Citiamo alcuni titoli di opere e trattati di questa scienza, anche se «filosofia chimica» fu adoperata moltissimo anche all'interno dei testi della letteratura corrente: *A new system of chemical philosophy* (John Dalton, 1808); *Elements of chemical philosophy* (Humphry Davy, 1812); *Leçons sur la philosophie chimique* (Jean-Baptiste Dumas, 1836); *Compendio di filosofia chimica* (in Sebastiano Purgotti, *Trattato elementare di chimica*, t. III, 1857); *Sunto di un corso di filosofia chimica* (Stanislao Cannizzaro, 1858); *Introduction to the study of chemical philosophy* (William August Tilden, 1895⁸). Il successo nell'adozione dell'espressione, però, condusse anche a successivi slittamenti di significato; cioè, ogni autore, come vedremo, la interpretò in maniera più o meno differenziata rispetto alle intenzioni originarie del suo ideatore.

2. Fourcroy era uno scrittore assai prolifico e un divulgatore di primordine. Oltre ai due trattati già citati e ad altri due (*Système des connoissances chimiques*, 1801; *Tableau synoptique de chimie*, 1800), ancora allo spirare del XVIII secolo pubblicava numerosi articoli di chimica per l'*Encyclopédie méthodique*. Fra questi, nel 1796, un articolo *Chimie*, — la più ampia storia settecentesca della chimica, dalle presunte origini antichissime di questa scienza fino alla rivoluzione lavoisieriana,⁴ — e, quattro anni prima, nel 1792, cioè nella stessa data della *Philosophie chimique*, un'altro che portava un titolo fino ad allora inedito nella letteratura chimica, anche sottoforma di voce di dizionario: *Axiomes chimiques*.

L'articolo *Chimie* non era solo di tipo storico, ma conteneva anche notevoli riflessioni introduttive sullo statuto teorico della chimica, sulle sue interne suddivisioni, sui suoi metodi e procedure, sui suoi rapporti con le altre scienze della natura. All'interno di queste considerazioni di tipo generale troviamo la seguente affermazione, dove è presente l'espressione fino ad allora consueta di «chimica filosofica», malgrado che questa voce fosse stata pubblicata quattro anni dopo l'introduzione dell'espressione «filosofia chimica»:

«La *chimie* générale ou philosophique, sans s'appliquer à aucune branche particulier, les précède & les domine en quelque sorte toutes. C'est elle qui, à l'aide des expériences capitales, établit les principes généraux, & fonde toute la théorie de la science ... Elle sert d'introduction à toutes les autres branches ou espèces de la *chimie*; elle les éclaire toutes & les domine en quelque sorte; elle rassemble de tous leurs travaux particuliers des résultats qui servent à son perfectionnement. Il faut l'apprendre avec soin avant de se livrer à quelque branche que ce soit, elle est en un mot aux différentes espè-

⁴ Cfr. A. DI MEO, «Continuità, discontinuità e rivoluzioni nella storiografia settecentesca. Il caso della chimica», in A. DI MEO, A. POSTIGLIOLA, G.E. VIOLA (a cura di), *Il concetto di rivoluzione. Scienza, storia, epistemologia*, IIEI, Roma, 1991, pp. 95 sgg.

ces de *chimie* ce que sont les mathématiques, pures ou simples, aux diverses sciences designés par l'épithète de mathématiques appliquées». ⁵

La chimica filosofica, dunque, come affermò anche Fourcroy, era quella che ancora oggi si chiama «chimica generale», cioè l'insieme dei principi, delle teorie e dei metodi che servono allo studio di tutti i fenomeni di pertinenza di questa scienza, dove col termine «scienza» doveva intendersi, secondo lo spirito sistematico dell'epoca, un «enchaînement des vérités». ⁶ La chimica filosofica era appunto la parte più astratta, teorica, del vasto dominio degli oggetti chimici più particolari. Essa, come si sostiene nella citazione appena riportata, stava ai vari tipi particolari di chimica come la matematica pura sta a quella applicata: era dunque paragonabile a una raccolta ragionata di *assiomi generali* che consentivano di considerare in maniera gerarchica (secondo gradi maggiori o minori di universalità) l'insieme delle conoscenze chimiche e una classificazione dei diversi tipi particolari di chimica. Per Fourcroy, seguendo la classificazione del chimico svedese Torbern Olof Bergmann, questi ultimi erano sette, oltre la chimica filosofica, infatti, egli prendeva in considerazione una chimica meteorica, una chimica metallica, una chimica vegetale, una chimica animale, una chimica economica, infine una chimica farmaceutica.

A questo punto, quindi, risulta ancora più chiaro il perché del titolo dell'articolo precedente, *Axiomes chimique*. Ci troviamo di fronte a un tentativo di assiomatizzazione della chimica altrettanto radicale di quello di Lavoisier, che ne aveva sempre sostenuto la necessità e ne aveva realizzato il primo importante modello. In questo articolo, infatti, si sostiene che

«À mesure qu'une science fait des progrès, à mesure qu'elle acquiert des méthodes pour perfectionner sa marche, les vérités générales se multiplient, & elle possède des *axiomes* ... Mais pour réunir ici ces vérités capitales sous la denomination d'*axiomes*, il est évident qu'il faut choisir avec un grand discernement celles qui sont les plus générales, qui embrassent tous les faits de la science, qui les renferment, & d'où ils puissent être tirés comme des corollaires, comme des conséquences immédiates. Il faut aussi qu'elles soient clairement énoncées; sans aucune ambiguïté, sans aucune équivoque; il faut encore qu'en multiplie pas trop le nombre, quoiqu'il soit nécessaire de les multiplier assez pour ne rien oublier d'essentiel; il faut enfin les disposer entr'elles dans un tel ordre & dans une série tellement naturelle [sic], qu'elles présentent les éléments de la science, & qu'elles en fassent concevoir le rapport [sic] & la liaison». ⁷

Ma con la sola elencazione di una serie slegata di assiomi non si arrivava ancora a elaborare quella che Fourcroy definiva una «doctrine complete de

⁵ A.-F. FOURCROY, *Chimie* (1796), in *Encyclopédie méthodique. Chimie*, tome III, Padoue, 1798, p. 285.

⁶ *Ivi*, p. 290.

⁷ A.-F. FOURCROY, *Axiomes chimiques* (1792), in *Encyclopédie méthodique. Chimie, Pharmacie et Metallurgie*, tome II, Padoue, 1797, p. 451.

chimie»: ⁸ per questo era necessario l'«incatenamento» di questi stessi assiomi e la loro disposizione in maniera sistematica, come egli sosterrà più avanti:

«Pour remplir convenablement cet objet, il m'a paru que je ne devois pas présenter une suite de propositions non interrompues, sans liason & sans adhérence entr'elles, comme il eut été possible de le faire, dans l'idée de donner des *axiomes* & seulement des *axiomes*. J'ai mieux aimé les lier par des rapports [sic] généraux, leur donner un arrangement [sic] qui en fit connoître & apprécier la connexion, &, si je peut le dire, la réaction réciproque».⁹

Il sistema proposto da Fourcroy era assai vasto e per niente semplice. Esso si componeva di un assioma generalissimo che affermava, in sostanza, che la chimica era assiomatizzabile. Ovvero che era possibile raggruppare tutti i fenomeni chimici all'interno di un numero limitato di rubriche o titoli di argomenti caratterizzati dall'essere fatti di più ampia generalità. Nel nostro caso essi erano dodici: 1) l'azione della luce; 2) l'azione del calorico; 3) l'azione dell'aria; 4) la natura e l'azione dell'acqua; 5) la natura e l'azione delle terre, la formazione degli alcali e il loro ruolo nelle combinazioni; 6) la natura e le proprietà dei corpi combustibili; 7) la formazione e la decomposizione degli acidi; 8) l'unione degli acidi con le terre e gli alcali; 9) l'ossidazione e la dissoluzione dei metalli; 10) la formazione e la natura delle materie vegetali; 11) il passaggio dei vegetali allo stato di materie animali e la natura di queste; 12) la decomposizione spontanea delle sostanze vegetali e animali. All'interno di ognuna di questi titoli venivano poi enunciati gli *assiomi* più particolari l'insieme dei quali dava luogo alla vera e propria dottrina chimica completa, che complessivamente ne comprendeva ben 222! Alcune rubriche (come quella dei metalli, dei sali, degli acidi) erano poi suddivise in proposizioni ancora meno generali, aumentando in questo modo in maniera rilevante il numero dei principi necessari per le spiegazioni del numero veramente notevole dei fenomeni chimici.

Proprio le rubriche più «piene» e numerose, — quelle dei metalli, dei sali, degli acidi, — rivelano un aspetto decisivo per la nostra indagine: cioè che la sterminata varietà degli oggetti, dei fenomeni, dei principi generali e particolari di pertinenza della chimica, anche a questo livello richiedevano un sistema razionale di organizzazione interna e, di conseguenza, un sistema di classificazione e di nomenclatura adeguati a questa organizzazione. Come già nel 1787 e nel 1789 anche *dopo Lavoisier* la elaborazione di una struttura sistematica e razionale di suddivisione degli oggetti chimici era una necessità fortemente sentita (lo sarà in maniera drammatica per la chimica organica). Ancora una volta si farà ricorso al metodo di Carl von Linné (Linneo). Come è stato più volte sottolineato, il sistema binario linneo ha avuto un ruolo decisivo nel processo di sistematiz-

⁸ *Ibidem.*

⁹ *Ibidem.*

zazione linguistica e di comunicazione della nuova chimica. Fourcroy sembra andare ancora più in là. Egli, infatti, tenta di organizzare l'intero corpus dottrinario della chimica secondo tale sistema. L'assiomatica chimica che Fourcroy propone, al di là della debole analogia con la matematica (peraltro già presente nel *Discours préliminaire* del *Traité* lavoisieriano) in realtà è strutturalmente fondata sul metodo linneano per la classificazione delle piante. Nel nostro caso, secondo classi (o generi), specie e individui. A proposito della classificazione generale degli acidi Fourcroy afferma esplicitamente che «à ces caractères classiques il faut ajouter les caractères spécifiques, en essayant un langage analogue à celui des botanistes & des zoologistes». ¹⁰ E a proposito dei sali composti ribadisce che «pour commencer avec méthode l'histoire des sels composés, il faut les diviser en genres & en sortes, & établir leurs caractères génériques & spécifiques; on ne peut offrir qu'une légère ébauche de ce travail qui n'a point encore occupé les chimistes, quoiqu'il soit essentiel d'appliquer aujourd'hui la méthode des botanistes à l'énoncé des propriétés chimiques». ¹¹

L'articolo *Axiomes chimiques* sarà lo schema di partenza per la scrittura del trattato di chimica dal quale abbiamo preso le mosse: ora però si comprende meglio il perché di quel titolo che ebbe un così clamoroso successo: la *Philosophie chimique* era la discendente metodologica di un importante trattato di botanica scritto in latino nel 1751 da Linneo e pubblicato col titolo altrettanto intrigante di *Philosophia botanica*. A questa «linneizzazione a oltranza» della chimica si deve il rovesciamento del tradizionale rapporto fra soggetto e predicato fra i termini «chimica» e «filosofia», cioè il passaggio dalla «chimica filosofica» alla «filosofia chimica», rimanendo completamente invariato — anche per quest'ultima — il significato che alla prima espressione veniva attribuito da Fourcroy. Riprendendo alla lettera le considerazioni teoriche dell'articolo sugli assiomi chimici, egli, nel trattato del 1792, aggiungeva un particolare significativo:

«Il faut enfin les [le conoscenze chimiche] disposer entr'elles dans un tel ordre et dans une serie tellement naturelle, qu'elles présentent les éléments de la science, et qu'elle en fassent concevoir le rapport et la liaison ... Pour rémplir convenablement cet objet il m'a paru que je ne devois pas presenter une suite de propositions non [sic] interrompues, sans liaisons et sans cohérence entr'elles; je les ai liées par des rapports généraux, en leur donnant un arrangement qui put en faire connoître et apprécier la connexion et, si je puis le dire, la réaction réciproque. C'est-là ce que j'appelle PHILOSOPHIE CHIMIQUE». ¹²

3. La filosofia chimica, quindi, secondo Fourcroy, non era solo una chimica teorica o generale, ma questa stessa organizzata in un particolare modo, secondo

¹⁰ *Ivi*, p. 464.

¹¹ *Ivi*, p. 469.

¹² A.-F. FOURCROY, *Philosophie chimique*, cit., ed. 1795, pp. 4-6.

una determinata struttura assiomatica e facente uso di un determinato apparato linguistico. Anzi si potrebbe dire che, *nella realtà, non si dava scienza in senso più proprio se non attraverso una stretta interrelazione sistematica fra le parti di una determinata disciplina*. Di fatto la scienza e i modi della sua strutturazione in qualche modo sono inseparabili (anche se distinguibili), similmente a ciò che avviene in linguistica fra suono, espressione e significato.

I significati racchiusi nell'espressione «filosofia chimica», però, come abbiamo parzialmente anticipato, non saranno univoci per tutti gli autori citati che l'avevano adottata. Per Dumas, per esempio, essa avrà dei contenuti più ampi di quelli appena esaminati, poiché includeva, tra l'altro, anche la storia (come sarà anche in Cannizzaro) cosa che era ben lontano dal pensiero di Fourcroy, che col suo tentativo tenderà — sulle orme di Lavoisier — a distinguere nettamente la ricostruzione storica della disciplina dalla sua esposizione in forma assiomatica, benché, come già si è detto, egli fosse un grande storico della chimica, forse il suo primo grande storico. Secondo Dumas, infatti,

«La philosophie chimique ... a pour objet de remonter aux principes généraux de la science, de montrer non seulement en quoi ils consistent aujourd'hui, mais encore quelles sont les diverses phases par lesquelles ils ont passé, de donner l'explication la plus générale des phénomènes chimiques, d'établir la liaison qui existe entre les faits observés et la cause même de ces faits. La philosophie fait abstraction des propriétés spéciales des corps; elle met de côté les particularités qu'ils peuvent présenter, et n'examine que l'essence des diverses réactions. Prise au point de vue de la chimie actuelle, elle se compose de l'étude générale des particules matérielles que les chimistes appellent atomes, et de celle des forces auxquelles sont soumises ces particules. Ainsi, elle comprend la recherche de toutes les propriétés des atomes, l'examen de l'action chimique, de ses effets, de sa cause, et de ses diverses modifications; elle cherche à démêler les rapports de ressemblance et de dissemblance que présentent les corps de la nature, et elle essaie d'en découvrir les causes secrètes».¹³

Come si vede le finalità della filosofia chimica si dilatano alquanto, fino a comprendere — oltre alla storia — aspetti tipicamente epistemologici e metodologici. In questo caso quindi, siamo già slittati insensibilmente dalla «filosofia chimica» nel senso stretto, originario, alla «filosofia della chimica», cioè l'insieme di quegli stessi aspetti ora citati. In particolare è assai significativa l'ultima parte del brano appena citato, quando si tratta dello studio dei «rapporti di somiglianza e dissimiglianza» di cui la filosofia chimica cercherebbe di scoprire le cause segrete. Qui, in effetti, ci troviamo di fronte ad uno dei luoghi teorici più importanti della metodologia di ricerca della chimica, al nucleo più profondo della filosofia della chimica: la problematica dell'*analogia*.

A ben vedere, infatti, la complessa strutturazione 'botanica' delle sostanze chimiche descritta da Fourcroy era fondata appunto sulla «somiglianza e dissi-

¹³ J.-B. DUMAS, *Leçons sur la philosophie chimique*, Paris, Bechet jeune, 1837, p. 2.

miglianza» fra le sostanze e sui loro rapporti di combinazione. Che il metodo analogico fosse un caposaldo della ricerca chimica sin dalle sue origini è cosa evidente ed esplicita: Macquer, per esempio, nel suo *Dictionnaire de chymie* del 1766 scrive che

«comme la Chymie est une science fondée entièrement sur l'expérience, on ne peut espérer de la bien entendre, & de la posséder jusqu'à un certain point, à moins qu'on ne travaille soi-même à vérifier la plupart des opérations fondamentales déjà connues, & à en faire des nouvelles, que le raisonnement, l'analogie, l'esprit de recherche ne manquent jamais de suggérer».¹⁴

Il metodo analogico, nel senso del passaggio dal «noto» all'«ignoto», era considerato da Lavoisier il metodo principale per l'acquisizione e lo sviluppo della conoscenza scientifica. L'«acido muriatico», per esempio, non era stato ancora decomposto nei suoi presunti componenti fra cui l'ossigeno (secondo la teoria lavosieriana degli acidi). Ma che dovesse contenere ossigeno per Lavoisier non vi era dubbio, dato che possedeva proprietà analoghe a tutti gli altri acidi: «Cet acide ne paraît pas avoir été décomposé jusqu'à ce jour dans aucune expérience chimique, en sorte que nous n'avons nulle idée de la nature de son radical: ce n'est même que par analogie que nous concluons qu'il contient le principe acidifiant ou oxigène».¹⁵ In questo caso l'analogia aveva condotto a conclusioni errate, poiché quell'acido (poi detto acido cloridrico) non conteneva ossigeno, in quanto faceva parte di una nuova classe di acidi — gli idracidi — composti da alogeni e idrogeno, scoperta successivamente. Fu Humphry Davy con la sua elettrolisi dell'acido cloridrico a mettere in crisi la teoria lavosieriana degli acidi, ma non mise in discussione la convinzione che l'analogia fosse il metodo principale dell'indagine chimica della natura. Anzi per Davy l'analogia era uno dei *fondamenti* della «filosofia chimica», forse il principale:

«I fondamenti della filosofia chimica sono l'osservazione, l'esperienza e l'analogia. Mediante l'osservazione, i fatti sono distintamente e minuziosamente impressi nella mente. Mediante l'analogia, i fatti simili vengono connessi. Mediante l'esperienza, nuovi fatti sono scoperti; e, col progredire della conoscenza, l'osservazione, guidata dall'analogia, conduce verso l'esperienza, e l'analogia confermata dall'esperienza diviene la verità scientifica».¹⁶

Questa citazione è tratta dagli *Elements of chemical philosophy* del 1812. L'opera maggiore del chimico inglese nella quale l'analogia costituisce il filo conduttore della strutturazione delle conoscenze chimiche presenti nel trattato. Si parlerà addirittura di «catena di analogie» a proposito di alcuni sali, acidi e così

¹⁴ P.-J. MACQUER, *Dictionnaire de chymie*, Paris, Cuchet, 1766, t. II, p. 3.

¹⁵ A.-L. LAVOISIER, *Traité élémentaire de chimie*, Paris, Cuchet, 1789, t. I, p. 255.

¹⁶ H. DAVY, *Elements of chemical philosophy* (1812), trad. it. *Elementi di filosofia chimica*, Napoli, Nobile, 1816, t. I, p. 2.

via, con la convinzione che l'analogia nelle proprietà chimiche delle sostanze era sintomo di una analogia nella composizione.

Nella precedente *Introductory lecture to the chemistry of nature* del 1807 Davy sosteneva che

«the *body* of natural science, then, consist of *facts*; its governing spirit is *analogy* — relation or resemblance of facts by which its different parts are connected, arranged and employed, either for popular use, or for new speculative improvement».¹⁷

Inoltre nel diario filosofico del 1830, *Consolations in travel*, Davy, a conclusione della sua vita, aggiungeva che

«with respect to the higher qualities of intellect necessary for understanding and developing the general laws of the science, the same talents I believe are required as for making advancement in every other department of human knowledge; I need not be very minute. The imagination must be active and brilliant in seeking analogies».¹⁸

La «filosofia chimica», quindi, mediante uno dei suoi fondamenti, — l'analogia — entra direttamente, in maniera prepotente e pervasiva, nel campo della filosofia della chimica. Ma in un modo tutto speciale. L'analogia di cui si tratta, infatti, non è solo un utile mezzo di classificazione o di strutturazione in famiglie, ordini, generi, specie, ma uno dei mezzi attraverso il quale si fa ricerca. Essa interviene nel contesto stesso della scoperta. L'analogia, cioè, è un *metodo creativo, inventivo*. Grazie ad essa, in effetti, si poteva procedere dal noto all'ignoto, anche se quest'ultimo poteva essere, oltre che una sostanza o le sue proprietà intime, anche un principio generalissimo della natura:

«Così mi sono messo a riunire ... gli elementi analoghi e i pesi atomici vicini, la qual cosa mi condusse rapidamente alla conclusione che le proprietà degli elementi sono in rapporto col loro peso atomico».¹⁹

Così scriveva Dimitri Ivanovic Mendeleev nel raccontare come era arrivato a scoprire una delle più grandi conquiste della teoria chimica: la legge di periodicità e il conseguente sistema periodico degli elementi.

Naturalmente in chimica vi sono molte forme di analogia.²⁰ Questa gioca ruoli molteplici nel processo di scoperta tipico di questa scienza. Ruoli che sono differenziati a seconda del livello di realtà indagato, dei problemi da risolvere, della rilevanza che il chimico attribuiva all'approccio analogico; infine, a seconda

¹⁷ H. DAVY, *Introductory lecture to the chemistry of Nature* (1807), in *Collected works*, London, Smith, Elder, Cornhill, 1840, vol. VIII, pp. 167-168.

¹⁸ H. DAVY, *Consolations in travel*, in *Collected works*, cit., vol. IX, p. 366.

¹⁹ Cit. in O. PISSARJEVSKI, *Dimitri Ivanovic Mendeleev*, Moscou, 1955, p. 80.

²⁰ Cfr. su questo G. BACHELARD, *Le pluralisme cohèrent de la chimie moderne*, Paris, Vrin, 1973₂.

dell'epoca storica considerata. È però necessario mettere in rilievo come il procedimento analogico adoperato dai chimici sorpassasse l'ambito della classificazione perché nel suo uso vi era implicita una idea teorica forte: vale a dire che le analogie *sperimentate* fra le sostanze erano rivelatrici di proprietà interne, intime, di queste e suscettibili di rivelare preesistenti forme di relazione fra le sostanze stesse. L'analogia delle proprietà sensibili (nel senso di esperibili per via sperimentale) era quindi rivelatrice di una più profonda analogia nella *struttura*.

Infine, un aspetto colpisce: cioè la permanenza secolare di una metodologia di ricerca che, con troppa semplicità, si è ritenuto fosse scomparsa dall'orizzonte della scienza moderna coll'avvento del metodo quantitativo; ovvero con l'avanzare differenziato della matematizzazione nello studio delle differenti fenomenologie disciplinari. Per quanto riguarda la chimica, la permanenza storicamente documentabile del procedimento analogico sta a significare anche che il problema della «qualità» è anch'esso un invariante decisivo per la definizione del campo di pertinenza e dello statuto teorico di questa disciplina.

Ke Keche v e

GIANLORENZO MARINO (*)

Etica della Ricerca (**)

Ethics of Research.

Summary - The different cases of scientific misconduct (i.e. fabrication and falsification of data, plagiarism, and other practices that seriously deviate from those that are commonly accepted within the scientific community for proposing, conducting, or reporting research) are discussed and illustrated, when possible, with examples drawn from history of chemistry.

Sui rapporti tra Etica e Scienza c'è stato un ampio ed appassionato dibattito sia dentro che fuori della comunità scientifica, ma limitatamente ai temi e agli obbiettivi della ricerca. Negli ultimi decenni questo dibattito ha riguardato soprattutto le implicazioni morali connesse con le ricerche in campo biologico, principalmente quelle sul genoma umano [1].

Molto meno dibattuti, almeno in Italia, sono i problemi di natura etica riguardanti il *modo di agire* degli scienziati nel condurre il loro lavoro, quelli che potremmo chiamare di *etica professionale*. Su questo tema verterà la presente relazione.

Esiste da sempre un codice morale non scritto al quale tutti coloro che operano nella ricerca scientifica debbono uniformarsi.

In anni recenti però, anche in seguito all'impressionante aumento delle violazioni di questo codice, accademie e società scientifiche, soprattutto negli Stati Uniti d'America, hanno provveduto a mettere per iscritto alcune regole che gli uomini di scienza nel loro agire dovrebbero rispettare [2].

Per quel che riguarda più specificatamente il mondo della chimica, l'«American Chemical Society» ha pubblicato nel 1994 delle «Ethical Guidelines» [3] indirizzate agli editori dei giornali scientifici, agli autori degli articoli, ai recen-

(*) Dipartimento di Chimica, Università di Perugia.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

sori dei manoscritti e a coloro che diffondono i risultati delle loro ricerche ricorrendo non ai giornali scientifici ma alla stampa quotidiana e agli altri «media».

Poiché il momento chiave della trasmissione della conoscenza scientifica è la pubblicazione dei risultati della ricerca, vediamo come dovrebbe essere, sulla base di queste indicazioni, l'articolo scientifico [4].

1. I dati riportati debbono essere autentici, completi e corretti. I limiti di incertezza debbono essere riportati.
2. I dati debbono essere originali e non precedentemente riportati (anche in altra forma) da altri Autori.
3. I procedimenti sperimentali e le apparecchiature usate debbono essere descritti accuratamente in modo da consentire ad altri ricercatori di replicare i dati.
4. L'interpretazione dei dati deve essere condotta in modo obiettivo ed onesto. In altre parole, l'analisi dei dati non deve essere influenzata da: a) le aspettative precedenti degli stessi Autori, b) le aspettative dell'Ente che ha finanziato la ricerca, c) fattori non scientifici (politici, filosofici, religiosi, etc).
5. L'articolo deve essere firmato *da tutti e solo* coloro che hanno contribuito in modo sostanziale, sul piano delle idee, alla realizzazione della ricerca e che ne assumono la responsabilità davanti al mondo scientifico.
6. Credito deve essere concesso a chi è dovuto. Puntuali citazioni devono essere riportate di tutti quei lavori precedenti senza dei quali il lavoro in questione non sarebbe stato possibile.
7. Debbono essere ringraziati tutti coloro che hanno reso in qualsiasi modo possibile la ricerca, attraverso finanziamenti, suggerimenti, discussione dei risultati, o altro.

La non osservanza di questi punti rappresenta una violazione del codice di deontologia professionale e porta a comportamenti che devono essere considerati eticamente non corretti.

Due distinte tipologie di comportamenti eticamente non corretti possono essere individuate: reati contro la Scienza (violazioni dei punti 1, 3 e 4) e reati contro altri scienziati (violazioni dei punti 2, 5, 6 e 7).

I casi estremi e più gravi sono rappresentati per la prima categoria dalla vera e propria frode scientifica (pubblicazione di dati relativi ad esperimenti non effettuati, totalmente inventati o deliberatamente alterati) e per la seconda categoria, dal plagio ovvero furto consapevole delle idee altrui.

C'è poi per entrambe le categorie, tutta una serie di comportamenti meno gravi ma pur sempre moralmente non corretti e pertanto da condannare e da evitare.

Rispetto ad altre frodi compiute in altre sfere dell'agire umano, la frode nella scienza, sebbene legalmente non perseguibile, a me sembra essere addirittura più ignobile e spregevole perché effettuata in una attività (la Scienza) che ha per suo fine proprio il conseguimento della verità.

La vera e propria frode scientifica è rara in chimica e questo, sia chiaro, non perché i chimici siano più onesti degli altri scienziati, ma perché, essendo la chimica una scienza esatta, la frode sarebbe facilmente scoperta, prima o poi.

Essa è molto più frequente in quelle scienze dove la riproducibilità dei dati è molto più difficile e qualche volta addirittura impossibile a realizzare (paleontologia, paleoantropologia, Scienze biologiche, clinica medica, etc.).

È a tutti noto il caso dell'Uomo di Piltdown che risale all'inizio di questo secolo. Solo nel 1953, grazie ai moderni mezzi di indagine, si è potuto inequivocabilmente dimostrare che si trattò di una vera e propria truffa: la calotta cranica di un uomo e la mandibola di una scimmia erano state trattate chimicamente per sembrare appartenenti ad uno stesso individuo e per molti decenni il mondo scientifico fu ingannato [5].

Riporto qui questo caso perché è quello più famoso di tutta una serie di altre truffe analoghe risalenti alla fine del secolo scorso e all'inizio di questo, che hanno in comune il movente: si tratta di frodi artamente effettuate allo scopo di provare una teoria scientifica nella quale si credeva fermamente ma che non si era in grado di dimostrare (nel caso dell'uomo di Piltdown l'esistenza di un anello mancante tra le scimmie e l'uomo).

Il sospetto di gravi illeciti e perfino di vere e proprie truffe non ha risparmiato neanche alcuni grandi scienziati, per altri versi resisi artefici di grandi servizi alla Scienza. Il caso di Louis Pasteur è illuminante al riguardo.

Nessuno fu forse più idealizzato di Louis Pasteur. Per il suo idealismo, per il suo disinteresse e per gli eccezionali servizi resi all'umanità con le sue scoperte, Pasteur fu considerato, ancora in vita, una sorta di «santo laico» della cultura francese e del mondo.

Recentemente però questo mito ha subito delle incrinature. Avvicinandosi il centenario della morte (1895) gli eredi hanno donato alla Biblioteca Nazionale di Parigi tutti i manoscritti (oltre 10.000 pagine!) del grande antenato, inclusi i 102 quaderni di laboratorio, nei quali Pasteur usava riportare giornalmente i risultati dei suoi esperimenti.

Gerard Geison, professore di storia alla Princeton University, ha avuto accesso a queste carte e ha pubblicato una biografia di Pasteur [6], nella quale la figura morale del grande scienziato risulta alquanto ridimensionata. Geison ha scoperto grosse discrepanze tra quanto è scritto nei quaderni di laboratorio e le sue pubblicazioni, in praticamente tutte le ricerche principali di Pasteur, dagli studi sulla risoluzione delle miscele racemiche ai lavori sul vaccino della rabbia, da quelli sul vaccino del carbonchio al dibattito sulla generazione spontanea che lo oppose a Felix Archimede Pouchet. In questo dibattito che sollevò nella Francia del tempo un eccezionale clamore per le implicazioni filosofiche, religiose e politiche che il problema comportava, Pasteur (contrario alla sola idea della generazione spontanea) sostenne di non essere stato in grado di riprodurre nel suo laboratorio gli esperimenti che secondo Pouchet dimostravano la generazione di

batteri dalla materia inorganica. Questa affermazione, data l'immensa autorità e il prestigio di Pasteur negli ambienti scientifici e non, pose praticamente fine alla polemica; in realtà i quaderni dimostrano che Pasteur non aveva nemmeno tentato di riprodurre gli esperimenti di Pouchet: probabilmente era così sicuro del fatto suo da ritenere che non valesse la pena di perdersi sopra troppo tempo e che fosse sufficiente affermare di averci provato. Il fatto che egli fosse nel vero non giustifica peraltro il suo comportamento, eticamente criticabile.

Negli ultimi decenni la frode scientifica è diventata, se così si può dire, un fenomeno di massa specialmente negli Stati Uniti e in campo biologico e medico, dove l'immensa quantità di denaro profuso dagli enti statali e dalle case farmaceutiche a sostegno delle ricerche, ha provocato un perverso effetto moltiplicatore [7, 8].

Il fenomeno delle frodi scientifiche ha coinvolto direttamente o indirettamente anche personaggi insospettabili di altissimo livello: a tutti è noto, per il clamore che ha suscitato, il caso in cui è stato invischiato David Baltimore, premio Nobel 1975 per la medicina e fisiologia [9, 10].

Sulla spinta dell'opinione pubblica americana, giustamente allarmata per il numero e la gravità delle truffe scientifiche (dopo tutto il denaro pubblico elargito dal «National Institute of Health» proviene in gran parte dai contribuenti ...) nel 1989 è stato costituito un organismo «ad hoc», l'O.S.I. (Office for Scientific Integrity) che ha lo specifico compito di indagare sui casi sospetti di illecito o frode nel campo della ricerca scientifica [11].

Se le macrotruffe (ricerche totalmente inventate) sono sconosciute o quasi, in chimica, delle microtruffe (singoli dati aggiunti, alterati, soppressi, «aggiustati», etc.) la letteratura chimica è letteralmente piena.

In questi casi la responsabilità del comportamento disonesto è generalmente attribuibile ai giovani collaboratori: studenti desiderosi di accelerare il completamento della tesi, borsisti che cercano di soddisfare in questo modo la «fame» di dati del loro professore datore di lavoro, giovani assistenti che pensano di arricchire per questa via fraudolenta i curricula necessari per le loro carriere.

Grande è però anche la responsabilità dei leaders delle ricerche che dovrebbero vagliare con grande attenzione e spirito critico i dati loro sottoposti dai collaboratori.

Qualche rara volta avviene che i ricercatori *Senior* si accorgano in un secondo tempo della falsità o della manipolazione dei dati pubblicati e decidano di pubblicare una nota successiva nella quale, scusandosi per l'accaduto, si dissociano dai dati pubblicati, accusando in qualche caso il solo supposto responsabile [12].

Ci sono poi altri comportamenti, che pur non configurandosi come vere e proprie truffe o frodi, sono pur sempre fortemente da criticare sul piano della morale professionale.

Non è per esempio eticamente corretto diffondere con grande clamore — magari utilizzando mezzi alternativi ai giornali scientifici come la stampa quotidiana o la televisione — dati ancora provvisori o preliminari, incompleti e bisognosi di conferma relativi a una supposta clamorosa scoperta e poi, quando la conferma non viene, rettificarli con molto meno clamore.

Di nuovo, il fenomeno è molto più grave e diffuso nelle scienze biologiche e mediche. Quante volte i «media» annunciano la scoperta di farmaci miracolosi che poi si dimostrano bolle di sapone? Si cerca di costruirsi una grande e immeritata fama, speculando — e questo è particolarmente odioso — sulla sete di guarigione di tanti malati e parenti di malati.

Anche in chimica abbiamo casi di analogo comportamento, anche se non così frequenti come in campo medico. Tutti certamente conoscono i casi più eclatanti, quello della Polywater (1961) e quello della cosiddetta «fusione fredda» (1989).

L'uno e l'altro caso permettono di evidenziare un fatto curioso, per certi versi poco comprensibile e che merita una riflessione. Quando una straordinaria scoperta è annunciata con grande clamore, molti ricercatori in tutto il mondo si affrettano — come è naturale — a replicare gli esperimenti o ad impostare esperimenti simili. Ebbene la cosa curiosa è che, anche quando i dati annunciati si dimostreranno poi erronei, in un primo tempo le conferme superano nettamente in numero le smentite. È stupefacente e quasi incredibile vedere quanti lavori (parecchie centinaia!) siano apparsi nella letteratura chimica di tutto il mondo negli anni che vanno dal 1961 al 1969, lavori che confermavano gli esperimenti dei russi Fediakin e Deryagnin [13]. Poi tutto si sgonfiò [14] e della polywater non si parlò più: si trattò veramente di una vera e propria cantonata universale.

La stessa cosa si ripete, quasi trent'anni dopo, con la «fusione fredda» [15].

Come mai queste cose sono potute accadere? Evidentemente quello che io chiamo il «desiderio di salire sul carro», la volontà di essere partecipi in qualche modo al «grande evento» ottenebra occhi e menti dei ricercatori al punto di renderli ciechi anche davanti all'evidenza. Non è materia che riguarda la scienza ma i misteri della psiche umana e della psicologia collettiva. In un certo senso «polywater» e «fusione fredda» possono essere considerati due esempi di quella che Irving Langmuir chiamava *scienza patologica* [16].

Sono fin patetici gli ultimi cultori della fusione fredda che non si vogliono arrendere all'evidenza e continuano a riunirsi nei loro convegni annuali, più simili a membri di una setta esoterica che ad uomini di scienza.

È il momento di chiedersi quali siano le conseguenze di comportamenti illeciti degli scienziati sullo sviluppo della scienza. Sul breve e medio periodo i danni possono essere gravi perché le truffe possono convogliare le ricerche di altri gruppi verso vie senza sbocco, con grande spreco di energie umane e di risorse.

Sul lungo periodo, il corso della conoscenza scientifica e del progresso non

ne risulta alterato. Entra in atto una sorta di autopurificazione della scienza, una capacità di eliminare tutte le «scorie», truffe volontarie o errori involontari che siano [17].

Passiamo ora ad esaminare la seconda categoria di comportamenti illeciti («i delitti contro gli altri scienziati»), che implicano in un modo o nell'altro l'utilizzo di idee altrui per il proprio beneficio.

Il caso limite è rappresentato dal plagio integrale. È stato riportato il caso del giordano Elias A.K. Alsabti [18] che si costruì il suo curriculum scientifico pubblicando su periodici scarsamente diffusi lavori interamente copiati o tradotti parola per parola da altri lavori di altri Autori, avendo avuto solo l'avvertenza di modificare i titoli e in qualche misura i sunti.

Casi di spudorato plagio integrale come questo sono rari ma il furto delle idee si realizza in modo più subdolo in altre situazioni che adesso verranno esaminate.

Un campo in cui queste azioni non corrette possono essere commesse è quello dei rapporti a volte ambigui che si stabiliscono tra gli Autori degli articoli scientifici e i «referees» (anonimi!) che di questi articoli debbono giudicare la validità.

Il conflitto di interessi nasce quando Autore e «Referee» sono coinvolti nella stessa ricerca o in ricerche molto simili.

Il caso più grave è quello del referee che sfruttando il fatto di essere coperto dall'anonimato, utilizza i dati (raramente) o le idee (più frequentemente) di cui è venuto a conoscenza in proprie comunicazioni a congressi o in propri lavori già pronti per la pubblicazione.

Un'altra azione moralmente riprovevole da parte di un referee — anche se non configurabile come un vero e proprio furto delle idee — consiste nel ritardare ad arte la pubblicazione di un lavoro concorrente sottoposto a lui per un giudizio, onde consentire l'uscita in tempo anteriore di una propria pubblicazione simile e assicurarsi in tal modo la priorità di una scoperta.

Il conflitto di interessi tra l'Autore e il referee diventa più grave come è ovvio, quando entrano in gioco motivi economici: per esempio quando Autore e referee lavorano per (o, peggio, sono co-proprietari di) aziende industriali diverse e concorrenti [19].

Queste azioni scorrette dei «referees» sono difficili da dimostrare proprio per la segretezza che circonda tutto il sistema di recensione ma sono più frequenti di quanto si creda e hanno provocato un dibattito dal quale sono emerse proposte di modifiche anche radicali di tutto il sistema in vigore (eliminazione dell'anonimato, etc.).

In ogni caso una più attenta vigilanza degli Editori dei giornali scientifici sarebbe altamente auspicabile.

Passiamo ora ad esaminare le violazioni del punto 5 («il lavoro deve essere firmato da tutti e solo coloro che hanno contribuito in modo determinante alla sua realizzazione»). Esse possono essere di due tipi: violazioni per difetto («l'Autore in meno») o per eccesso («l'Autore in più»).

L'«Autore in meno» è quasi sempre un giovane, usualmente studente che ha contribuito con la sua genialità creativa alle idee che sono alla base di quel lavoro scientifico ma che viene escluso dall'onere e dalla responsabilità della firma dell'articolo ad opera del professore leader del gruppo di ricerca, con la giustificazione che «egli viene in ogni caso ricompensato dall'ottimo voto di laurea». Questo atto di arbitrio è particolarmente odioso perché compiuto a scapito di chi si trova in una posizione totalmente subordinata e di obbiettiva debolezza e per di più è ancora scarsamente consapevole del danno che sta subendo.

Per quanto invece riguarda «l'Autore in più», ci sono molti casi diversi che verranno separatamente esaminati.

C'è innanzitutto «il Grande Capo» che sta al vertice di una grossa struttura piramidale di ricerca (universitaria o anche industriale) e che impone, forte della sua autorità, la sua inclusione tra gli Autori, anche se ha partecipato pochissimo o non ha partecipato affatto alla realizzazione del lavoro. Ci sono professori che pubblicano in un anno trenta-quaranta lavori scientifici: non si vede proprio come possano aver contribuito alla loro realizzazione, tanto più che essi spesso sono coinvolti in moltissime altre attività accademiche, politiche o professionali. L'aver contribuito a procurare i finanziamenti necessari allo svolgimento delle ricerche non è certo motivo che giustifichi la firma di un lavoro scientifico. Questa condotta è il risultato di un ben preciso disegno, vale a dire l'avvio di una reazione a catena (maggior numero di pubblicazioni = maggiore fama; maggiore fama = maggiori finanziamenti; maggiori finanziamenti = maggior numero di pubblicazioni, etc etc), reazione a catena che finisce poi per procurare anche sostanziali benefici economici al protagonista [20].

Una simile condotta è stata denunciata [21]. Fortunatamente essa, almeno in Italia, è in diminuzione, anche per il progressivo ridimensionamento dei grandi gruppi di ricerca operanti nelle Università.

Un caso diverso è quello un po' patetico del vecchio caposcuola che, nella fase discendente della sua parabola scientifica, si accorge di non possedere più la creatività degli anni giovani e di non essere più in grado di impostare ricerche del livello precedente. Egli allora, per mantenere ancora una «visibilità» nel mondo scientifico, chiede al suo ex-allievo ormai in cattedra e nella fase culminante della sua carriera, di essere «ospitato» come coautore nei suoi lavori, anche se a questi non ha di fatto partecipato: è una richiesta alla quale è difficile dire di no perché è operante, chiamiamolo così, il «ricatto della riconoscenza»...

Sia in Italia che in altri paesi è poi diffusissimo il costume di offrire, quale modo per sdebitarsi, un posto di co-autore a chi ha fornito un prodotto o effettuato misure con una particolare apparecchiatura, etc. A volte si verifica il caso

grottesco di uno stesso Autore (!) che firma due lavori di due diversi gruppi di ricerca che sostengono, in taluni casi con toni fortemente polemici, posizioni antagoniste su un determinato problema scientifico! Si tratta della persona che ha fornito lo stesso prodotto all'uno e all'altro gruppo. Anche questo malcostume è stato stigmatizzato [22].

Negli anni intorno al 1968, nel clima di «rivoluzione culturale» che si era instaurato, in molti gruppi di ricerca si era affermata la seguente tesi, falsamente democratica: poiché ad una ricerca partecipano, in maniera diretta o indiretta, oltre ai veri e propri ricercatori, molte altre persone senza il contributo delle quali la ricerca non sarebbe possibile e poiché tutti i lavori (e tutti i lavoratori) hanno la stessa dignità, è giusto che la pubblicazione scientifica venga firmata da *tutti* i partecipanti e non solo da *alcuni* privilegiati (i ricercatori). Avveniva così che le pubblicazioni di questi gruppi di ricerca avessero una lunga lista di co-Autori in rigoroso e democratico ordine alfabetico includente oltre al leader del gruppo e i giovani ricercatori, anche i tecnici addetti alle apparecchiature, la segretaria che aveva battuto a macchina il manoscritto e il bidello che aveva pulito la vetreria e i banconi ... Qualche buontempone aggiungeva alla lista anche un nome immaginario, un fantomatico «Pierino», in rappresentanza di tutti coloro che avevano, sia pure inconsapevolmente, fornito un sia pur minimo contributo. Non è escluso che, in taluni casi, questa pratica nascondesse il segreto e inconfessato disegno di alcuni «leaders» di fare emergere meglio l'unico nome noto in una lunga e diluita lista di nomi sconosciuti ...

Con il riflusso seguito agli anni della contestazione, la pratica è andata in disuso ma forse non completamente se l'American Chemical Society ha sentito il bisogno di includere nelle sue «Ethical Guidelines» pubblicate nel 1994, una esplicita prescrizione «No fictitious name should be listed as co-author of the paper» [23].

Deplorevole è poi il comportamento di chi — sfruttando la superiore posizione accademica o le proprie maggiori capacità di convincere gli altri o il privilegiato accesso ai mezzi di informazione o altro — si appropria totalmente del merito di una ricerca che viceversa è stata condotta con il contributo fondamentale e a volte prioritario di altri. Per illustrare questo caso, si presta la vicenda della fissione nucleare dell'uranio. Si trattava di una tipica ricerca interdisciplinare che necessitava delle competenze sia dei chimici sperimentali sia dei fisici teorici. Otto Hahn e Fritz Strassman furono i chimici che portarono avanti i difficilissimi e complessi esperimenti, Lisa Meitner e Otto Frisch i fisici che formularono le ardite interpretazioni teoriche.

L'ebrea Lisa Meitner, che era stata il leader del gruppo di Berlino, fu costretta dopo l'avvento di Hitler ad emigrare in Svezia, da dove continuò la collaborazione con coloro che erano rimasti in Germania (come dimostra l'intensa corrispondenza con Hahn). Otto Hahn assunse la direzione del gruppo e

iniziò una campagna [24] tendente a dimostrare che la scoperta della fissione dell'atomo di uranio era essenzialmente di natura chimica e a ingigantire con questo argomento il suo contributo personale, svalutando quello della Meitner e degli altri. Risultato: nel dopoguerra il premio Nobel (in chimica!) fu assegnato ad Hahn solo. Hahn nemmeno citò la Meitner nella conferenza tenuta a Stoccolma, in occasione del conferimento del premio [25].

Gli storici della scienza hanno criticato il comportamento di Hahn e rivalutato il ruolo di Lisa Meitner, riconoscendo in lei la vera «mente pensante» del gruppo che scoperse la fissione [24]. Il mondo scientifico ha fatto proprio questo convincimento ed ha proposto, forse anche come postuma riparazione, di dedicare a lei l'elemento chimico 109 (Meitnerio) [26].

Un altro colpevole e riprovevole comportamento di taluni ricercatori è quello di non dare, nel presentare il proprio lavoro, il credito dovuto al lavoro degli altri. Non è sufficiente semplicemente citare un fondamentale lavoro precedente: occorre dargli il rilievo che merita! Per illustrare questo punto, esaminiamo il caso di Kekulé e della struttura del benzene.

Oggi la critica moderna riconosce all'austriaco Josef Loschmidt [27] la priorità della struttura ciclica del benzene.

Orbene, Kekulé era a conoscenza del lavoro di Loschmidt (sebbene pubblicato semiclandestino), tanto è vero che lo cita «en passant» (senza peraltro riportare i dati bibliografici) in nota al suo famoso lavoro del 1865 sul Bollettin [28]. Poi però si assume tutto il merito della proposta, senza dare il minimo credito a Loschmidt: anzi, anni dopo, «inventa» la storia ormai famosa del «sogno» per sottolineare ancora di più la supposta originalità della sua idea e farla apparire come un'ispirazione dovuta al suo genio [29]. Questo è un tipico caso in cui il comportamento di un Grande della chimica non dovrebbe essere imitato...

Kekulé era d'altra parte un recidivo: anche per quanto riguarda il suo altro grande contributo alla chimica, la teoria strutturale, egli rifiutò sempre di concedere il minimo credito [30] allo scozzese Archibald Cooper, oggi giustamente considerato, insieme allo stesso Kekulé e a Butlerov, uno dei padri della teoria strutturale [31].

Tutto quanto esposto in questa relazione non esaurisce l'argomento che è vasto e multiforme, ma penso che sia stato sufficiente ad illustrarne la dimensione e l'importanza. Negli Stati Uniti la grande rilevanza dei problemi etici connessi con l'attività di ricerca ha indotto molte università ad introdurre l'Etica nei *curricula* dei corsi di studio in materie scientifiche, incluso chimica. Alcune università (per esempio la «University of Tennessee») hanno recentemente attivato veri e propri corsi di Etica Scientifica [32] e dispense di questa disciplina, nelle quali vengono esposti e discussi casi specifici, sono state pubblicate [33].

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E NOTE

- [1] Si veda per esempio: AA.VV. «Etica e Scienza: quali limiti?», Ed. Laterza (1990).
- [2] Si veda, per esempio: «On being a scientist. Responsible conduct in research» (ad opera del «Committee on Science, Engineering and Public Policy» espresso dalle accademie: «National Academy of Sciences», «National Academy of Engineering» e «Institute of Medicine»), National Academy Press, Washington (1995).
- [3] «Ethical Guidelines to publication of chemical research», *Journal of American Chemical Society*, vol. 116, N° 13, pp. 8A-10A (1994).
- [4] Si veda anche: a) J. KOVAC, *J. Chem. Education*, **73**, 926 (1996). b) R. HOFFMANN, *Angew Chem. Intern. Edition*, **27**, 1593-1602 (1988).
- [5] Una estesa trattazione di tutte le vicende connesse con il caso dell'Uomo di Piltown è riportata nel libro di F. DI TROCCHIO, «Le bugie della Scienza», Mondadori Ed. (1993). Il libro riporta anche molte altre frodi scientifiche, più o meno famose.
- [6] G.L. GEISON, «The private science of Louis Pasteur», Princeton Univ. Press, 1995.
- [7] R. BELL, «Impure Science: fraude, compromise and political influence in scientific research», Wiley & Sons, New York (1992).
- [8] N.H. STENECK, *Journal of Higher Education*, **65**, 54 (1994).
- [9] D.P. HAMILTON, «Baltimore case in brief», *Science*, **253**, 24 (1991).
- [10] P. ZURER, *Chem. & Eng. News*, June 24, p. 31 (1996).
- [11] Sulla struttura e i compiti dell'O.S.I. si veda: D.P. HAMILTON, *Science*, **253**, 1084 (1991).
- [12] Si veda, a titolo di esempio: E. BREITMAIER, *Angew Chem. (Intern. Edition)*, **33**, 1207 (1994).
- [13] Per una discussione generale sul caso della Polywater si veda: B.F. HOWELL «Anomalous water: fact or figment», *J. Chem. Educ.*, **48**, 663 (1971). Si veda anche: D.L. ROUSSEAU and S.P.S. PORTO, *Science*, **167**, 1715 (1970).
- [14] L'epitaffio sulla Polywater fu pubblicato su *Nature*, **230**, 11 (1971).
- [15] a) R.W. CLARK, *J. Chem. Education*, **68**, 277 (1991). b) J.R. HUIZENGA «Cold fusion: the scientific fiasco of the century», Oxford Un. Press, N.Y. (1993). c) G. TAUBES, «Bad science: the short life and hard times of cold fusion», Random House, N.Y. (1993).
- [16] Sulla «pathological science» di Langmuir, si veda: R.N. HALL, *Physics Today*, october 1989, pp. 36-48.
- [17] Fra i numerosi meccanismi di «autocorrezione» della scienza, il più importante — afferma R. Hoffman (Ref. 4b, pag. 1597) — è quello per il quale, quanto più un'osservazione o una teoria è interessante, tanto più è probabile che essa sia controllata da qualche altro ricercatore.
- [18] W.J. BROAD, «Would-be academician pirates papers», *Science*, **208**, 1438-1441 (1980).
- [19] Ai potenziali conflitti di interesse finanziario tra uomini di scienza è stata dedicata un'intera sezione, composta da vari articoli di diversi autori, di un numero della rivista *Science* (vol. 257, pp. 615-624, 1992).
- [20] Questa reazione a catena è chiamata «L'Effetto Matteo». Si veda: R.K. MERTON, «The Matthew Effect in Science», *Isis*, **79**, 606 (1988).
- [21] R.P. CROLL, «The non-contributing Author: an issue of credit and responsibility», *Perspectives in Biology and Medicine*, **27**, 401 (1984).
- [22] W.J. BROAD, «The publishing game: getting more for less», *Science*, **211**, 1137 (1981).
- [23] Riferimento 3, pag. 9A.

- [24] Si veda: R.L. SIME, «Lise Meitner and the discovery of Fission», *J. Chem. Education*, **66**, 373 (1989) e i riferimenti ivi riportati.
- [25] Nobel Lectures in Chemistry 1942-1962, Elsevier Ltd, Amsterdam (1964) pp. 51-66.
- [26] *Chem. & Eng. News*, 24 february 1997.
- [27] J. LOSCHMIDT, «Chemische Studien», Vienna (1861).
- [28] K. KEKULÉ, *Bull. Soc. Chim. France*, **3**, 98 (1865).
- [29] Per una interpretazione critica dei sogni di Kekulé, si vedano: a) B. VANDERBILT, «Kekulé's whirling snake: fact or fiction», *J. Chem. Education*, **52**, 709 (1975). b) J.H. WOTIZ and S. RUDOFKY, «Kekulé's dreams: fact or fiction?», *Chemistry in Britain*, **20**, 720 (1984). c) O.B. RAMSAY and A.J. ROKE, «Kekulé's dreams. Separating the fiction from the fact», *Chemistry in Britain*, **20**, 1093 (1984). d) C.R. NOE and A. BADER, «Facts are better than dreams», *Chemistry in Britain*, **29**, 126 (1993).
- [30] Il primo a sottolineare questo comportamento di Kekulé fu R. Anschütz, allievo di Kekulé e suo primo biografo: «August Kekulé», Verlag Chem., Berlin (1929).
- [31] Sul fondamentale contributo di Cooper alla teoria strutturale, si vedano, tra gli altri: a) H.C. BROWN, *J. Chem. Education*, **36**, 104 (1959). b) R.B. WOODWARD, «August 1973 Cope Lecture» citato da Bader (rif. 31 c). c) A. BADER, «A chemist turns detective», *Chemistry in Britain*, **32**, 41 (1996).
- [32] J. KOVAC, «Scientific Ethics in Chemical Education», *J. Chemical Education*, **73**, 926 (1996).
- [33] J. KOVAC, «The Ethical Chemist», Univ. of Tennessee, Knoxville (1993); 2nd edition (1995).

FRANCO CALASCIBETTA (*)

Problemi teorici e sperimentali nella scoperta delle «terre rare» (1897-1914) ()**

Theoretical and experimental problems in the discovery of the «rare earths» (1897-1914).

Summary - As is well known, historical reconstruction of the discovery of the elements in the so-called «rare earth» group (the lanthanides, scandium, yttrium and some other elements close to these) is a rather complex task. Starting from 1794, the date of discovery at Ytterby, Sweden, of a mineral containing yttrium, one of the metals in the group, dozens and dozens of real or more often presumed new elements were announced and then refuted. The vast number in the family, their appearance, multiplication and then disappearance have several times been linked, in both the last and the current century, to important theoretical aspects of chemistry, including Mendeleev's periodic system and later Moseley's discovery and the new definition of atomic number.

At the root of this tangled chapter in the history of science there certainly lies the great similarity in behaviour of these elements, which creates considerable difficulties for their separation and purification. The article will particularly emphasize the experimental aspects of the search for procedures that could finally solve this complicated chemical problem.

Specifically for this purpose, we will dwell on the work done in the late 19th and early 20th centuries by various research groups working in various countries. Thanks to the perfecting of very laborious fractionation separation procedures, chemists like B. Brauner, C. Auer von Welsbach and especially the French chemist G. Urbain were substantially able to determine the number of elements in the group and find a correct atomic weight even before publication of Moseley's research.

Un contributo quasi doveroso

Prima di iniziare l'illustrazione del tema indicato dal titolo, una ricostruzione storica delle ricerche sugli elementi appartenenti al cosiddetto gruppo delle «terre rare» (oltre ai lantanidi, l'ittrio, lo scandio ed alcuni altri ad essi affini)

(*) Università «La Sapienza», Roma.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

con particolare attenzione agli anni immediatamente a cavallo tra il XIX e il XX secolo,¹ permettetemi un'introduzione di carattere quasi personale.

Il mio primo incontro con le «terre rare» e la loro storia risale a qualche anno fa, nel corso di miei studi sui rapporti tra sistema periodico di Mendeleev e ipotesi di Prout. Infatti, come ricorderemo anche in questo articolo, la questione del numero di elementi delle terre rare, proprio negli anni in esame, finì per costituire un problema per la sistemazione mendeleeviana degli elementi chimici e soprattutto per l'identificazione del peso atomico come loro proprietà fondamentale, alla base delle concezioni dello scienziato russo e dei suoi seguaci.²

Successivamente nella preparazione di una serie di seminari sulla storia delle tecniche cromatografiche e delle loro applicazioni, ho affrontato di nuovo le «terre rare» ed in particolare il ruolo che per la loro sistematica separazione ebbe, a partire dagli anni della seconda guerra mondiale, la cromatografia per scambio ionico.

Infine ancora, nel corso di ricerche sull'inventore della polarografia J. Heyrovský e più in generale sulla chimica nella repubblica ceca negli anni tra le due guerre mondiali, mi sono di nuovo occupato di B. Brauner, che fu uno degli scienziati che ebbero un ruolo fondamentale nella Chimica delle terre rare negli anni in oggetto.³

In tutte queste occasioni mi è capitato sovente di interrogarmi sull'immane lavoro sperimentale a cui si sottoposero per anni alcuni gruppi di chimici allo scopo di arrivare alla chiarificazione del problema di quanti e quali elementi appartenessero alla famiglia, e di meravigliarmi sui notevoli risultati che, con i mezzi a disposizione, riuscirono a raggiungere. Questo mio contributo, se volete, ha quindi anche lo scopo di un omaggio postumo non tanto a chi guidò tali ricerche, scienziati che comunque un posto più o meno di riguardo nella storia della disciplina se lo sono assicurato, ma ai loro meno conosciuti o del tutto ignoti collaboratori che, ripetendo giorno dopo giorno, per anni, le stesse tediose e delicate operazioni di laboratorio, diedero un contributo fondamentale alla risoluzione del problema.

¹ Le date riportate nel titolo, come spesso in tali casi, sono solo orientative e simboliche. In particolare ho scelto il 1897 e il 1914 che rappresentano rispettivamente l'anno in cui iniziò la produzione scientifica di Urbain, uno delle figure più importanti nella mia ricostruzione e quello della pubblicazione della scoperta di Moseley sulla natura del numero atomico. Tale scoperta, come ricordato più oltre nel presente articolo, portando una indipendente chiarificazione su quali e quanti dovessero essere gli elementi del gruppo, testimoniò l'ottima qualità e la completezza del lavoro sperimentale compiuto dai chimici che si erano occupati delle terre rare negli anni immediatamente precedenti.

² Tali studi sono stati esposti in F. CALASCIBETTA «L'evoluzione delle idee di D. Mendeleev rispetto all'ipotesi di Prout (1869-1889)», *Rendiconti della Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL: Memorie di Scienze Fisiche e Naturali* (1992), 110, 301-312.

³ F. CALASCIBETTA, «Chemistry in Czechoslovakia between 1919 and 1939: J. Heyrovský and Prague Polarographic School», *Centaurus* (1997), 39, 368-381.

La scoperta degli elementi delle «terre rare»: un albero genealogico assai intricato

A grandi linee forse molti dei lettori conoscono la storia degli elementi appartenenti al gruppo, storia che comincia a cavallo tra il '700 e l'800 con la scoperta di minerali contenenti terre sino ad allora sconosciute, vale a dire, come vennero chiamate, una «terra cerica» e una «terra ittrica». Da queste, attraverso l'opera di molti ricercatori nell'arco di oltre un secolo, furono scoperti quasi tutti gli appartenenti alla famiglia. Lo schema riportato in Figura 1, cerca di riassumere sommariamente l'intera vicenda.⁴ Già così essa, come si vede, appare sicuramente abbastanza intrecciata. Tuttavia una rappresentazione del genere può essere valida solo come ricostruzione a posteriori, che tiene conto della effettiva successiva sistemazione del problema e non ci dà affatto l'idea di quella che era in realtà la confusione che ad un certo punto nella seconda metà del XIX secolo si ebbe su quali e quanti fossero realmente gli elementi del gruppo. Ciò risulta ancor più evidente dall'analisi della tabella, riportata in Figura 2, in cui viene presentato l'elenco ordinato cronologicamente di tutti gli appartenenti alla famiglia delle terre rare annunciati in oltre 100 anni. In tale tabella, come si vede, vengono riportate circa una settantina di talvolta vere ma più spesso presunte scoperte.⁵

Dietro questa confusione c'era innanzi tutto la caratteristica peculiare degli elementi del gruppo di essere presenti spesso tutti insieme nei relativi minerali, di avere praticamente tutti proprietà chimiche quasi coincidenti, di formare con i vari acidi sali isomorfi e di essere quindi molto difficilmente separabili e purificabili con gli ordinari mezzi chimici. Fino alla introduzione di tecniche di tipo spettroscopico l'unico controllo delle procedure di separazione era per così dire visivo, nel senso che, se ad esempio trattando un ossido con acido nitrico diluito si riusciva ad ottenere mediante tale procedimento la separazione in due diversi componenti caratterizzati magari da colore differente, si poteva supporre di essere in presenza di due diversi elementi (questo è in forma un po' semplificata quanto fece nel 1843 Mosander per la separazione tra lantanio ed il cosiddetto didimio). Gli elementi del gruppo così riconosciuti fino ad oltre il 1870

⁴ Lo schema è tratto da R.J. MEYER, «Die Elemente der Cerit- und Ytterterden» in *Abegg's Handbuch der Anorganischen Chemie*, Bd. III.1, Leipzig, 1906, p. 140. Schemi del tutto simili si possono trovare nei vari testi moderni di storia della Chimica che trattano l'argomento, come ad esempio A. IHDE, «The Development of Modern Chemistry», N. York, 1964, pp. 376-77. Per una storia più completa sulla scoperta degli elementi del gruppo delle terre rare la lettura più utile ed esauriente, anche per la ricca bibliografia citata, resta comunque senza dubbio quella di M.E. WEEKS, «Discovery of Elements», Easton PA, 1968, pp. 695-727, da cui sono riprese molte delle notizie riportate nel presente articolo, quando non diversamente specificato.

⁵ La Tabella è tratta da J.W. MELLOR, «A Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry», London, 1924, Vol. 5, p. 504.

Schema zur Entdeckungsgeschichte der seltenen Erden.

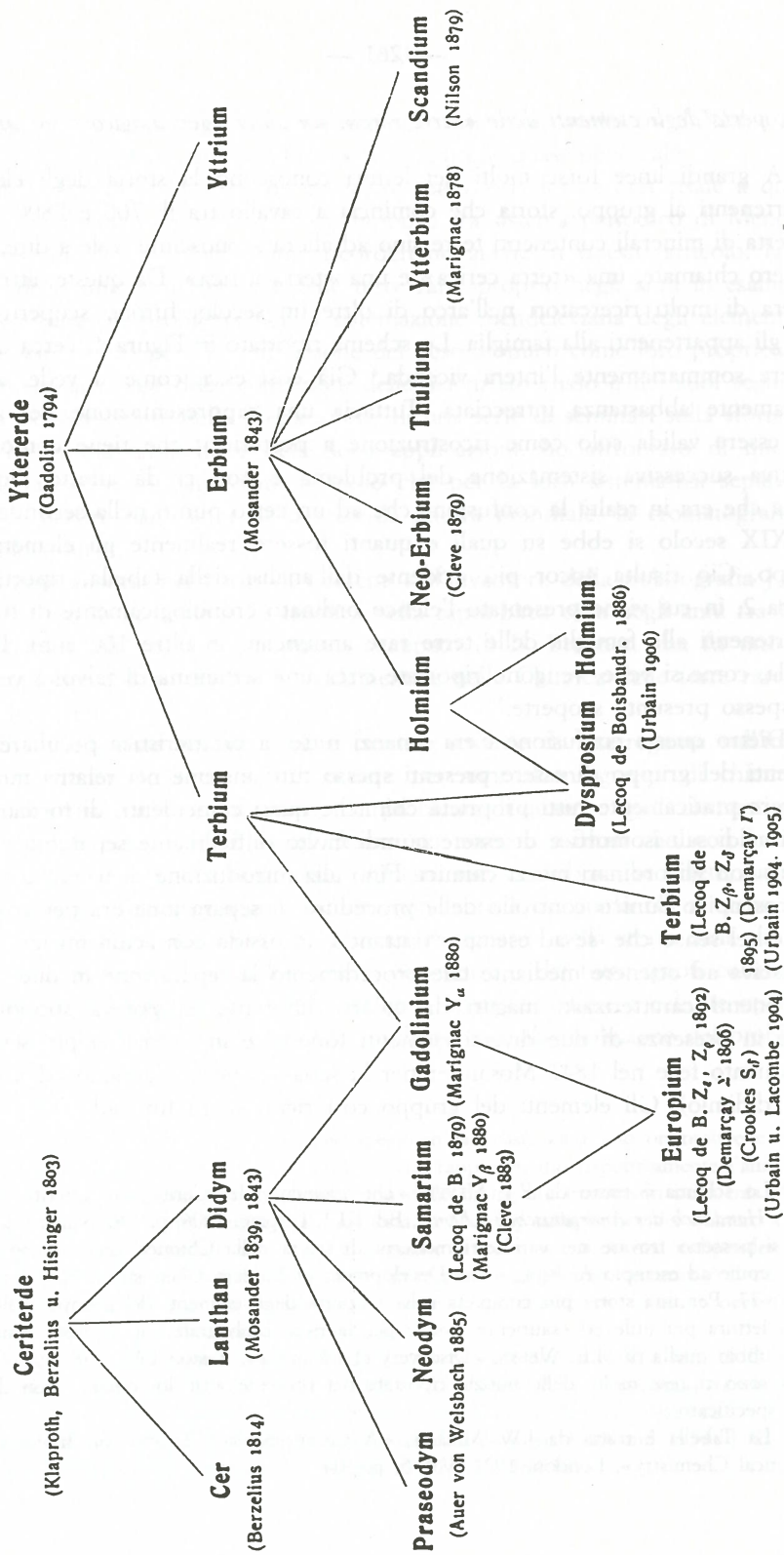


Fig. 1 - L'albero genealogico dei metalli delle «terre rare» (vedi nota 4).

furono in tutto sei (ittrio, erbio, terbio, cerio, lantanio, didimio). Di essi era possibile ricavare un peso equivalente che per alcuni (ad esempio lantanio e didimio) risultava praticamente coincidente e pari a poco meno di 50 rispetto all'idrogeno. Per passare poi dal peso equivalente al peso atomico era ovviamente necessario stabilire la valenza degli elementi. Questa veniva ritenuta da alcuni pari a 2 per la notevole basicità presentata dagli ossidi, analoga a quella mostrata dagli ossidi dei metalli alcalino-terrosi. Mendeleev aveva proposto al contrario una valenza pari a 3 che consentiva di porre almeno alcuni degli elementi della famiglia in posizioni plausibili del sistema periodico (ad esempio ittrio ed erbio rispettivamente nel sesto e decimo periodo del III gruppo).⁶

La situazione mutò con la nascita e lo sviluppo delle varie tecniche spettroscopiche di emissione e di assorbimento, a partire dall'introduzione dello spettroscopio da parte di Kirchhoff e Bunsen nel 1860.⁷ La possibilità di ottenere spettri caratteristici dai vari materiali fornì sicuramente un mezzo di analisi assai più sensibile, che consentì come è noto di ampliare notevolmente il numero di elementi chimici conosciuti. Nel campo delle terre rare lo sviluppo di tali metodologie provocò per altro, quanto meno per un certo periodo di tempo, un'ulteriore confusione. Molti ricercatori infatti finirono per fissare la propria attenzione su una particolare tecnica o addirittura su una particolare zona dello spettro con essa ottenuto. Ogni frazione ricavata mediante procedimenti chimici di separazione veniva analizzata. La nascita di una nuova banda, il suo accentuarsi o il suo sdoppiarsi, venivano immediatamente presi come indizio della scoperta di un nuovo elemento. Il combinarsi di tecniche, sensibili ma ancora quasi del tutto sconosciute dal punto di vista teorico, con metodi di separazione chimica insufficienti produsse la proliferazione di presunte scoperte di nuovi appartenenti al gruppo delle terre rare che si ebbe negli anni '80 dello scorso secolo, documentata dalla tabella di Figura 2. Ciò determinò anche il nascere di idee circa la insita indeterminatezza dello stesso concetto di elemento chimico quale emerge dalla teoria dei «meta-elementi» di Crookes⁸ o da alcune affermazioni di altri ricercatori, affermazioni riassumibili nell'assioma «una riga spettrale-un elemento».⁹

⁶ D. MENDELEEV, «Die periodische Gesetzmässigkeit der chemischen Elemente», *Ann. Supplementband* (1871), 8, 133-229.

⁷ R.W. BUNSEN, G. KIRCHHOFF, «Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen», *Pogg. Ann.* (1860), 110, 161-189.

⁸ Sull'argomento si veda F. CALASCIBETTA, «L'evoluzione delle idee di D. Mendeleev rispetto all'ipotesi di Prout (1869-1889)» (*op. cit.*, nota 2), e la bibliografia *ivi* riportata.

⁹ G. KRÜSS, L.F. NILSON, «Studien über die Componenten der Absorptionsspectra erzeugenden seltenen Erden», *Ber.* (1887), 20, 2134-2171 (cfr. *Chem. News* (1887), 56, 74-77, ... 172-173).

CHRONOLOGICAL VIEW OF REPORTED ELEMENTS OF THE RARE EARTHS.

Year.	Reported Element.	Source.	Discoverer.	Remarks.
1794	Yttrium	Gadolinite	J. Gadolin	Impure yttria.
1804	Cerium	Cerite	J. J. Berzelius, etc.	Impure ceria.
1811	Junonium	Allanite	T. Thomson	Erroneous analysis.
1817	Thorine	Cerite	J. J. Berzelius	Yttrium phosphate.
1818	Vestium	Allanite	L. W. Gilbert	Unverified.
1828	Thorium	Thorite	J. J. Berzelius	Element.
1839	Lanthanum	Ceria	C. G. Mosander	Element.
1842	Didymium	Ceria	C. G. Mosander	Mixture.
1843	Terbium	Yttria	C. G. Mosander	Erbium since 1860.
1843	Erbium	Yttria	C. G. Mosander	Terbium since 1877.
1851	Donarium	Orangeite	C. Bergemann	Mixture.
1862	Wasmium	Orthite	J. F. Bahr	Mixture.
1878	Mosandium	Samarskite	J. L. Smith	Mixture.
1878	Phillipium	Yttria	M. Delafontaine	Mixture.
1878	Decipium	Samarskite	M. Delafontaine	Mixture.
1878	Ytterbium	Erbia	J. C. G. de Marignac	Mixture.
1878	X	Erbia	J. L. Soret	Holmium.
1879	Scandium	Ytterbia	L. F. Nilson	Element.
1879	Samarium	Didymia	L. de Boisbaudran	Element.
1879	Thulium	Erbia	P. T. Cleve	Element.
1879	Holmium	Erbia	P. T. Cleve	Element.
1880	γ_a	Samarskite	J. C. G. de Marignac	Gadolinium after 1886.
1880	γ_β	Samarskite	J. C. G. de Marignac	Samarium.
1884	Columbium	Samarskite	J. L. Smith	Mixture (not niobium).
1884	Rogierium	Samarskite	J. L. Smith	Mixture.
1885	Neodymium	Didymia	C. A. von Welsbach	Element.
1885	Praseodymium	Didymia	C. A. von Welsbach	Element.
1885	Z_a	Terbia	L. de Boisbaudran	Dysprosium.
1885	Z_β	Terbia	L. de Boisbaudran	Terbium.
1886	Z_γ	Terbia	L. de Boisbaudran	Dysprosium.
1886	Z_γ	Terbia	L. de Boisbaudran	Terbium.
1886	S_1	Samaria	E. Demarçay	Possibly ε below.
1886	Dysprosium	Holmia	L. de Boisbaudran	Element.
1886	Austrium	Orthite	E. Linnemann	Impure gallium.
1886	Meta-elements	Various	W. Crookes	<i>Vide supra.</i>
1887	Meta-elements	Various	G. Krüss, etc.	<i>Vide supra.</i>
1887	Russium	Monazite	K. von Chrustchoff	Mixture.
1892	Masrium	Egyptian alum	H. D. Richmond, etc.	Unverified.
1892	Z_e	Samaria	L. de Boisbaudran	Europium.
1892	Z_ζ	Samaria	L. de Boisbaudran	Europium.
1894	Demonium	Yttria	H. E. Rowland	Dysprosium.
1895	Metacerium	Cerite	E. Brauner	Unverified.
1896	Damarium	Monazite	K. Lauer and P. Antsch	Unverified.
1896	ε	Yttria	E. Demarçay	Europium.
1896	Lucium	Yttria	P. Barrière	Mixture.
1896	Kosmium	Yttria	B. Kosmann	Mixture.
1896	Neokosmium	Yttria	B. Kosmann	Mixture.
1897	Glaucodymium	Didymia	K. von Chrustchoff	Unverified.
1898	Monium	Yttria	W. Crookes	Victorium.
1899	Victorium	Yttria	W. Crookes	Mixture.
1900	r	Terbia	E. Demarçay	Terbium.
1900	Δ	Terbia	E. Demarçay	Dysprosium.
1900	n	Yttria	E. Demarçay	Unconfirmed.
1900	o	Yttria	E. Demarçay	Unconfirmed.
1901	Euxenium	Euxenite	K. A. Hofmann, etc.	Unverified.
1904	Carolinium	Thorite	C. Baskerville	Unverified.
1904	Berzelium	Thorite	C. Baskerville	Unverified.
1905	Incognitum	Yttria	W. Crookes	Terbia-gadolinia.
1905	Ionium	Yttria	W. Crookes	Terbia-gadolinia.
1905	Neoytterbium	Ytterbia	G. Urbain	Element.
1905	Lutecium	Ytterbia	G. Urbain	Element.
1907	Aldebaranium	Ytterbia	C. A. von Welsbach	Neoytterbium.
1907	Cassiopëium	Ytterbia	C. A. von Welsbach	Lutecium.
1910	E	Terbia	F. Exner and E. Haschek	Mixture.
1911	Celtium	Gadolinite	G. Urbain	Lutecium.
1912	Tb ₁ , Tb ₂ , Tb ₃	Terbia	C. A. von Welsbach	Unconfirmed.
1916	Denebium	Ytterbia	J. M. Eder	Unconfirmed.
1916	Dubhium	Ytterbia	J. M. Eder	Unconfirmed.
1917	Eurosamarium	Samarskite	J. M. Eder	Unconfirmed.
1920	Welsium	Terbia	J. M. Eder	Unconfirmed.

Fig. 2 - Gli elementi delle terre rare annunciati dal 1794 al 1920 (vedi nota 5).

La rivolta dei mendeleeviani

A queste posizioni si opposero un certo numero di chimici, tra cui ricordiamo soprattutto qui il ceco B. Brauner ed il francese G. Urbain, che potremo definire «mendeleeviani». Penso sia possibile chiamarli così non tanto in quanto essi fossero animati soprattutto dallo scopo di salvare quel che restava dell'ordine realizzato con la sistemazione periodica mendeleeviana (motivazione che certo fu pure presente nell'opera di Brauner). La loro ferma posizione a mio parere si basò essenzialmente sulla volontà di salvaguardare la definizione lavoisieriana classica di elemento chimico, a cui Mendeleev con la sua opera aveva dato più solido fondamento. Secondo tali autori, si poteva operativamente accettare, fino a prova contraria, l'idea che si fosse arrivati ad isolare un elemento solo se, attraverso diverse procedure di purificazione a partire da minerali differenti, si otteneva comunque un qualcosa caratterizzato da un set di proprietà chimiche e fisiche invariati (peso atomico, spettri di vario tipo, suscettibilità magnetica ecc.).

Questa opera di risistemazione del problema delle terre rare si avvale innanzi tutto della relativamente maggiore abbondanza di materiali su cui operare i processi di separazione, che si ebbe negli anni in questione come sottoprodotto delle ricerche minerarie volte alla individuazione di minerali contenenti torio (monazite, samarskite ecc.). L'ossido di torio infatti era un costituente importante per la costruzione delle reticelle per lampade Welsbach, dal nome dell'inventore, Carl Auer von Welsbach, altro personaggio importante nella storia delle terre rare, a cui si deve tra l'altro la separazione del didimio in praseodimio e neodimio (1885).¹⁰

La separazione degli elementi: procedure e risultati

A parte comunque questo miglioramento nella disponibilità del materiale di partenza, essenziale per il successo dell'impresa fu la definizione di un preciso metodo generale di lavoro e l'attenersi con coerenza e chiarezza alla definizione chimica classica di elemento. Tale metodo sistematico fu ricalcato sui procedimenti di distillazione frazionata che proprio in quegli anni soprattutto in Francia iniziavano ad essere messi a punto ad opera di E. Sorel, e altri.¹¹ Non essendo possibile ovviamente utilizzare composti delle terre rare volatili, la separazione si basò su procedure di precipitazione frazionata (con ammoniaca, idros-

¹⁰ C. AUER VON WELSBACK, «Die Zerlegung des Didyms in seine Elemente», *Monatsb.* (1885), 6, 477-491.

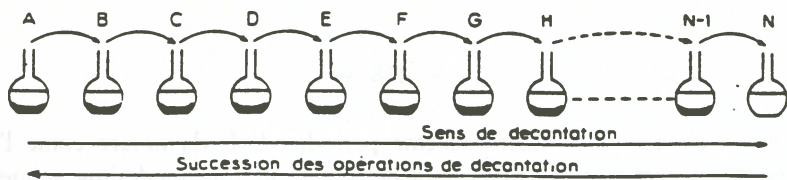
¹¹ Ci limitiamo qui a ricordare i primi lavori di Sorel, pubblicati a partire dal 1889, e precisamente: E. SOREL, «La rectification de l'alcohol», *Compt. Rend.* (1889), 58, 1128-1131, 1204-1207, 1317-1320; *Compt. Rend.* (1894), 68, 1213-1216.

sido di magnesio, anilina in soluzione alcoolica, o anche acido ossalico) o di cristallizzazione frazionata di sali solubili quali i nitrati o gli etilsolfati. Ho citato appena alcuni dei metodi proposti e utilizzati dai vari gruppi di ricercatori operanti nel settore negli anni immediatamente a cavallo tra il XIX e XX secolo (oltre ai gruppi guidati da Urbain, Brauner e von Welsbach citiamo quelli di Hoffmann in Germania, Holmberg in Svezia, James negli Stati Uniti). È importante sottolineare come questa molteplicità di metodi risultò essenziale perché con una sola procedura di frazionamento si poteva arrivare ad una apparente costanza di peso atomico e di proprietà chimico-fisiche, costanza che però si riferiva in quel particolare caso non ad un elemento vero e proprio ma ad una miscela non ulteriormente purificabile con quel metodo. Solo l'uso di più metodi diversi e la messa a comune di dati di vari laboratori permise faticosamente di stabilire quali fossero gli elementi in grado di superare questo vaglio collettivo e poter essere quindi a ragione definiti come tali.

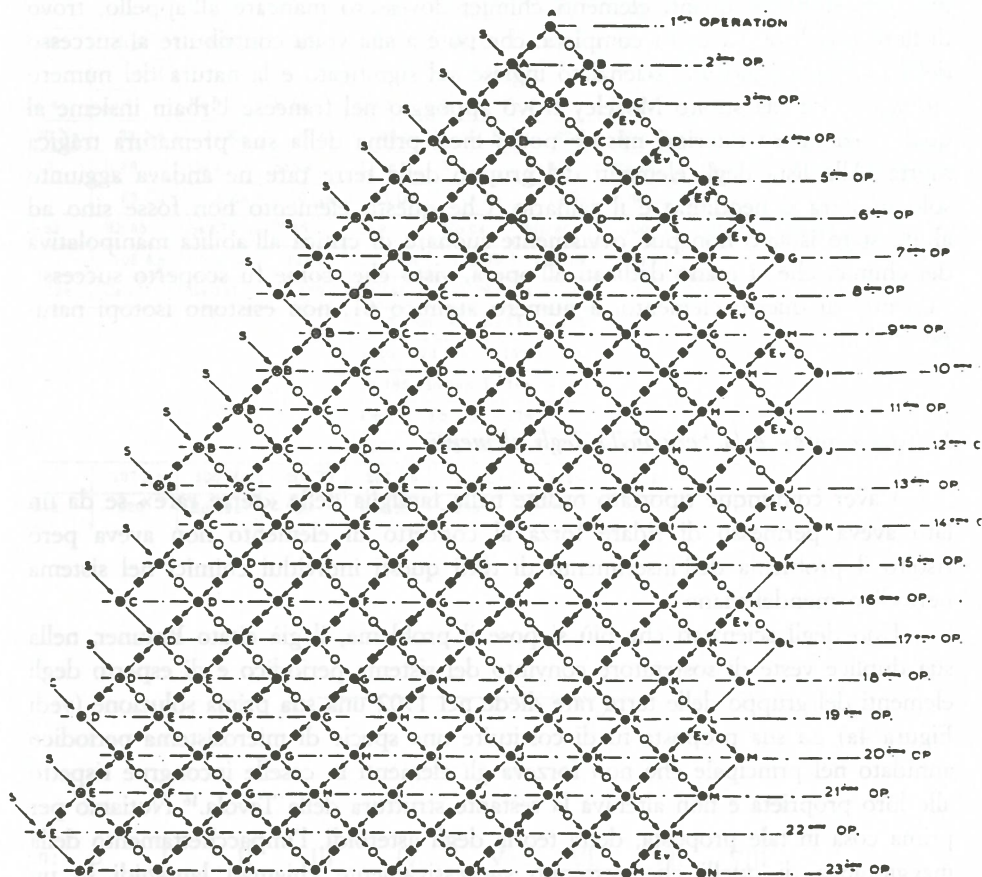
A raccontare così le cose probabilmente non si riesce a dare l'idea del lavoro sperimentale che tutto ciò comportò. In Figura 3 viene schematizzato graficamente in che cosa consisteva il procedimento di cristallizzazione frazionata.¹² Le operazioni richieste erano in sé semplici: si trattava in definitiva di effettuare delle normali attività di laboratorio quali decantare, sciogliere dei cristalli, concentrare a caldo. Il problema era che esse dovevano essere ripetute migliaia di volte per arrivare a qualche risultato. Urbain nei suoi lavori con un pizzico di enfasi parla di 300.000 cristallizzazioni necessarie per separare e purificare gli elementi dall'europio al lutezio, di 800 cristallizzazioni al giorno effettuate in alcuni periodi da lui e dai suoi collaboratori, di 300 beute messe contemporaneamente a scaldare su piastre metalliche. E mano a mano che si separavano le varie frazioni, occorreva testare il peso atomico del presunto elemento, trasformando il sale cristallizzato nel solfato e poi nell'ossido corrispondente, il che comportava tutte le delicate operazioni dell'analisi gravimetrica (precipitazione, lavaggio dei precipitati, essiccamento, pesata ecc.).

Questa ripetitiva, noiosa, certosina opera portò comunque al risultato cercato, vale a dire ad una chiarificazione della situazione nell'ambito delle «terre rare» dopo il terremoto degli anni precedenti. Negli anni che vanno tra il 1900 ed il 1910, in articoli, trattati, relazioni di Commissioni internazionali, poterono con certezza essere elencati 14 elementi dal lantanio al lutezio pienamente corrispondenti nel nome, nel peso atomico e nelle proprietà chimico-fisiche princi-

¹² Lo schema è tratto da P. PASCAL, «Nouveau Traité de Chimie Minérale», Paris, 1959, Vol. VII, pp. 259-260. In tale trattato, temporalmente molto più vicino a noi, veniva tuttavia dato ancora ampio spazio ai metodi di separazione degli elementi delle terre rare messi a punto nei primi anni del nostro secolo, metodi che solo da pochi anni erano stati definitivamente soppiantati dalla cromatografia per scambio ionico.



a)



SCHEMA D'UN DÉBUT DE FRACTIONNEMENT ABOUTISSANT A UNE MISE EN ÉQUILIBRE POUR 9 A 10 FRACTIONS

b)

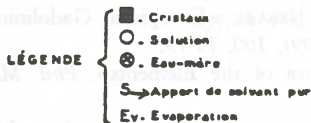


Fig. 3 - Schema delle procedure di cristallizzazione frazionata (vedi nota 12). A partire da un recipiente A contenente cristalli ed una loro soluzione satura, si passava per decantazione la soluzione in un recipiente B sottoponendola poi a concentrazione a caldo. Sui cristalli rimasti in A si poneva del solvente fresco, si scaldava per discioglierli, quindi si raffreddava, ottenendo alla fine due recipienti A e B contenenti entrambi cristalli e soluzione satura. Si continuava il processo in maniera del tutto identica (a) finché i cristalli del recipiente A erano del tutto esauriti, e così pure successivamente i cristalli del recipiente B ecc., mentre comparivano delle nuove frazioni D, E, F, ..., N. Raggiunto l'equilibrio con un numero di frazioni costanti, il recipiente N mandava la sua soluzione sul recipiente (N + 1) e riceveva la soluzione dal recipiente (N - 1). Nella parte inferiore (b) si dà una idea dell'insieme delle operazioni. Occorre sottolineare che ogni operazione veniva compiuta lungo le linee orizzontali.

pali con gli elementi del nostro sistema periodico.¹³ È da notare come l'ordine degli elementi così trovati corrispondesse anche ad una medesima sequenza di alcune proprietà chimiche (basicità, solubilità dei corrispondenti sali ecc.), in quello che venne da Urbain chiamato «l'ordine seriale delle terre rare».

Allorché nel 1914, sulla base delle sue ben note esperienze, Moseley operò una previsione su quanti elementi chimici dovessero mancare all'appello, trovò di fatto una lista già quasi completa, che poté a sua volta contribuire al successo della ipotesi del giovane scienziato inglese sul significato e la natura del numero atomico.¹⁴ Fin da subito Moseley trovò appoggio nel francese Urbain insieme al quale anzi operò ulteriori misure pochi mesi prima della sua prematura tragica morte. Alla lista degli elementi del gruppo delle terre rare ne andava aggiunto solo uno tra il neodimio e il samario. Che questo elemento non fosse sino ad allora stato isolato non può ovviamente suonare di critica all'abilità manipolativa dei chimici che si erano dedicati all'opera, visto che, come fu scoperto successivamente, di questo elemento, a numero atomico 61, non esistono isotopi naturali stabili.¹⁵

Le «terre rare» e la periodicità degli elementi

L'aver comunque riportato ordine nella famiglia delle «terre rare» se da un lato aveva permesso di ridare forza al concetto di elemento non aveva però risolto il problema dell'inserimento di tutti questi individui chimici nel sistema periodico mendeleeviano.

Uno degli scienziati che più si pose il problema, il già citato Brauner, nella sua duplice veste di sostenitore convinto del sistema periodico e di esperto degli elementi del gruppo delle terre rare diede nel 1902 una sua prima soluzione (vedi Figura 4a) La sua proposta fu di costituire una specie di microsistema periodico annidato nel principale che non forzava gli elementi in caselle incongrue rispetto alle loro proprietà e non alterava la restante struttura della Tavola.¹⁶ Notiamo per prima cosa in tale proposta, detta teoria degli asteroidi, l'impacchettamento della maggioranza di quelli che verranno successivamente chiamati lantanidi in un

¹³ Si veda ad esempio l'elenco riportato in G. URBAIN, «Europium, Gadolinium, Terbium, Neoytterbium and Lutecium», *Chem. News* (1909), 100, 73-75.

¹⁴ H.G.J. MOSELEY, «The High-Frequency Spectra of the Elements», *Phil. Mag. S. 6* (1914), 27, 703-713.

¹⁵ Sulla ricerca dell'elemento 61 negli anni che intercorsero tra la pubblicazione delle ricerche di Moseley e il 1948, ricerca in cui fu impegnato tra gli altri anche il gruppo guidato dal fiorentino L. Rolla, si veda M. FONTANI, M.G. COSTA, P. MANZELLI, P. PAPINI, «Storia della scoperta dell'elemento 61», presentato in questo stesso volume, e la bibliografia *ivi* riportata.

¹⁶ B. BRAUNER, «Ueber die Stellung der Elemente der seltenen Erden im Periodischen System von Mendelejeff», *Zeitschr. Anorg. Chemie* (1902), 32, 1-30.

A. Periodisches System der Elemente (volle Gestalt).

Reihe	Gruppe 0	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV	Gruppe V	Gruppe VI	Gruppe VII	Gruppe VIII			
	—	—	—	—	RH ₄	RH ₃	RH ₂	RH	—			
	R	R ₂ O	RO	R ₂ O ₃	RO ₂	R ₂ O ₃	RO ₃	R ₂ O ₇	RO ₄			
1		1 H										
2	He 4	Li 7	Be 9	B 11	C 12	N 14	O 16	F 19				
3	20 Ne	23 Na	24 Mg	27 Al	28 Si	31 P	32 S	35.5 Cl				
4	A 40	K 39	Ca 40	Sc 44	Ti 48	V 51	Cr 52	Mn 55	Fe 56	Co 59	Ni 59	Cu 63
5		63 Cu	65 Zn	70 Ga	72 Ge	75 As	79 Se	80 Br				
6	Kr 82	Rb 85	Sr 87	Y 89	Zr 90	Nb 94	Mo 96	-100	Ru 102	Rh 103	Pd 106	Ag 108
7		108 Ag	112 Cd	114 In	119 Sn	120 Sb	128 Te	127 J				
8	Xe 128	Cs 133	Ba 137	La 139	Ce 140 Pr 141 Nd 144 -145							
					-147 Sm 148 Eu 151 -152							
					-155 Gd 156 -159 -160							
					Tb 163 Ho 165 Er 166 -167							
					Tm 171 Yb 173 -176							
					-178	Ta 182	W 184	-190	Os 191	Ir 193	Pt 195	Au 197
9		197 Au	200 Hg	204 Tl	207 Pb	209 Bi	212-	214-				
10	-218	-220	Rd 225?	-230	Th 233	-235	U 239					

a)

Gruppen:	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	Xe	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
8. Reihe:	128	132,9	137,4	139,0	140,25	140,97	143,9	150,44	151,93
				Gd	Tb	Dy	Er u. seine Bestandteile		
9. Reihe:				157,24	159,2	162,5	164-170		

b)

Fig. 4 - La sistemazione degli elementi delle «terre rare» nella Tavola Periodica secondo B. Brauner: a) nel 1902 (vedi nota 16); b) nel 1906 (vedi nota 18).

casella del 4° gruppo 8° periodo insieme al cerio, ponendo da solo il lantanio nella casella precedente. Poiché per proprietà il cerio sembrava pure collocabile nel 4° gruppo (in mancanza all'epoca del legittimo proprietario, l'hafnio), gli altri elementi del gruppo dovevano comunque seguirlo e non precederlo, stante l'ordine mendeleviano, da rispettare, imposto dal peso atomico. Un'altra caratteristica è la presenza di alcune caselle vuote, ipotizzate per una regolarità o simmetria del tutto e forse anche per un più o meno sensibile scarto in alcune delle proprietà degli elementi effettivamente isolati.

Da alcuni¹⁷ questa proposta è stata vista a posteriori come una previsione dell'elemento 61, con scarso fondamento secondo me tanto più che alcuni anni dopo (vedi Figura 4b) lo stesso Brauner preferì in maniera più mendelevianamente rigorosa provare a porre tutti gli elementi conosciuti della famiglia all'interno delle varie caselle del canonico sistema periodico a 9 colonne (stavolta senza caselle vuote tra neodimio e samario).¹⁸

La proposta di Brauner del 1902 a mio parere può piuttosto in qualche misura ricollegarsi all'ipotesi di tavola periodica avanzata da Werner nel 1905 (Figura 5). Werner si pose il problema di modificare la forma grafica della tavola periodica, aumentando il numero dei gruppi e quindi quello delle colonne, allo scopo di trovare un posto per i metalli delle terre rare e di eliminare analogie forzate tra gli elementi. Sulla base poi di presunte regolarità matematiche nell'aumento medio di peso atomico tra un elemento e l'altro, Werner giunse a lasciare nella sua proposta di tavola periodica oltre a varie altre caselle vuote, lo spazio per due nuovi individui chimici prima del samario.¹⁹

Sicuramente nel senso di un'effettiva previsione sulla base del già ricordato empirico «ordine seriale delle proprietà» è invece un articolo di C. James e altri in cui gli autori studiarono la velocità di idrolisi dei carbonati delle terre rare. Essi notarono come per gli elementi dal praseodimio all'itterbio l'ordine era lo stesso della sequenza di numero atomico e come potesse risultare anche prevedibile l'esistenza di un altro appartenente al gruppo tra il neodimio ed il sama-

¹⁷ Tale affermazione è riportata ad esempio nello «Obituary article» per Bohuslav Brauner pubblicato su *Nature* (1935), 135, 497-498 a firma J.H. e in R.C. VICKERY, «Chemistry of Lantanons», London, 1953, p. 7.

¹⁸ B. BRAUNER, «Atomgewichte der Elemente der Seltenen Erden», in «Abegg's Handbuch der anorganischen Chemie», Bd. III.1, Leipzig, 1906, p. 172.

¹⁹ A. WERNER, «Beitrag zum Ausbau des periodischen Systems», *Ber.* (1905), 38, 914-921. Della tavola di Werner, riportata in Figura 5, desidero evidenziare qui solo ciò che riguarda più strettamente gli elementi del gruppo delle terre rare. Tralascio quindi di soffermarmi su altre pure notevoli peculiarità (ad esempio un periodo di 3 elementi completamente vuoto prima dell'idrogeno, o la presunta esistenza di un elemento tra idrogeno ed elio). Si noti comunque la proposta di inversione dell'ordine di massa atomica sulla base delle proprietà chimiche anche per neodimio e praseodimio.

rio.²⁰ Tale articolo però è del 1921, successivo quindi alla scoperta di Moseley, che viene infatti citata in supporto ai risultati ottenuti e definita «idea derivata dagli studi dei numeri atomici».

Conclusioni

Credo che al di là di previsioni od anticipazioni più o meno fondate di nuovi elementi, il grosso ed incancellabile merito degli scienziati e ricercatori citati sopra e degli altri che con essi collaborarono in questa impresa collettiva fu quello di avere risolto un problema quanto mai complesso sulla base di procedure chimiche delicate e sistematiche e fondandosi su uno dei concetti basilari della Chimica del XIX secolo (la definizione lavoisieriana di elemento). Lo stesso Urbain ricorderà in un suo articolo sul *Chemical Reviews* del 1924,²¹ come la definizione ottocentesca di elemento fosse a quel punto ormai di interesse storico, una volta che gli elementi potevano essere definiti sulla base del numero atomico. Questo è certamente vero ma, se negli anni immediatamente precedenti ai fondamentali articoli di Moseley, la definizione lavoisieriana si apprestava a lasciare la scena, possiamo comunque affermare che, con il successo ottenuto nella risoluzione del problema delle terre rare, essa, se ci passate l'espressione, chiudeva davvero in bellezza.

²⁰ P.H. BRINTON, C. JAMES, «The Rates of Hydrolysis of the Rare Earth Carbonate and the Serial Order of Rare Earth Elements», *Journ. Am. Chem. Soc.* (1921), 43, 1446-1451.

²¹ G. URBAIN, «Twenty-five Years of Research on the Yttrium Earths», *Chem. Rev.* (1924), 1, 143-185.

ANTONINO DRAGO (*)

La incommensurabilità strutturalista della Chimica con la Fisica ()**

On the Structuralist Incommensurability Between Chemistry and Physics.

Summary - The problem of the claimed reduction of classical chemistry to physics is examined in the structuralist literature. Surprisingly enough, it is obtained a negative result, which moreover questions the adequacy of the structuralist approach to such kind of problems. By reformulating structuralism on new bases, a solution favourable to chemists' tradition is obtained. Some suggestions for enhancing this tradition are at last added.

1. Introduzione

Dal 1971 Sneed, al quale si sono aggiunti Stegmüller Balzer e Moulines, ha proposto una nuova interpretazione dei fondamenti della scienza, quella strutturalista. Essa è basata sulla assiomatica, ma opportunamente modificata, e sulla teoria degli insiemi intuitiva (Bourbaki). Il loro fine era di formalizzare l'intera teoria scientifica mediante la matematica e così superare la analisi dei fondamenti della scienza basata sullo studio delle singole affermazioni della scienza («statement view»), per invece riguardarne le strutture (in realtà, solo quelle matematiche). Inizialmente essi hanno attirato una grande attenzione perché sostenevano di aver interpretato la storiografia più suggestiva e intrigante del secolo, quella di Kuhn; e di aver chiarito il suo concetto di incommensurabilità in modo da riportarlo alla razionalità.

Di fatto, da questo programma è risultato un grande lavoro di interpretazione di tante teorie scientifiche (incluse financo la economia, la linguistica e la psicanalisi), così come nessun altro programma di interpretazione dei fondamenti della

(*) Gruppo di Storia della Fisica - Dipartimento di Scienze Fisiche, Università «Federico II» Napoli - adrago@na.infn.it

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

scienza era riuscito ad ottenere (a parte il programma di Hilbert prima della sua caduta a causa del teorema di Goedel; e del programma del Bourbaki, del quale gli strutturalisti in genere si considerano una estensione alle teorie empiriche).

Oggi questo approccio è seguito ad oltranza da un forte gruppo di studiosi, che tra l'altro si collegano ai filosofi analitici e ai riduzionisti in genere. D'altra parte da molti è osteggiato o svalutato, ma standone all'esterno, perché ritenuto troppo complicato, formalista, astratto, viziato dall'uso esclusivo della teoria degli insiemi, deviante. Pochi l'hanno criticato nei suoi meccanismi intellettuali interni, così come mi propongo di fare nel seguito.¹

Ho scelto come caso di studio la chimica per tre ragioni. Primo, la didattica aprioristica della chimica, che da qualche decennio si è instaurata anche a livello di scuola superiore, corrisponde proprio a quell'atteggiamento assiomatico-insiemistico che costituisce il fondamento dello strutturalismo. Secondo, nell'ambito dello studio dei fondamenti della scienza la interpretazione strutturalista della incommensurabilità costituisce per la chimica la minaccia più importante di negarle una autonomia teorica. Terzo, lo studio strutturalista della chimica può fornire gli strumenti per una critica radicale e per una riformulazione dello strutturalismo stesso.²

Già in precedenza ho dato una descrizione sommaria della interpretazione strutturalista,³ che poi ho approfondito.⁴ Qui la espongo sinteticamente con le due tavole seguenti.

¹ Tra i pochi articoli in questo senso, segnalo l'unico in italiano: M. ALAI, «Stegmueller e la struttura delle teorie», *Scientia*, 120 (1985) 91-104 e quello di W. DIEDERICH, «The development of structuralism», *Erkenntnis*, 30 (1986) 363-386.

² In più P.K. FEYERABEND, «Changing Patterns of Reconstruction», *Brit. J. Phil. Sci.*, 28 (1977) 351-369, p. 350, ha notato che un aspetto essenziale della chimica era strutturalista *ante litteram* ed è stato ignorato dalla tradizionale analisi filosofica basata sulle affermazioni: l'insieme delle formule chimiche costituisce una struttura, che descrive i fatti di base della teoria e che non è traducibile immediatamente in affermazioni. Vedremo poi che nello strutturalismo la stechiometria viene interpretata con una struttura detta DSTOI, che ha un ruolo rilevante tra le teorie interpretate dallo strutturalismo perché risulta essere una delle sette teorie base.

³ A. DRAGO, «Il caso della teoria chimica come rivelatore dei limiti della interpretazione strutturalista della scienza», in P. Amat di San Filippo (ed.): *Atti VI Conv. Storia e Fondam. Chimica*, Acc. Naz. Sci. XL, 113, 29, pt. 2 (1995), 269-285. Una presentazione lucida e rapida dello strutturalismo da parte degli strutturalisti è quella di C.U. Moulines nel cap. 1 di W. BALZER, C.U. MOULINES, *Structuralist Theory of Science*, de Gruyter, Berlin, 1993, (nel seguito: STS) pp. 1-13. Una presentazione più estesa, ma sempre contenuta e discorsiva, è quella precedente di W. BALZER, C.U. MOULINES, D. SNEED, *An Architectonics for Science*, Reidel, 1986, (nel seguito: AS), «Overview», pp. xv-xxxii. Ripeterò qui la Tav. 2, già presentata nel precedente articolo, anche perché ho apportato delle leggere modifiche. Sottolineo che essa semplifica la concezione strutturalista, perché se non altro non tiene conto dei vincoli e dei legami interteorici; inoltre il predicato empirico è più complesso di quello scritto qui. Ma ciò non avrà importanza in seguito per discutere il tema.

⁴ «Il programma strutturalista esaminato mediante il caso di studio della termodinamica», in P. TUCCI (ed.): *Atti XVI Conv. Naz. Storia Fisica e dell'Astronomia*, Milano, 1997, 361-382;

Tav. 1 - *Caratterizzazioni della interpretazione strutturalista.*

<i>Logica</i>	Logica classica, assiomatica di Suppes
<i>Matematica</i>	Matematica classica, teoria degli insiemi (Bourbaki)
<i>Rapporto Matem. e Fis.</i>	Riedizione della Fisica-Matematica
<i>Fisica teorica</i>	Ogni principio isolatamente, come nelle teorie variazionali
<i>Fisica sperimentale</i>	Sussunta nelle applicazioni intese
<i>Storia della Scienza</i>	Kuhniani, ma con un diverso concetto di incommensurabilità
<i>Filosofia della Scienza</i>	Realismo matematico (= Platonismo), termini teorici
<i>Metodologia della scienza</i>	Metodo analitico che interpreta il metodo sintetico ⁵

Ritengo che il programma strutturalista per una interpretazione non più basata sulle affermazioni verbali, benché sia molto discutibile, dia un valido contributo all'avanzamento dello studio sui fondamenti della scienza, per almeno i quattro seguenti motivi:

i) ha compiuto un passo irreversibile nella filosofia della scienza; ha dimostrato che è possibile studiare la scienza in maniera più precisa che con delle categorie filosofiche espresse a parole, il significato delle quali può essere allargato a seconda delle varie situazioni. Oggi *la speranza di chiarire quali strutture costituiscano i fondamenti della scienza* non può più essere affidata a qualche idea creativa, ma deve basarsi sulla *capacità di riconoscere alcune caratteristiche precise della scienza.*

ii) Implicitamente *ha sottolineato la grande rilevanza, per la filosofia della scienza, del rapporto fisica-matematica*, in quanto questo costituisce una parte cruciale di una teoria fisica. Notiamo che tutte le interpretazioni di Kuhn, Feysabend e dei precedenti filosofi della scienza — eccetto quella raramente ricordata di A. Koyré — non danno grande rilevanza alla matematica della fisica teorica.

«The Challenge represented by the Structuralist Interpretation of Scientific Theories», comunicazione alla *Third Conference on Analytic Philosophy*, Monaco, 1997, pp. 1-14.

⁵ Una precisazione di questa caratterizzazione, che è molto rilevante in generale, richiederebbe molto spazio. Rimando il lettore interessato allo scritto precedente e a: «The process of induction as a non-classical logic's double negation: evidence from classical scientific theories», *Mathware and soft computing*, 3 (1996) 295-308.

Tav. 2 — *Rappresentazione delle teorie scientifiche secondo la concezione strutturalista.*

TEORIA-ELEMENTO: è il primo costrutto teorico riferibile autonomamente alle applicazioni:

meccanica della particella, legge di Hooke, legge del pendolo, gravitazione, ecc.; formalmente, $T \equiv \langle K, I \rangle$, dove

K = nucleo

I = l'insieme delle applicazioni (N.B. La teoria descrive le applicazioni come sua parte essenziale!)

(K) contiene M_p = l'insieme dei modelli possibili dello schema concettuale della teoria.

M = l'insieme dei modelli effettivi, che includono le leggi della teoria.

$M_{pp} = r_p[M_p]$ = l'insieme dei modelli possibili parziali (cioè M_p senza i termini teorici); rappresenta il contenuto empirico della teoria.

(I) l'insieme delle applicazioni intenzionali (non completamente formalizzabili)



$$T = (I \in M_{pp})$$

PRETESA EMPIRICA DI UNA TEORIA: c'è un predicato per cui si afferma che l'insieme delle applicazioni I è incluso da K , in particolare dai modelli x di M_{pp} .

(KUHN: Lo studente studia casi teorici M_{pp} e ci fa esercizi, per giungere a M_p . Lo scienziato creativo trova un modello di M_p sulla base di una situazione non teorica che corrisponde a M_{pp}).

UNA RETE DI TEORIE-ELEMENTI (ottenuta mediante le relazioni di specializzazione, riduzione, approssimazione, ecc.) dà una teoria usuale.

RAPPORTI INTRATEORIE: rappresenta la dinamica storica delle teorie (due teorie possono essere riducibili tra loro anche se sono incommensurabili!).

RISULTATI DEGLI STRUTTURALISTI: fisica classica, chimica, Jacobson, Marx, Freud.

iii) Accettando che il teorema di Goedel esclude la assiomatizzazione completa di una teoria (matematica), essa *propone una nuova assiomatica che esce dall'ideale aristotelico della organizzazione deduttiva di una teoria scientifica*.

iv) Inoltre *lascia alle spalle l'atteggiamento positivista di trascurare i termini teorici* (che, detto intuitivamente, sono quei termini di una teoria che non possono essere ridotti alle nozioni sperimentali). Lo strutturalismo ha sottolineato la loro importanza, facendo vedere che il problema di definirli con precisione è molto difficile.

Qui voglio completare la discussione del precedente lavoro sulla chimica affrontando specificamente il tema della incommensurabilità delle teorie secondo gli strutturalisti; in particolare, la incommensurabilità della chimica rispetto alle altre teorie. Prima cercherò di precisare questo concetto secondo gli strutturalisti e la discussione avvenuta su di esso. Poi, a partire dal caso della interpretazione strutturalista della chimica, definirò delle strutture fondazionali più adeguate di quelle bourbakiste. Per infine giungere a delle mie conclusioni sulla incommensurabilità della chimica rispetto ad altre teorie, in particolare la meccanica quantistica.

2. *La interpretazione dell'incommensurabilità da parte di Stegmüller*

Nel 1949 Nagel⁶ ha proposto un concetto di riduzione tra due teorie secondo il quale una teoria T è riducibile ad un'altra teoria T' se tra esse c'è connettività e deducibilità. Poi Adams⁷ ha precisato che i concetti di T debbono essere definibili in termini di T' e che le leggi di T debbono essere derivabili da quelle di T'. Ma le proposte di applicazione di questo concetto (ad es. la proposta di ridurre la termodinamica alla meccanica statistica) ha portato ad una serie di critiche e di controcritiche, le quali hanno reso il concetto molto controverso.

Tra gli strutturalisti W. Stegmüller ha ripreso il tema, pretendendo di risolvere quello che era il principale punto di scontro nel dibattito sulla storiografia di Kuhn: la incommensurabilità tra due paradigmi successivi; per cui questi non potrebbero essere comparati con gli standard usuali (deduzione delle proposizioni di una teoria da quelle dell'altra, o delle loro traduzioni), perché i concetti basilari cambierebbero di significato e quindi questi cambiamenti renderebbero impossibile un legame logico tra le due teorie.

⁶ E. NAGEL, «The meaning of reduction in natural sciences», in R.C. Stauffer (ed.), *Science and Civilization*, U. Wisconsin P., Madison, 1949, 99-145; *La struttura della scienza* (1961), Feltrinelli, 1968, cap. XI.

⁷ E. ADAMS, «The foundations of rigid bodies mechanics», in L. Henkin, P.C. Suppes, A. Tarski (eds.), *The Axiomatic Method in Science*, North-Holland (1959) 250-265.

Secondo molti, dal concetto kuhniano deriverebbe una irrazionalità dell'evoluzione della scienza: questa, in una rivoluzione subirebbe dei mutamenti così radicali (Gestaltici) che nemmeno la comunità degli scienziati ne sarebbe cosciente né li saprebbe rappresentare in maniera obiettiva; il che significa ammettere l'irrazionalismo nella storia della scienza e in definitiva nella scienza stessa. Lo scopo di Stegmüller era di dimostrare che la storiografia di Kuhn era invece razionalizzabile mediante la interpretazione strutturalista delle teorie; perché quest'ultima ha il vantaggio sul passato di utilizzare: *modelli*, che sono costrutti globali, formati da insiemi e relazioni solo matematiche, invece che *aspetti puntuali* della teoria, cioè proposizioni per di più espresse verbalmente, le quali, se anche legate tra loro deduttivamente, possono essere più o meno dipendenti dal contesto teorico globale.⁸

Per Stegmüller la incommensurabilità tra teorie scientifiche vale anche nella interpretazione strutturalista, quando le due teorie T e T' hanno nuclei, K e K' , che non sono deducibili l'uno dall'altro. Ma egli ha sostenuto che Kuhn ha disgiunto completamente le due teorie perché si basava su concetti espressi linguisticamente (perciò le argomentazioni di Kuhn sarebbero andate a formare un «joke».)⁹ Quando invece si riportasse ogni teoria, così come fa lui, ad una ben precisa struttura matematica, anche due teorie, che sono incommensurabili perché non hanno tra loro un legame logico, diventerebbero riducibili l'una all'altra secondo opportuni criteri matematici.

Di fatto questa tesi è suggerita dalla base matematica dello strutturalismo, la teoria degli insiemi, che vede omeomorfismi e funzioni tra tutti i tipi di strutture matematizzate; infatti il concetto di riducibilità strutturalista tra due teorie postula essenzialmente una funzione matematica ρ che lega i modelli potenziali e le applicazioni intese della teoria riducente T' a quelli della teoria ridotta T . Per dire un po' meglio, la riducibilità richiede opportuni criteri di collegamento matematico tra M_p e $M_{p'}$ (in questo caso, una funzione ρ tra un sottinsieme di M_p e l'insieme $M_{p'}$), M e M' (qui, la deducibilità delle leggi di M da quelle di M' attraverso ρ , che non deve appartenere ad M), tra M_{pp} e $M_{pp'}$ (inclusione propria del primo insieme nel secondo), tra I e I' (inclusione del primo nel secondo), tra i due insiemi dei vincoli (idem) e tra i due insiemi dei legami interteorici (idem), verificando che le funzioni per la eliminabilità dei termini teorici siano in relazione tra loro attraverso ρ .

La tav. 3, che illustra questa relazione in maniera intuitiva, rende evidente il progetto strutturalista: siccome la relazione di specializzazione collega ogni

⁸ W. STEGMÜLLER, *The Structure and Dynamics of Theories*, Springer, Berlin, 1976 (è la parte I del II vol. di *Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie*, Springer, Berlin, 1973); *The Structuralist View of Theories*, Springer, Berlin, 1979, p. 68, 69; «Was ist inkommensurabilitaet?», *Kant-Studien*, 76 (1985) 169-213.

⁹ W. STEGMÜLLER, *The Structure ...*, op. cit., p. 216.

Tav. 3 - Relazioni di specializzazione e di riduzione tra due teorie.

RELAZIONE	SPECIALIZZAZIONE	RIDUZIONE
Modelli potenziali	$M_p = M_p'$	$M_p = \rho(M_p^{\circ'})$ ($M_p^{\circ'} \subset M_p'$)
Modelli attuali	$M \subseteq M'$	$M \leftarrow \rho(M')$
Modelli potenziali parziali	$M_{pp} = M_{pp}'$	$M_{pp} \subseteq \rho(M_{pp}')$
Applicazioni intense	$I \subseteq I'$	$I \subseteq \rho(I')$
Vincoli	$C \subseteq C'$	$C \subset \rho(C')$
Legami interteorici	$L \subseteq L'$	$L \subset \rho(L')$
Eliminazione termini teor.		$r(M_p) = \rho(r'(M_p'))$

N.B. Nella seconda colonna la funzione ρ viene intesa limitata dal codominio su T.

teoria-elemento con ogni altra teoria-elemento di una teoria intuitivamente intesa (ad es., la teoria-elemento di $f=ma$ si specializza nella teoria-elemento della legge di Hooke), allora è sperabile che pur di complessificare la relazione, introducendovi una funzione, si riesca con essa a collegare ogni coppia di teorie scientifiche, anche se incommensurabili (purché abbiano campi di applicazione comparabili). Nella tavola, per un utile confronto, premetto la relazione di specializzazione, la più usuale (quella che vale tra teorie-elementi di una stessa teoria intuitivamente intesa). Per completezza aggiungo le indicazioni sui vincoli e sui termini interteorici.

Si noti che questo concetto di riduzione è di importanza cruciale per gli strutturalisti: se le teorie incommensurabili non fossero riducibili tra loro, allora le relazioni tra le diverse teorie non darebbero più la intera storia delle teorie fisiche, ma solo quella interna a gruppi di teorie, i quali formerebbero delle isole temporali separate, del tutto inadeguate a recuperare una interpretazione della storia della scienza. Per questo motivo Stegmüller ha subito lanciato la tesi della riducibilità di ogni coppia di teorie incommensurabili, tesi che era molto importante per un neonato strutturalismo che ambiziosamente voleva includere tutta la storia della scienza, confrontarsi con la storiografia più importante del momento (Kuhn) e apportarvi un suo avanzamento decisivo come prova finale della sua progressività.

Così la storia della scienza tornerebbe ad essere una impresa del tutto razionale: anche cambiamenti storici rivoluzionari darebbero luogo ad una comparabilità matematica razionale (riduzione strutturalista) e così determinerebbero un preciso progresso delle teorie della scienza. Di conseguenza, lo strutturalismo andrebbe a confermare l'opinione dominante (dei fisici in particolare e della didattica della fisica) secondo la quale ogni nuova teoria scientifica o soppianta la precedente, o la include come suo caso particolare su un sottogruppo di feno-

meni secondo un opportuno adattamento dei parametri matematici (ad es.: la relatività ristretta includerebbe la meccanica classica quando si può considerare $c = \infty$) e in particolare l'opinione comune per cui la chimica classica sarebbe ridicibile alla meccanica quantistica.

Le affermazioni di Stegmüller sono state criticate secondo tre possibilità: a) (Feyerabend) la interpretazione strutturalista di una teoria è meno efficace della tradizionale interpretazione della scienza, quella mediante un insieme di affermazioni; b) (Kuhn e Feyerabend) il concetto di riduzione strutturalista non è adeguato allo scopo; c) (Pearce) questo concetto dà un legame troppo forte.

Cominciamo da Kuhn. Egli si è sempre difeso dai suoi oppositori, dicendo che la incommensurabilità dei paradigmi non comporta la intraducibilità o la incomparabilità, ma la mancanza di metri di paragone comuni tra due teorie e, in definitiva, di un linguaggio comune; il che non significa che non si possa trovare una comunicazione almeno parziale. Per rispondere a Stegmüller, Kuhn ha scritto un importante articolo, nel quale si è distaccato nettamente dalla di lui interpretazione dell'incommensurabilità (pur dichiarando, sorprendentemente di riconoscersi nel programma strutturalista).¹⁰ È da notare che per ribattere il concetto di incommensurabilità di Stegmüller, Kuhn ha proposto l'esempio del passaggio storico dalla chimica del 1700 a quella di Lavoisier, che si affermò nel 1800; egli sostiene che in questo caso storico è evidente che la incommensurabilità non comporta solo una incompatibilità punto per punto (cioè sui singoli concetti che possono cambiare significato) tra le due teorie, ma di tutto il linguaggio utilizzato; perciò non c'è possibilità di una riduzione strutturalista della vecchia teoria alla nuova: a causa della differenza tra i linguaggi delle due teorie, i loro termini di base hanno dei significati completamente scorrelati (qualitativi i primi, costitutivi i secondi); e quindi M_{pp} non può essere messo in relazione con M_{pp}' . Quindi per Kuhn il contrasto tra paradigmi è radicale; ma nonostante ciò, per lui chiaramente esiste un modo di comunicare tra i due paradigmi cosicché si può ottenere una traduzione (così come fa uno storico moderno che studia ad es. il sistema tolemaico), senza bisogno di affidarsi alle sole strutture matematiche dello strutturalismo. Anche perché il concetto di riduzione di Stegmüller gli sembra circolare, se non altro perché dovrebbe basarsi su una precisa inclusione tra i due insiemi delle applicazioni intese I e I' delle due teorie, i quali insiemi però non sono formalizzabili esattamente.

L'altro epistemologo che aveva introdotto il concetto di incommensurabilità, Feyerabend, ha risposto con una dettagliata analisi critica dello strutturalismo e

¹⁰ T.S. KUHN, «Theory-change as structure change: Comments to Sneed's formalism», in M.E. Butts, J. Hintikka (eds.), *Historical and Philosophical Dimensions of Logic, Methodology and Philosophy of Science*, Reidel, 1977, 289-309. In questo lavoro Kuhn ammonisce giustamente: «Coloro che pensano che non sia legittimo studiare la struttura logica delle teorie scientifiche per mezzo della teoria degli insiemi [cioè, quello che fanno gli strutturalisti], ora sono sfidati a produrre risultati simili in un'altra maniera» (p. 290).

della sua pretesa interpretazione del concetto di incommensurabilità (quello suo e quello di Kuhn).¹¹ Egli ha imputato a Stegmüller di aver ridotto quel concetto ad una sola conseguenza, cioè le variazioni radicali dei significati dei concetti base delle due teorie, senza aver tenuto conto delle due caratteristiche precipue che Kuhn aggiunge (le quali sono: le variazioni del punto di vista, cioè le percezioni differenti della realtà; e i metodi differenti); e che rendono le teorie definitivamente disgiunte logicamente e non comparabili con i metodi standard. Per di più Stegmüller non avrebbe tenuto conto che la incommensurabilità, secondo Feyerabend, equivale alla sola disgiunzione deduttiva; dalla quale, anche per quest'ultimo non deriva affatto la incomparabilità dei due paradigmi; essi possono essere comparati con criteri o formali (as es. la linearità di una teoria rispetto alla non linearità di un'altra) o informali (ad es. la conformità a precedenti teorie fondamentali); ma sempre discutibili e soggettivi; mentre invece non c'è una comparabilità con criteri oggettivi e razionali sui contenuti. Quindi per Feyerabend il concetto di riduzione dato da Stegmüller è semplicemente una delle comparabilità possibili, ma senza che questa possa pretendere di essere oggettiva e per di più senza includere quella contrapposizione («rivalry», p. 367) che è caratteristica della incommensurabilità di due teorie (altrimenti l'elettrostatica, che è riducibile alla idrodinamica generale, secondo gli strutturalisti le sarebbe incommensurabile).

3. *L'incommensurabilità secondo gli attuali strutturalisti*

Le critiche di Kuhn e di Feyerabend hanno colpito nel segno. Infatti poi nel libro *AS*, dove gli strutturalisti hanno raccolto la moltitudine di loro lavori in una agile «summa», sistematica e coerente, il tema della incommensurabilità viene affrontato in maniera modesta e senza pretesa di darne una interpretazione definitiva (*AS*, pp. 313-320, in particolare p. 315); dicono di non voler impegnarsi in una lunga discussione su quello che da loro è considerato il linguaggio non matematico di una teoria (incommensurabilità, variazioni radicali di significato, ecc.), linguaggio che Sneed voleva eliminare definitivamente, per restare con le sole strutture matematiche.¹²

¹¹ P.K. FEYERABEND, *op. cit.* Un testo in italiano che riassume questa prima polemica è il valido articolo di M. ALAI, *op. cit.* Un'altra opposizione rilevante è quella di Pearce, alla quale ha cercato di rispondere W. BALZER, «Incommensurability, reduction and translation», *Erkenntnis*, 23 (1985) 255-267. Il libro di D. PEARCE, *Roads to Commensurability*, Reidel, 1987, ha proposto una variante allo strutturalismo, che però non ha avuto seguito. Una critica radicale ed estesa al concetto strutturalista di riduzione è quella di H. ROTT, «Reduction: Some criteria and criticism of the structuralist concept», *Erkenntnis*, 27 (1987) 231-257.

¹² Anche Stegmüller, recensendo quest'opera (*Erkenntnis*, 33 (1990) 339-410) commenta queste pagine sorvolandoci e svuotando di importanza anche quel poco che *AS* conclude.

Nell'ultimo libro, *STS*, c'è un capitolo sulla tematica della storiografia di Kuhn, ma si dedicano solo 25 righe alla incommensurabilità.¹³ L'autore prima ammette che lo strutturalismo non può parlare della caratteristica più suggestiva della incommensurabilità, le variazioni radicali di significato; ma invece di considerare questo fatto come una insufficienza, curiosamente lo chiama un «aggiornamento» («circumvention», p. 80) del problema da parte dello strutturalismo. Poi esprime delle idee che egli ammette che non sempre funzionano, anche se si indicano dei possibili rimedi. Infine conclude con dei suggerimenti filosofici sul tema, i quali al più possono essere considerate come un progetto di ricerca sul tema.

Di fatto questo scritto dimostra che dopo la critica di Feyerabend il discorso è avanzato di poco. Resta un grosso problema non risolto: c'è un accordo generale nel giudicare incommensurabili alcune coppie di teorie, senza che questo fatto escluda la loro comparabilità: la quale comparabilità da Feyerabend e Kuhn è intesa in senso debole (ma includendovi la contrapposizione delle teorie); mentre per il programma degli strutturalisti potrebbe essere tradotta in una traducibilità matematica; cioè in una proprietà in senso forte, tanto da sminuire l'importanza della stessa incommensurabilità. Gli strutturalisti si sono assunti l'onere della prova, ma ancora non l'hanno fornita.

4. *L'interpretazione strutturalista della chimica classica e la sua riducibilità alla fisica*

Passiamo ora a studiare questa tematica su un preciso caso di studio. Il caso principale che viene indicato da Kuhn e Feyerabend riguarda le teorie più note a tutti e alle quali anche *AS* dedica molta attenzione: è quello dell'incommensurabilità tra meccanica classica e relatività ristretta. Ma per i motivi detti nella introduzione preferisco rivolgermi alla incommensurabilità tra la chimica e la meccanica (classica e) quantistica.

La difficoltà degli strutturalisti nel precisare il concetto di riduzione tra teorie incommensurabili si nota anche nell'unica interpretazione da loro finora fornita della chimica classica.¹⁴ In effetti gli autori di quest'interpretazione dichiarano subito che essi non vogliono discutere una riduzione strutturalista, «benché questa [discussione] può portare a interessanti idee nuove» (p. 387). Però essi poi ne trattano. Per loro «la concezione 'chimica' si distingue dalla

¹³ W. DIEDERICH, «Pragmatics and Diachronic Aspects of Structuralism», *STS*, 75-82. Si noti che il titolo stesso non accenna a nessuna polemica né pretende di portare innovazioni.

¹⁴ Ho già riportato questa interpretazione nel precedente lavoro, al quale rimando il lettore. A. DRAGO, «Il caso della chimica classica...», *op. cit.* L'interpretazione strutturalista è data da H. HETTEMA, T.A.F. KUIPER, «The periodic table - Its status, formalism, and relation to atomic theory», *Erkenntnis*, 28 (1988) 387-408.

concezione 'fisica' in quanto spiega principalmente il ruolo degli atomi nelle molecole» (p. 401). Poi notano che queste due concezioni danno luogo alle stesse strutture matematiche (modelli potenziali), ma hanno termini importanti che cambiano di significato: ad es., la similitudine chimica, indicata con il simbolo \sim , nel primo caso riguarda la valenza, nell'altro la configurazione elettronica. Notiamo che, come si diceva in precedenza, questa situazione pone un serio problema allo strutturalismo: non è possibile trovare una funzione matematica che traduca queste variazioni di significato; quindi o si nega la applicabilità del concetto di riduzione strutturalista a questo caso di studio (che però è uno dei più noti e dei più semplici da discutere), oppure si innova il concetto di riduzione strutturalista. Gli autori seguono la seconda alternativa, proponendo però alla fine una definizione solo filosofica, che non ha relazioni evidenti con lo strutturalismo.

Forse perché questo risultato era prevedibile in partenza, il libro base degli strutturalisti aveva presentato la chimica come teoria fondamentale ma solo per la parte della stechiometria (*AS*, pp. 108-127). Questa interpretazione, chiamata DSTOI, ha strutture matematiche differenti da quelle dell'interpretazione detta prima, riguardando esse pesi (dei reagenti e dei composti), formule delle molecole, coefficienti nelle reazioni chimiche. Di fatto non c'è relazione logica tra DSTOI e la interpretazione detta prima; né c'è relazione di omeomorfismo possibile, essendoci solo un collegamento tra la formula elementare $E(n)$ che è riferita alle sostanze chimiche elementari e il numero atomico $z(e)$.

Quindi il risultato finale delle due interpretazioni strutturaliste della chimica è che esse risultano disgiunte là dove tutti ci vedono un collegamento storico e concettuale, in quanto sono teorie appartenenti ad uno stesso dominio scientifico; e, d'altra parte, nel caso tanto discusso di riducibilità della chimica alla fisica, la interpretazione strutturalista della tabella di Mendeleieff propone un concetto di riduzione che è ben difficile considerarlo come una innovazione del concetto strutturalista.

Forse una via d'uscita da questo vicolo cieco potrebbe essere l'interpretare la tabella di Mendeleieff così come essa è stata tradotta modernamente: come struttura invariante ad un gruppo di simmetria (indipendentemente dal fatto che questo gruppo viene ottenuto sulla base dell'atomo di Bohr, il che di per sé coinvolgerebbe la interpretazione fisica della tabella stessa). Ma lo strutturalismo ha grandi difficoltà a interpretare questo tipo di teoria matematica.¹⁵ Il che non lascia molte speranze alla interpretazione strutturalista del nostro caso storico.

¹⁵ Si vedano ad es. le considerazioni iniziali dell'articolo di F. MUELHOELZER, «Symmetry and Invariance», *STS*, 219-232, p. 219.

5. *La incommensurabilità andando oltre lo strutturalismo*

Piuttosto che cercare una nuova sofisticazione dello schema strutturalista (v. ad es. Pearce e Rantala)¹⁶ si può abbandonare quanto dell'atteggiamento strutturalista appare caduco; e cioè non proporre più come fondamento della interpretazione quello che veniva considerato come il formalismo più avanzato dei fondamenti della matematica, la teoria degli insiemi; ma ammettere ogni tipo di matematica, compresa quella costruttiva, che nel passato era la matematica semplice ed operativa; inoltre, non pretendere di ottenere qualcosa che assomigli ad un'assiomatica, comunque essa appaia distorta, né considerare solo la logica classica.

Questo corrisponde a riconoscere due opzioni nei fondamenti della teoria scientifica: la opzione tra matematica con l'infinito in atto, IA (così come è la teoria degli insiemi, v. ad es. l'assioma di Zermelo); o la matematica con il solo infinito potenziale, IP (così come è la matematica costruttiva); inoltre la opzione tra una organizzazione tutta deduttiva fino ad essere assiomatica, OA, secondo la logica classica (così com'è la teoria degli insiemi); oppure una organizzazione basata su un problema universale, OP, per il quale si cerca euristicamente, con la logica non classica, un nuovo metodo scientifico di soluzione.

Appare allora che ci sono delle strutture nei fondamenti di una teoria scientifica, ma esse non sono prefissate in un particolare tipo di matematica né in un particolare tipo di logica. Come conseguenza particolare il «predicato di empiricità della teoria» qui cambia di significato, andando ora a esprimere non la empiricità generica ma il problema specifico della teoria. Inoltre il concetto di «termine teorico» viene ridefinito come conseguente alle scelte fondamentali IA o OA, il cui idealismo è sorgente di termini non sperimentali. Infine non c'è un'unica modellizzazione dei fondamenti di una teoria scientifica, ma essa può variare a seconda delle diverse formulazioni di una teoria.

La differenza tra le scelte fondamentali comporta uno specifico e preciso concetto di incommensurabilità, che non implica né incomunicabilità né intraducibilità; d'altra parte non ammette una relazione matematica (omeomorfismo) tra le due teorie se non di tipo degenerare: passaggio al limite, coniugazione complessa.¹⁷

Quanto sopra dà una nuova caratterizzazione «strutturale» della chimica secondo queste nuove categorie. Le scelte fondamentali della chimica sono: invece dell'assiomatica, una organizzazione delle sue leggi finalizzata a risolvere

¹⁶ D. PEARCE, *op. cit.*, V. RANTALA, «Logical properties of structuralistic concept of reduction», *Erkenntnis*, 18 (1982) 307-333.

¹⁷ Lo si può vedere bene nel caso delle geometrie non euclidee. A. DRAGO e G. SORRENTINO, «Caratterizzazione delle geometrie non euclidee secondo i quattro modelli di teoria scientifica», *Atti Fond. Ronchi*, in stampa. Sul nuovo concetto di incommensurabilità si veda A. DRAGO, «An effective definition of incommensurability», *VIII LMPS*, Moscow, 1987, 4, pt.1, 159-162 (riassunto) e in C. CELLUCCI et alii (eds.), *Temi e prospettive della logica e della filosofia della scienza contemporanea*, CLUEB, 1988, vol. II, 117-120.

un suo problema universale (che è quello di chi sono e quanti sono gli atomi); e invece dell'analisi una matematica elementare. In definitiva: OP e IP, cioè quelle scelte che l'accomunano con la termodinamica di S. Carnot.

6. *Applicazione del nuovo concetto di incommensurabilità al rapporto tra la chimica classica e la meccanica quantistica: paradossi e suggerimenti*

Allora la chimica classica, che è IP e OP, appare essere incommensurabile con molte teorie fisiche, sicuramente con la meccanica newtoniana, che è IA e OA.¹⁸ Lo è anche con la meccanica quantistica, ma per la parte della equazione di Schroedinger, che ha scelte IA e OA; non lo è invece per la parte della teoria della misura quantistica, per la quale vale il principio di indeterminazione (com'è noto l'antinomia di von Neumann pone in contrasto irresolubile queste due parti della teoria), la quale ha le scelte IP (o per lo meno non si impegna su IA) e OP.¹⁹

A causa della duplicità delle coppie delle scelte fondamentali in meccanica quantistica, abbiamo ottenuto un risultato ambiguo; avrebbe ragione chi considera incommensurabile la chimica con la meccanica quantistica, sottintendendo che quest'ultima sia rappresentata al meglio dalla equazione di Schroedinger, che è IA e OA; ma avrebbe ragione anche chi include la chimica nella meccanica quantistica, caratterizzando quest'ultima soprattutto con le scelte IP e OP delle relazioni di indeterminazione (e magari della meccanica delle matrici di Heisenberg).

Ma questo risultato appare anche paradossale rispetto all'opinione comune dei chimici riduzionisti, i quali credono nello schema opposto: includere la chimica nella equazione di Schroedinger e considerarla estranea, disgiunta dalle relazioni di indeterminazione. Ora, secondo le scelte fondamentali, questo secondo schema interpretativo vale quando alla chimica attribuiamo almeno la scelta OA (e in più consideriamo, alla maniera popolare scorretta, la sua matematica IP come inclusa nell'IA). E in effetti la OA è quell'organizzazione di tipo assiomatico che da vari decenni ha anche prevalso tra i chimici che insegnano la loro teoria. Questa è una deformazione culturale, sopravvenuta per adeguarsi al dominio culturale dell'organizzazione OA della teoria scientifica nelle principali teorie matematiche e fisiche. (Anche le due interpretazioni strutturaliste precedenti della chimica ne deformano profondamente la tradizione culturale, trattandola come una teoria assiomatica, deducibile da pochi concetti matematici;

¹⁸ A. DRAGO: «A Characterization of Newtonian Paradigm», in P.B. Scheurer, G. Debrock (eds.), *Newton's Scientific and Philosophical Legacy*, Kluwer Acad. P., 1988, 239-252.

¹⁹ A. DRAGO, «Alle origini della meccanica quantistica: le sue opzioni fondamentali», in G. Cattaneo, A. Rossi (eds.), *I fondamenti della meccanica quantistica. Analisi storica e problemi aperti*, Editel, Cosenza, 1991, 59-79. «Dualism and incompleteness of quantum mechanics. Towards new consistent theories», in C. Garola, A. Rossi (eds.), *The Foundations of Quantum mechanics*, Kluwer A.P., 1995, 213-227.

addirittura nella prima interpretazione si blocca il numero degli elementi, al fine di sopprimere ogni problematicità ed euristica). In definitiva, le resistenze dei chimici all'idea di riduzione della chimica classica alla fisica vengono minate alla base dal diffuso modo «moderno» di concepire la chimica come teoria deduttiva dal modello atomico.

Allora, la difesa della identità culturale autonoma della chimica incomincia dall'opporci alla colonizzazione culturale dello schema deduttivo OA, il quale fa considerare una teoria come già conclusa; per invece mantenere lo schema culturale connesso alla OP; il quale storicamente significa lo schema culturale tipico della chimica dell'800, cioè di una teoria come processo di indagine teorica basata su un problema di cui si cerca un nuovo metodo scientifico di soluzione. Questa difesa comincia e si decide sin dalla didattica della chimica, nella scuola superiore e nell'università.

Inoltre questa difesa continua collegandosi alle analoghe battaglie culturali compiute da quella teoria fisica che appartiene al suo stesso modello di teoria scientifica, la termodinamica; ma, si noti che occorre riferirsi propriamente non alla termodinamica completata modernamente da Clausius e Kelvin, che è OA e IP, ma alla termodinamica originaria di S. Carnot, che è OP e IP; e che, essendo stata concepita sulla base del calorico, è da riformulare in termini moderni; ad es. così come l'ha riformulata Broensted.²⁰

Infine, per trasformare la difesa in proposta alternativa, occorre considerare le teorie scientifiche in senso veramente moderno. Prima di tutte, notiamo che la chimica classica già da due secoli ha suggerito alla scienza che si può ragionare scientificamente con la logica non classica (proprio quella che poi è stata scoperta sessant'anni fa in quella meccanica quantistica, che invece le viene presentata come contrapposta). L'uso della logica non classica che la chimica ha compiuto sin dalla sua origine indicherebbe subito la sua incommensurabilità rispetto alle teorie fisiche OA e in particolare rispetto alla equazione di Schrodinger; mentre invece la accomunerebbe alla logica quantistica che sorge dalle

²⁰ N.J. BROENSTED, *Principles and Problems of Energetics*, Interscience, 1955; vedasi anche la riformulazione più vicina a quella di S. Carnot e tipicamente OP, suggerita dal lavoro di A. DRAGO, O. VITIELLO, «La formulazione di Broensted della termodinamica completata col metodo originario di Sadi Carnot», in G. Michelson (ed.): *Atti IV Conv. Storia e Fond. Chimica, Rend. Acc. Sci XL, 110, 16, pt II*, (1992), 391-396. Un'altra teoria IP ed OP importante è la meccanica di L. CARNOT, *Saggio sulle macchine in generale (1783)*, CUEN, Napoli, 1994; ma soprattutto lo è la teoria che, dopo 2500 anni di dominio della geometria euclidea, che è IA e OA, ha fatto nascere la geometria non euclidea: la teoria di Lobacevskij, che è IP e OP; si veda S. CÍCENIA, A. DRAGO: *La teoria delle parallele*, Danilo, Napoli, 1996 (contiene la traduzione e il commento del testo più facile di Lobacevskij: *Studi geometrici sulla teoria delle parallele, 1840*).

relazioni di indeterminazione, le quali sono OP.²¹ Inoltre si tratta di collegare la matematica della chimica classica (non tanto con le tecniche dei computer ma) con la matematica costruttiva che ha fatto sorgere la teoria dei computer, anch'essa OP e IP; e che oggi si sta imponendo come teoria matematica autonoma dalla teoria degli insiemi. Il che darebbe un ulteriore sostegno alla autonomia della chimica, qui basata su IP, rispetto a tutte le teorie fisiche dominanti, che sono basate su IA.

Mechanismism in chemistry

Reaction mechanism and transition state theory

Summary: The transition state theory

is based on the assumption that the transition state is a local maximum of the potential energy surface. This is not always true, as shown by the example of the reaction of a diatomic molecule with a diatomic molecule.

Introduction

The transition state theory (TST) is a theory of reaction rates. It is based on the assumption that the transition state is a local maximum of the potential energy surface. This is not always true, as shown by the example of the reaction of a diatomic molecule with a diatomic molecule.

In 1920, G. Eyring, H. S. Taylor, and J. O. Hirschfelder proposed a theory of reaction rates based on the transition state theory. This theory is now known as the transition state theory (TST).

INTRODUZIONE

Il tempo di vita di un

Prima della teoria della legge di Arrhenius, la legge di Arrhenius fu introdotta nel 1889 da Svante Arrhenius.

²¹ Sull'uso della logica non classica nella chimica classica si veda A. DRAGO, «History of the relationships Chemistry-Mathematics», *Fresenius J. Anal. Chem.* 337 (1990), 220-224. Erratum, *ibidem*, 340 (1991), 787; «Atomism and the reasoning by non-classical logic», in *Proc. Conf. Proust*, Segovia, 1992, in stampa.

PATRIZIO SEVERINO (*)

Meccanismo di reazione e complesso attivato (**)

Reaction mechanism and activated complex concept.

Summary - The reaction absolute rate theory was formulated in 1935 by Eyring, Evans and Polanyi. It is based on quantum mechanical methods developed in 1932 by Pelzer and Wigner to calculate the absolute rate of simple chemical reactions using the properties of their potential energy iper-surface.

The basic concept of this theory is the activated complex, from which it is derived the name of mathematical method used to resolve the kinetic equations, Eyring showed it was to have been a compound very similar to molecules, but in that time the experimental measures of mean life time τ of activated complexes resulted equal to zero and this has implicated the operative definition of two types of reaction intermediates: virtual ($\tau = 0$) and real ($\tau \neq 0$) molecules, which correspond to a maximum and a minimum of potential energy iper-surface, respectively.

In 1988 Zewail used laser pulses of femtosecond (10^{-15} s) duration and showed it is possible to probe the nuclear motions throughout formation and break-up of the activated complex. This confirms the Eyring's thesis and permits to define only one ontological status for all chemical objects independently by the profile of potential energy iper-surface, in agreement with Del Re and Severino.

1. INTRODUZIONE STORICA.

1.1. *Il tempo di vita medio.*

Prima della formulazione delle leggi della cinetica chimica (la legge di azione di massa fu formulata nel 1864 da C.M. Guldberg and P. Waage [1-2]),

(*) Institute of Molecular Scienze. 38 Nishigonaka, Myodaiji - Okazaki 444, Aichi - Japan. — *Indirizzo in Italia*: Via San Domenico, 15 - 80127 Napoli.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

Wilhelmy [3] nel 1850 misurò la velocità di conversione di una soluzione acida di saccarosio in glucosio e fruttosio. Egli derivò la seguente equazione:

$$N = N_0 e^{-k_1 t} \quad (1)$$

dove N è il numero di molecole che sono presenti nel sistema al tempo t , N_0 il numero di molecole di partenza ($t = 0$) e k_1 è una quantità chiamata costante di velocità del primo ordine. La derivata di N rispetto a t è:

$$dN = -k_1 N_0 e^{-k_1 t} dt \Leftrightarrow -dN = k_1 N_0 e^{-k_1 t} dt \quad (2)$$

che è la definizione della velocità di reazione per una cinetica del primo ordine. Infatti, $-dN$ è il decremento del numero di molecole per l'intervallo di tempo $(t, t + dt)$ e dN è uguale al numero di molecole che si sono decomposte nell'intervallo dt . Il tempo di vita totale τ di queste molecole è dato moltiplicando $-dN$ per t :

$$\tau = -dNt = k_1 N_0 t e^{-k_1 t} dt \quad (3)$$

Ovviamente, se si lascia decorrere la reazione per un tempo infinito, tutte le molecole si decomporranno ed il tempo di vita totale di tutte le molecole considerate sarà dato dall'integrale fra 0 e $+\infty$ del suddetto prodotto, diviso per il numero totale di molecole:

$$\langle \tau \rangle = \frac{k_1 N_0 \int_0^{\infty} t e^{-k_1 t} dt}{N_0} = k_1 \int_0^{\infty} t e^{-k_1 t} dt = \frac{1}{k_1} \quad (4)$$

Allora, il tempo di vita medio per una reazione che segue una cinetica del primo ordine è uguale al reciproco della costante della velocità di reazione del primo ordine.

Per $n > 1$ il tempo di vita medio è uguale a:

$$\langle \tau \rangle = \frac{2^{n-1} - 1}{(n-1) c_0^{n-1} k_n \ln 2} \quad (5)$$

dove n è l'ordine della reazione, c_0 è la concentrazione iniziale dei reagenti e k_n è la costante di velocità di ordine n . Si nota immediatamente che $\langle \tau \rangle$ può essere eguale a zero se e solo se il denominatore risulta eguale ad ∞ . Tuttavia, sperimentalmente si osserva che:

- 1) non ci sono reazioni chimiche con $n > 3$;
- 2) $c_0 = \infty$ e $k_n = \infty$ non hanno significato chimico.

Di conseguenza, *per ragioni chimiche* $\langle \tau \rangle$ non può essere uguale a zero e ciò mostra come nel Corpus Teorico della Chimica tutti gli aggregati di atomi e/o molecole devono essere considerati oggetti esistenti.

1.2. *L'ipotesi riduzionistica e l'esistenza delle molecole.*

La legge di Avogadro, presentata come ipotesi nel 1811 [4], fu la prima legge che considerò le molecole oggetti esistenti anziché «ipotesi di lavoro». È ben noto [5-8] che questa concezione fu accettata dai chimici dopo molte diatribe e dopo che, nel 1886, Jacobus Henricus van't Hoff [9] utilizzò i dati sperimentali ottenuti da Pfeffer [10] per enunciare le leggi delle soluzioni diluite, che estendono la legge di Avogadro alle soluzioni.

Tuttavia, l'ipotesi riduzionistica (nota *a*) considera oggetti ontologici (cioè esistenti) solo quelli che non hanno gradi interni di libertà, ovverossia quelli aventi parametri interni (come massa, carica, spin ecc.) fissati per legge di Natura e non per combinazione dei parametri interni di altre particelle. Questa assunzione è detta *nomologica* (dal greco νόμος, *legge* e λόγος, *studio*).

Di conseguenza, secondo questa ipotesi i quarks e i leptoni sono «reali» (cioè oggetti ontologici), mentre le entità chimiche tornano ad essere concetti di comodo, nonostante l'opinione di molti autori [11-15], secondo i quali:

«Una molecola è un insieme di atomi dotato di proprietà strutturali caratteristiche, anche se è possibile distruggerla ed ottenerne protoni, neutroni, elettroni ed altre particelle subatomiche».

In altre parole, l'*unità* di un oggetto fisico è una condizione necessaria e sufficiente per caratterizzarlo da un punto di vista ontologico.

2. DEFINIZIONI.

2.1. *Il meccanismo di reazione.*

Il concetto di legame chimico permette di riconoscere le sostanze chimiche e le loro trasformazioni allo stesso modo in cui si riconosce un elettrone (od un'altra particella subatomica) dalla sua massa, carica elettrica, spin, numero barionico ecc. Infatti, una reazione chimica rappresenta un evento in cui alcuni legami chimici vengono rotti ed altri si formano da collisioni atomiche (ioniche) e/o molecolari.

Il passaggio dalle molecole di partenza (dette reagenti) a quelle finali (prodotti) può essere effettuato in uno o più stadi. Ogni stadio viene detto processo elementare e *l'insieme dei processi elementari è chiamato meccanismo di reazione.*

Spesso però i dati sperimentali a disposizione non determinano in modo univoco i processi elementari e quindi, in attesa di dati ulteriori, per la stessa reazione vengono proposti svariati meccanismi.

2.2. Il complesso attivato.

La teoria che a tutt'oggi permette il calcolo della velocità assoluta di reazione fu formulata nel 1935 da Eyring [16-17], Evans and Polanyi [18]. È basata su:

- a) metodi quantomeccanici (il primo fu formulato nel 1932 da Pelzer e Wigner [19]), per calcolare l'ipersuperficie di energia potenziale facendo uso dell'approssimazione adiabatica (nota *b*);
- b) metodi meccanico-statistici, per calcolare la velocità assoluta di reazione.

La figura 1 mostra l'energia potenziale dei reagenti *A* e *B* in funzione dello svolgimento di un processo elementare (supposto essere una collisione bimolecolare in fase gassosa) che è chiamato coordinata di reazione.

L'energia potenziale raggiunge un massimo e *l'aggregato di atomi che corrisponde alla regione sita in prossimità del massimo è chiamato complesso attivato*. La configurazione corrispondente al picco dell'energia potenziale è chiamata lo stato di transizione della reazione.

Allo stato di transizione, il moto lungo la coordinata di reazione corrisponde a moti collettivi complicati di tutti gli atomi contenuti nel complesso.

Utilizzando la meccanica statistica Eyring mostrò che il complesso attivato

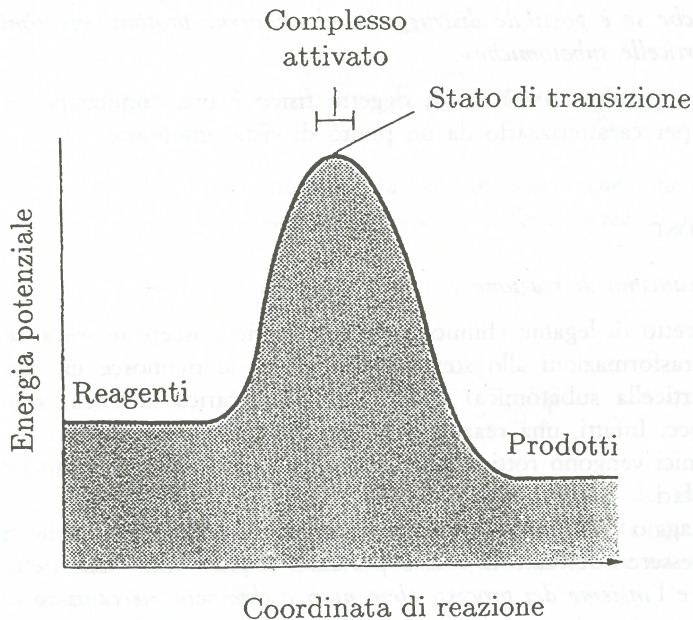


Fig. 1 - Energia potenziale dei reagenti *A* e *B* in funzione dello svolgimento di un processo elementare (supposto essere una collisione bimolecolare in fase gassosa).

doveva essere simile ad una molecola ed il suo moto lungo la coordinata di reazione ne causa la decomposizione con una costante di velocità data da:

$$K = \chi \frac{K'T}{h} e^{-\frac{\Delta G}{RT}} = \chi \frac{K'T}{h} e^{\frac{\Delta S}{R}} e^{-\frac{\Delta H}{RT}} \quad (6)$$

dove $\frac{K'T}{h} e^{\frac{\Delta S}{R}}$ è la frequenza di passaggio (che è possibile considerare, in prima approssimazione, uguale alla costante A dell'equazione di Arrhenius [20]), del complesso attivato attraverso lo stato di transizione, $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ è la differenza fra l'energia libera dello stato di transizione e quella dei reagenti, χ è il coefficiente di trasmissione, che dà la probabilità di andare dallo stato di transizione allo stato finale (ossia i prodotti). In molti casi (tranne nelle trasformazioni non adiabatiche) χ è compreso nell'intervallo (0,5, 1).

Secondo Eyring χ è l'unico parametro che non può essere calcolato con metodi di meccanica statistica (e a tutt'oggi non ci sono metodi per calcolare χ teoricamente) perché esso è legato alla struttura del complesso attivato. Inoltre, a quei tempi le misure sperimentali del tempo di vita medio dei complessi attivati risultarono uguali a zero e ciò implicò la definizione operativa di due tipi di intermedi di reazione: virtuali ($\tau = 0$) e reali ($\tau \neq 0$), che corrispondono rispettivamente ad un massimo ed a un minimo dell'ipersuperficie di energia potenziale.

Ad esempio, l'intermedio di Wheland [21] viene considerato una molecola reale e posto in corrispondenza con un minimo relativo dell'ipersuperficie di energia potenziale (in generale, tutti gli intermedi delle reazioni del tipo S_N2 vengono posti in corrispondenza a minimi relativi di tale ipersuperficie [22]).

3. L'OSSERVAZIONE SPERIMENTALE DEL COMPLESSO ATTIVATO.

La questione dell'esistenza degli intermedi di reazione è stata sempre risolta pragmaticamente, cioè *un intermedio è da considerarsi ipotetico fino a che non venga osservato sperimentalmente*.

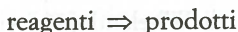
Ad esempio, lo ione nitronio [23] fu considerato ipotetico fino a che gli spettri Raman confermano la sua esistenza.

Allo stesso modo, fin dal 1988 è possibile osservare (e considerare esistenti) tutti i complessi attivati bimolecolari. Infatti, nel 1988 Zewail [24] utilizzò pulsazioni laser di 10^{-15} s per seguire i moti nucleari di molecole biatomiche (come H_2 ed I_2) attraverso la formazione e la rottura del complesso attivato. Così, sulla base anche delle osservazioni sperimentali [25-26] fatte nel 1984, mostrò come fosse possibile localizzare un'eccitazione di un dato legame e come *lo spettro del complesso attivato sia una caratteristica dello stato di transizione, differente dagli spettri dei reagenti e dei prodotti*.

Quindi, gli esperimenti di Zewail confermano (sia pure per le sole reazioni bimolecolari) l'ipotesi di Eyring e permettono di definire un solo status ontologico per *tutti* gli enti chimici, indipendentemente dal profilo dell'energia potenziale.

4. CONCLUSIONI.

Nel 1985 Del Re e Severino [27] mostrarono il potere euristico dei modelli di spiegazione chimica e dei concetti in essi contenuti (valenza, meccanismo di reazione, intermedio di reazione, legame chimico ecc.), con cui è possibile assegnare la «catena di cause materiali» (cioè l'insieme delle strutture molecolari intermedie nella reazione considerata) di tutte le trasformazioni chimiche. Inoltre, Del Re e Severino considerarono ridondanti la divisione in intermedi «reali» e «virtuali», proponendo di estendere il concetto di sistema molecolare osservabile ad ogni configurazione la cui evoluzione temporale fosse sufficientemente lenta da essere trascurabile durante il tempo di osservazione. In questo modo, lo status ontologico dei complessi attivati viene ad identificarsi con gli intermedi «reali», in accordo pieno con le osservazioni di Zewail. Inoltre, il concetto di intermedio di reazione diventa logicamente indipendente dal calcolo quantistico dell'ipersuperficie di energia potenziale, che può quindi essere utilizzata solo per *descrivere* numericamente la relazione temporale



ma non ha potere euristico perché la sua interpretazione teorica (ed ontologica) delle reazioni chimiche è in contrasto con le osservazioni di Zewail suddette.

NOTE - GLOSSARIO

a) l'ipotesi riduzionistica.

La versione contemporanea del materialismo scientifico fondato dagli atomisti dell'antica Grecia è l'ipotesi riduzionistica. Secondo questa ipotesi, la realtà che ci circonda e comprende è fatta da unità indivisibili (oggi i quark e i leptoni, domani chissà) che si aggregano fra di loro in svariati modi, ai quali per comodità vengono dati dei «nomi d'insieme». Così il nome «protone» (o anche «neutrone») sta ad indicare l'insieme di tre quark, mentre il nome «atomo» equivale a dire «protoni + neutroni + elettroni» (dove gli elettroni sono dei leptoni). Secondo questa definizione, il nome «molecola» è sinonimo di «atomo» perché entrambi indicano un insieme di protoni, elettroni e neutroni;

b) l'approssimazione adiabatica.

L'approssimazione di Born-Oppenheimer suppone che i nuclei degli atomi siano fissi nello spazio. Con questa approssimazione l'equazione di Schrödinger viene risolta ottenendo un valore dell'energia ed una funzione d'onda elettronica che dipendono parametricamente dalle coordinate nucleari.

Nei casi in cui è valida l'approssimazione di Born-Oppenheimer è valida anche l'*approssimazione adiabatica* (o *principio di Ehrenfest*), secondo cui se il moto dei nuclei perturba quello degli elettroni in modo infinitamente lento, il sistema oggetto di studio permane indefinitamente nello stato stazionario in cui si trovava all'inizio della perturbazione.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C.M. GULDBERG et P. WAAGE, *Etudes sur les affinités chimiques*, Brogger & Christie, Christiana (1867).
- [2] C.M. GULDBERG et P. WAAGE, *I. Prakt. Chem.*, 2, 19, 69-114 (1879).
- [3] L. WILHELMY, *Poggendorfs Ann. Physik*, 81, 413-433, 499-526 (1850).
- [4] A. AVOGADRO, *J. de Phys.*, 73, 58 (1811); respinted in *Alembic Reprints*, No. 4, Livingstone, Edinburgh (1961).
- [5] A.W. WILLIAMSON, *J. Chem. Soc.*, 22, 328, London (1869).
- [6] W.H. BROCK and M. KNIGHT, *Isis*, 56, 5 (1965).
- [7] *Quoted in Atomic Debates* (W.H. Brock, Ed.), p. 8, Leicester University Press, Leicester (1967).
- [8] M.J. NYE, *Molecular Reality*, Elsevier, New York (1972).
- [9] J.H. VAN'T HOFF, *Arch. Nécl. des Sci. Exactes et Nat.*, 20, 239 (1886); reprinted in *Alembic Reprints*, No. 19, Livingstone, Edinburgh (1961).
- [10] W. PFEFFER, *Osmotische Untersuchungen*, Engelmann, Leipzig (1877).
- [11] M.L. DALLA CHIARA and G. TORALDO DI FRANCIA, *Individuals, Kinds and Names in Physics, Versus*, 40 (1985).
- [12] M.L. DALLA CHIARA and G. TORALDO DI FRANCIA, *Le teorie fisiche*, Boringhieri (1981).
- [13] B. D'ESPAGNAT, *A la recherche du réel. Le regard d'un physicien*, Gauthier Villars (1981).
- [14] B. D'ESPAGNAT, *Une incertaine réalité*, Gauthier Villars (1985).

- [15] G. TORALDO DI FRANCIA, *Le cose e i loro nomi*, Laterza (1986).
- [16] H. EYRING, *J. Chem. Phys.*, 3, 107 (1935).
- [17] H. EYRING, «The activated complex and the absolute rate of chemical reactions», *Chem. Rev.*, 17, 65 (1935).
- [18] M. EVANS and M. POLANYI, «Some applications of the transition state method to the calculation of reaction velocities especially in solution», *Trans. Farad. Soc.*, 31, 875 (1935).
- [19] H. PELZER and E. WIGNER, *Z. Physik Chem.*, B, 15, 445 (1932).
- [20] S.A. ARRHENIUS, «Über die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Inversion von Rohrzucker durch Säuren», *Zeits. für physikalische Chemie*, IV, 226 (1889).
- [21] C. INGOLD, «Principles of an electronic theory of organic reactions», *Chem. Rev.*, XV, 225 (1931).
- [22] C. INGOLD, *Structure and mechanisms in organic chemistry*, Ithaca, N.Y. (1953).
- [23] N.L. ALLINGER et al., *Nitration reactions*, in *Organic Chemistry*, Worth Publishers, Inc. (1972).
- [24] A.H. ZEWEIL, *Science*, 242, 1645 (1988).
- [25] P.M. FELKER and A.H. ZEWEIL, *Phys. Rev. Lett.*, 53, 501 (1984).
- [26] N. BLOEMBERGEN and A.H. ZEWEIL, *J. Phys. Chem.*, 88, 5459 (1984).
- [27] G. DEL RE and P. SEVERINO, *Meccanismi di reazione e spiegazione chimica*, 1° Congresso di Storia e Fondamenti della Chimica, Torino, 2-4 Febbraio 1985.

Il testo del contributo è stato riprodotto sulla base del manoscritto originale dell'Autore. Non sono pervenute in tempo utile correzioni e modifiche della prima bozza tipografica.

NIKOS PSARROS (*)

La Motochimica.

Una teoria della isomeria chimica trascurata (**)

The Motochemistry - A neglected theory of chemical isomerism.

Summary - In the second half of the 19th century the phenomenon of aromaticity was one of the most disputed issues in organic chemistry. Among the models proposed for its explanation was also the «motochemical hypothesis» of the Italian chemist Ettore Molinari (1867-1926). Starting from the tetrahedral model of the chemical bond of the carbon atoms, Molinari stated that the aromatic properties of benzene and its derivatives result from the vibrations of the carbon atoms in the tetrahedrons formed by their «directed» bonds. Each carbon atom performs successive blows from the centre towards the corners of the tetrahedron, the sequence of which determine the mode of the binding of two atoms. For a better understanding of his proposal he compared in the case of a carbon atom attached to two different ligands (Caabb) the frequency of the blows towards a ligand type with the duration and the type of the ligand with the pitch of a tone. Applying this model on a system of carbon atoms attached on a ring and connected by alternating simple and double bonds, as in the benzene molecule, Molinari was in position to demonstrate that many aromatic phenomena, e.g. the existence of only one orthobisubstituted derivative of benzene, could be thus explained. However, his model had the fatal flaw of being in contradiction to the mechanics of bodies. Since the carbon atoms possess the property of mass they should oscillate freely around the centres of their tetrahedra, rather than perform the proposed blows. Nevertheless, the fact that Molinari's motochemical hypothesis was just neglected and not rebutted by his contemporaries raises the question about the existence of «incommensurable» atomic concepts in chemistry and physics.

1. INTRODUZIONE

Nella seconda metà del diciannovesimo secolo, il fenomeno della aromaticità era uno dei problemi più controversi della chimica organica. A. Kekulé fu il primo che propose una struttura ciclica per la molecola di benzene, ipotiz-

(*) Institut für Philosophie, Philipps-Universität, Blitzweg 16, D-35032 Marburg.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

zando anche che i legami tra gli atomi di carbonio siano «migratori». Da questa ipotesi segue che nel caso dei derivati ortobisostituiti di benzene non sia possibile ottenere due distinti isomeri della posizione ma solamente uno. Altri chimici contemporanei di Kekulé considerarono la possibilità dell'esistenza di altre formule di struttura per il benzene. Una ampia scelta di quelle proposte sono portati in fig. 1.

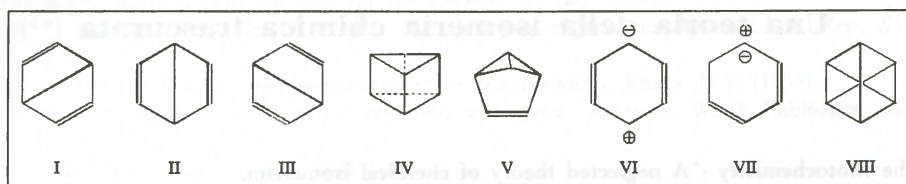


Fig. 1

Però con queste proposte non era possibile spiegare tutte le proprietà chimiche di benzene e delle sostanze «aromatiche», benché coll'andar del tempo diversi chimici sono riusciti a sintetizzare sostanze che corrispondevano ad alcune delle formule in fig. 1 (benzene di Dewar I-III, prismano IV, benzvaleno V).

2. La proposta di Ettore Molinari e i suoi difetti

Nel 1893 il chimico italiano Ettore Molinari presentò in un articolo apparso nella «Gazzetta Chimica Italiana», il quale fu tradotto in tedesco e pubblicato lo stesso anno nel «Journal für praktische Chemie», una interpretazione completamente nuova e particolare.

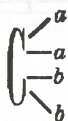
Nato nel 1867 a Cremona, Ettore Molinari studiò chimica a Zurigo e Basilea dove fu nominato Dr. phil. nel 1889. Dopo i suoi studi Molinari fece alcuni viaggi per informarsi sugli sviluppi della chimica in Francia, Inghilterra e Germania dove soggiornò per un'anno a Heidelberg. Molinari ritornando in Italia lavorò per alcuni anni nell'industria chimica e diventò alla fine del secolo professore alla Scuola del Commercio di Milano e dopo professore della chimica applicata nel Regio Istituto Tecnico Superiore. Nel 1916 fu successore di Luigi Gabba nella direzione del laboratorio dello stesso istituto, dove rimase fino alla sua morte il 9 Novembre 1926. Molinari scrisse una moltitudine di saggi su vari temi della chimica organica e chimica tecnica anche manuali di chimica inorganica, organica e industriale.

L'articolo del 1893 intitolato «Stereochimica o Motochimica?» occupa un posto particolare nell'opera di Molinari, perché questo fu il suo unico saggio che si occupò d'un problema chimico teorico. Con questo lavoro Molinari fornì una

spiegazione dei fenomeni aromatici compatibile con la teoria della struttura delle molecole organiche.

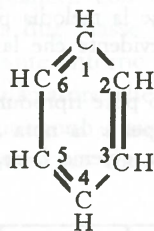
Il modello prevalente del legame chimico tra gli atomi del carbonio nel tempo di Molinari era quello di vant'Hof e Le Bel, secondo cui gli atomi del carbonio sono messi nel centro di un tetraedro sinché i diversi legami semplici, doppi e tripli sono formati combinando i tetraedri con i loro angoli, canti o superfici. Molinari per il benzene propose che al posto di «migrazioni» o «fluttuazioni» di doppi e semplici legami, la causa delle proprietà aromatiche fosse dovuta alle vibrazioni degli atomi di carbonio: Messo nel centro di un tetraedro, ciascuno atomo del carbonio può urtare verso i quattro angoli in due modi diversi, i quali dipendono della successione degli urti che determinano le proprietà di questi isomeri «motochimici»:

«Dato p.es., un composto



si potrà supporre che, essendo quel sistema in moto, ed essendovi un atomo di carbonio tetravalente, esso eseguisca quattro movimenti in quattro unità di tempo, venendo cioè successivamente ad urtarsi con *a*, poi con l'altro *a*, quindi con *b* ed in fine con l'altro *b*, ricominciando poscia lo stesso movimento periodico: sicché gli urti si seguirebbero e riprodurrebbero nell'ordine: *aabb*, *aabb* ... Ma cogli stessi elementi, senza cambiare la struttura, è possibile un'altra specie di movimento differente dal primo: ed infatti se il carbonio si urta prima con *a*, poi con *b*, indi con *a* e finalmente con *b*, allora l'ordine, con cui si seguono e riproducono gli urti, è cambiato, cioè: *abab*, *abab*, ... Un terzo movimento, *abba*, non è possibile giacché riprodurrebbe ancora il primo. [...]

Prendiamo l'esempio della benzina:



studiando il movimento di ogni singolo atomo di carbonio e supponiamo che la doppia legatura significhi un movimento più accelerato cioè che nell'unità di tempo avvengano fra carbonio e carbonio due urti consecutivi ed inseparabili; allora abbiamo il seguente movimento: Nella prima unità di tempo l'atomo di carbonio C_6 farà il doppio urto (denomiamolo (*A*)) con C_1 , nella seconda unità di tempo si urterà con l'idrogeno (denomiamolo (*b*)), nella terza unità di tempo si urterà con C_5 (diciamolo (*a*)), così il moto si segue e riproduce nell'ordine: *Aba*, *Aba* ... Ma havvi un'altra specie di movimento possibile; infatti se dopo il doppio urto *A* ne seguisse quello semplice (*a*) e per ultimo il (*b*), il moto

si eseguirebbe e si riprodurrebbe così: *aab, Aab* ... Questi due movimenti (*Aba* e *Aab*) sono dunque differenti né uno può trasformarsi, colla riproduzione, nell'altro. Nessun'altra specie di moto è possibile all'infuori di quelle due» (Molinari 1893a: 120-121).

Per illustrare la sua teoria — che a prima vista non è molto chiara — Molinari fece uso della musica come un *modello metodico* (Psarros 1993) mettendo alla pari l'altezza e il valore di un suono con l'elemento e la durezza di un urto:

«Se supponiamo che ogni urto produca un suono differente a seconda della natura dell'elemento, il movimento possiamo riprodurlo col suono, il quale allora ci darà un'idea esatta, anzi sarà lo specchio del movimento stesso. Per un corpo *Caabb* supponiamo che l'urto *C-a* produca il suono musicale *do*, e l'urto *C-b* il suono *mi*, allora abbiamo la seguente espressione musicale divisa in quattro tempi del movimento *aabb*:



per movimento *abab* abbiamo invece:



volendo riprodurre il moto *abba* si ha:



Da ciò si capisce facilmente come la melodia prodotta dai suoni in I sia differente da quella dei suoni in II, mentre è evidente che la melodia nel III non è altro che la riproduzione della I. [...]

L'esempio della benzina possiamo pure riprodurlo con suoni musicali indicando per *A* le note *dodo*, per *b* la nota *mi* e per *a* la nota *do*. In tal modo per un movimento *A,b,a* che avviene in 3 unità di tempo, avremo la seguente melodia:



Pel movimento *Aab* avremo invece:



Volendo provare un movimento *bAa* si avrebbe:



Anche qui è evidente che la melodia III è eguale alla II, quindi di moti differenti restano solo in I e II». (Molinari 1893a: 53-55).

Con la sua teoria Molinari poteva prevedere correttamente il numero dei derivati di benzene e spiegare anche altri fenomeni sia della chimica inorganica che organica. Ma la sua *costruzione teorica* (Hartmann 1993), degli «urti atomici», ha il fatale difetto di essere in contraddizione con la teoria fisica, perché gli atomi avendo la proprietà teorica della massa non possono eseguire gli urti nel senso di Molinari dal centro verso i vertici. Al contrario loro devono oscillare intorno al centro del tetraedro livellando le differenze tra i modi.

3. *La motochimica — un'aborto chimico, ma avvincente*

Nonostante i suoi difetti, la teoria motochimica di Molinari è di grande interesse per la filosofia e la storia della chimica per tre ragioni:

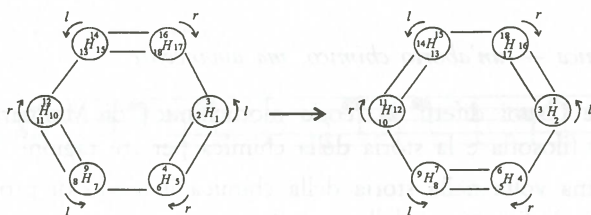
1) Per prima volta nella storia della chimica il modo di procedere in una pratica (la musica) diventò modello metodico per una teoria scientifica.

Questo modo di procedere non è nuovo nella storia della scienza: La fisica, in senso moderno, cominciò quando Galileo Galilei mise a pari i moti «naturalmente» dei corpi (cadute, moti rettilinei, moti circolari) con i moti «artificiali» (moti artificialmente accelerati). La teoria della gravitazione di Newton si fondò sull'equiparazione dei moti dei pianetti con il moto di una pietra lanciata da una fionda. La forza attrattiva tra due masse si confronta con la resistenza della corda che tiene la pietra circolante intorno alla mano. Anche nella biologia, Darwin usò il procedere di un allevatore che lascia riprodursi solo quegli individui dei suoi bestiami che raggiungono i suoi propositi, per spiegare come in natura solo quegli animali sopravvivono che sono più adattati al suo ambiente formando così nuove specie.

2) L'errore di Molinari, consiste nel avere trascurato il fatto che una teoria chimica che fa uso dei concetti fisici dovrebbe essere in accordo con il resto della fisica, inoltre dimostra che i concetti *chimici* della molecola e dell'atomo sono concettualmente diversi dai concetti corrispondenti *fisici*. Le ragioni che indussero i chimici di introdurre questi concetti erano totalmente differenti dalle ragioni dei fisici (Psarros 1998). Il fatto che le molecole chimiche siano dotate di proprietà fisiche avvenne quando fenomeni chimici furono integrati con fenomeni fisici in una teoria comune fisico-chimica. Nel tempo di Molinari questa

integrazione non era ancora terminata e accettata da tutti i chimici. Così non è sorprendente che Molinari — come chimico — non vide che attribuendo un fenomeno chimico, la esistenza solo di un'isomero ortobisostituito di benzene, ad un fenomeno fisico, i moti degli atomi nella molecola, dovrebbero disporre di tutte le proprietà di un sistema fisico, cioè massa, inerzia etc.

L'ipotesi che i chimici del tempo di Molinari non avevano ancora accettato la necessità di questa integrazione e rafforzata per mezzo della circostanza che nessuna altra «teoria motochimica» che fu proposta dal chimico tedesco Emil Knoevenagel — un contemporaneo di Molinari — quest'ultimo fece lo stesso errore. La teoria motochimica di Knoevenagel si fondò sulla rotazione degli atomi nella molecola del benzene. In questa teoria gli atomi sono figurati come sfere fornite con particolari «punti di legame» che possono rotare in senso orario e antiorario, trascinando i legami con se. Due vicini atomi di carbonio nella molecola di benzene sono così legati alternativamente con un legame semplice e un legame doppio (fig. secondo Knoevenagel 1908: 207):



Oltre il problema della conformità alla teoria fisica, questa proposta ha anche il difetto che prevede un maggior numero di isomeri rispetto la teoria che proponeva legami rigidi.

3) Non ci fu nessuna reazione alla motochimica da parte dei chimici sia in Italia che in Europa in generale. Questo silenzio è tanto più strano perché Molinari era nel suo tempo un chimico internazionalmente rispettato e perché anche il tema riapparso nel suo necrologo in 1926.¹ Bisogna anche notare che nella traduzione tedesca del suo articolo «motochimica o stereochimica?» gli editori del periodico «Journal für praktische Chemie» omissero le spiegazioni musicali e notarono a pie di pagina:

«Benché non si manchino di ipotesi che siano designate di spiegare la varietà dei fatti chimici, la redazione non voleva rifiutare la pubblicazione di speculazioni che erano fatte in base all'ipotesi motochimica, perché questa pubblicazione può agire in modo stimolante e costruttivo se sarà utilizzata con precauzione e non sarà sopravvalutata» (Molinari 1893b: 113 — traduzione NP).

¹ Ber. Dt. Chem. Ges. 1927 A: 36.

Sebbene la teoria motochimica non può e non potrebbe ottenere un posto nel discorso chimico, non è chiaro se i chimici contemporanei di Molinari erano coscienti dei suoi difetti concettuali o se evitarono una discussione perché i concetti chimici dell'atomo e della molecola non erano sufficientemente «stabilizzati» e delimitati dai concetti corrispondenti fisici. Per chiarire questa questione bisogna fare delle ricerche più approfondite.

BIBLIOGRAFIA

- HARTMANN D., *Naturwissenschaftliche Theorien*, Mannheim (u.a.) 1993.
- KNOEVENAGEL E., Entwicklung der Stereochemie zu einer Motochemie, *Verhandl. d. Heidelb. Naturhist.-Med. Ver. N. F.* (1908) IX: 191-221.
- MOLINARI E., Stereochimica o motochimica?, *Gazz. Chim. Ital.* (1893a) XXIII: 47-68, Übersetzung aus dem Italienischen NP.
- MOLINARI E., Stereochemie oder Motochemie?, *J. f. prakt. Chemie* (1893b) 48: 113-135.
- PSARROS N., Chemische Theorien und Modelle: Abbilder der Natur oder Systeme von Handlungsanweisungen?, *Wirtschaft & Wissenschaft* (1993) 1: 20-30.
- PSARROS N., The tiniest parts of ... — The concept of molecule in chemistry, physics and biology, in: P. Janich and N. Psarros (Eds.), *The Autonomy of Chemistry*, Würzburg 1998 forthcoming.

Y. KEHEYAN (*)

Contributo alla conoscenza di Giacomo Ciamician attraverso i suoi interventi al Senato ()**

The personality of Giacomo Ciamician through his activity in Italian Senate.

Summary - This communication is dedicated to the 140th anniversary of birth of Giacomo Ciamician whose prominent scientific activity is only known.

For the first time in this paper will be discussed his parliamentary activity. He was born in 1857 in Trieste and was of Armenian origin: He was elected Senator in 1910 and kept his position until the end of his life, 1922. He gave several speeches in Senate related to the problems of the science and public instruction.

In particular he has been active participant to discussions on; «Application of International Convention of Bern for interdiction of the use of white phosphorus for match industry», budget of public instruction, budget of agriculture, industry and commerce, «Conferring of university teaching qualification» bill, «The reform of normal school» bill, «Measures to elementary instruction» bill.

As a member of Central Office of Senate, he participated to «Modifications of the law to the application of taxes on alcohol» bill.

This paper points out the multiplicity of his interests and the versatility of his personality.

1. Giacomo Ciamician fu nominato senatore il 26 gennaio del 1910. Partecipò ai lavori del Senato con grande assiduità, pronunciando importanti discorsi in materia scientifica e di istruzione.

Il suo primo discorso in Senato fu la commemorazione di Stanislao Cannizzaro. Molto emozionato, lo definì un riformatore della chimica in un periodo, la prima metà del secolo XIX, in cui il suo sviluppo era pieno di contraddizioni. C'erano le leggi, c'era l'ipotesi fondamentale, l'ipotesi atomico-molecolare. Can-

(*) Istituto di Chimica Nucleare, CNR, Roma.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

nizzaro dimostrò che la teoria atomica doveva essere applicata alla spiegazione generale dei fatti. Ciamician ricordò che Cannizzaro non era stato soltanto un grande scienziato: ma anche un grande maestro. Come egli stesso diceva: «L'opera mia è quella di un maestro di scuola». Ricordò infine che al Congresso della Società Italiana per il Progresso delle Scienze (SIPS), tenuto nel 1909 a Padova, egli era stato chiamato il grande patriarca della chimica italiana, e concluse dicendo: «Nella scienza egli è già immortale».

2. Nei primi del novecento scienziati di molti paesi europei presero atto della pericolosità del fosforo, e nella riunione a Berna il 26 settembre 1906 firmarono una convenzione per l'interdizione del fosforo bianco. (L'assorbimento di quantità minime di fosforo bianco provoca degenerazione del fegato, dei reni, del sistema vascolare, delle fibre del muscolo cardiaco, dei vasi cerebrali, altera tutto il sistema nervoso, diminuiscono globuli rossi, ecc.).

Nel Senato del Regno si teneva una discussione accesa per adesione o meno a tale convenzione. Il senatore Giovan Battista Grassi, biologo, sosteneva che in Italia i casi di malattia dovuti al fosforo bianco erano rari, mentre la realtà era ben diversa: a Ivrea erano stati documentati casi di morte.

Intervenendo nella discussione Ciamician evidenziò il lato chimico della questione al fine di agevolare la soluzione del problema. Ricordò anzitutto la distinzione tra fosforo bianco e rosso, di cui la seconda è più stabile. Il fosforo comune, quello detto fosforo bianco, è velenoso e spontaneamente infiammabile, mentre invece quello rosso non è velenoso e non è infiammabile al di sotto di 260°C. Precisò poi che già dal 1831 l'industria fabbricava fiammiferi usando fosforo bianco e che appena il fosforo rosso fu scoperto (1847) si pensò di adoperarlo per i fiammiferi. Janne Lundström in Svezia impiantò su larga scala una fabbrica di fiammiferi a fosforo rosso noti col nome di svedesi o di sicurezza.

In questo sistema il combustibile, a base di fosforo rosso e di solfuro di antimonio, si trova in uno strato aderente alla scatola ed il comburente composto di cromato e clorato potassico, biossido di manganese e poco zolfo costituisce la capocchia: i fiammiferi si accendono solo se sfregati sopra la loro scatola. Citò infine l'esempio della Francia, dove si usa il fosforo rosso ed il sesquisolfuro di fosforo, ricordando che il relativo brevetto era stato acquistato in Italia nel 1898 [diventerà di pubblico dominio nel 1913]. Di conseguenza, secondo Ciamician, il problema dal punto di vista chimico ed anche industriale era stato risolto. Egli suggerì che il governo avrebbe potuto far studiare nei laboratori dello Stato una pasta adatta a sostituire quelle a base di fosforo bianco e cederla gratuitamente alle fabbriche italiane.

L'industria, in virtù delle risorse che possiede, doveva essere in continua evoluzione, poiché la sua stessa esistenza è legata ad un continuo progresso. Concludendo il discorso Ciamician affermò come i fiammiferi non rappresentavano un sistema ideale di accensione, auspicando un futuro importante per gli

accendini automatici. Pur convenendo con il senatore Grassi che la necrosi dovuta al contatto del fosforo con la pelle fosse una malattia relativamente rara, Ciamician affermò che il fosforo ordinario fosse una sostanza altamente tossica e concluse con queste parole: «lasciamo il fosforo alla terra, dove nella forma di acido fosforico viene assorbita dalle piante e trasformato in quei composti complessi che formano il sostrato materiale della vita organica».

3. Come direttore del Laboratorio di chimica agraria dell'Università di Bologna, Ciamician si occupò anche di ricerche di chimica vegetale e prese quindi interesse alle sorti della patologia vegetale in Italia. Nella seduta dell'11 gennaio 1912 egli disse: «Ho saputo che dove è stato costruito l'edificio del Ministero di agricoltura, vi era un orto che serviva per gli esperimenti di patologia vegetale, orto ora distrutto». Chiese che all'Istituto di patologia vegetale fosse annesso un campo sperimentale ed una piccola serra. Il ministro di agricoltura, industria e commercio Francesco Saverio Nitti consentì questa a raccomandazione consigliando però che fosse costruito fuori Roma.

4. Fra le numerose attività in cui si impegnò Ciamician vanno ricordate le discussioni parlamentari sull'insegnamento universitario e le sue richieste per una maggiore libertà amministrativa e didattica da parte degli atenei.

Nella tornata del 12 giugno 1912 egli si soffermò sul disordine della sessione primaverile d'esami, dichiarando di ritenere necessario dividere l'anno accademico in due periodi. Egli sostenne la libertà didattica da concedere agli atenei poiché non tutte le università del regno debbono essere uniformate alle stesse disposizioni di legge e allo stesso regolamento in quanto un modello unico per tutti gli atenei risulterebbe piuttosto «antipatico», e così concluse: «Autonomia è uno dei termini più usati in aula, ma questa sebbene si ricorda continuamente non viene attuata e resa in maniera concreta perché dopo averla tanto ricordato si è vincolata da leggi e regolamenti che la mutano radicalmente».

5. Nella discussione del 30 gennaio 1914 l'onorevole Ciamician sottolineò come lo Stato potesse migliorare i suoi conti con una oculata gestione patrimoniale. Ricordò poi che un amico inglese gli faceva notare che l'Italia avrebbe avuto un lieto avvenire economico se avesse saputo organizzarsi; aggiungendo a proposito dell'amministrazione statale che, per il lavoro che veniva compiuto in Inghilterra da un solo impiegato, ce ne volevano due in Germania, quattro in Francia e sei in Italia.

Un altro punto su cui Ciamician si soffermò è il travalicamento dei limiti della libertà, sottolineando come molti professori nelle università insegnassero e dettassero principi sovversivi che offendono la costituzione dello Stato. Egli riteneva necessario fermare tale anarchismo che creava facili illusioni soprattutto nei giovani, e che occorresse denunciare questi fatti, poiché su quello che accadeva nelle università nessuno voleva intervenire, tanto meno il ministro e il Consiglio superiore.

6. Nella tornata del 27 febbraio 1918 l'onorevole Ciamician si associò ai suoi colleghi parlamentari nel compianto per la morte di Pietro Blaserna, professore nell'Università di Roma, persona autorevole e suo grande amico, concludendo il discorso con queste parole: «Il suo nome rimarrà sempre connesso alla scienza in quanto ci ha lasciato tracce sia nel campo dell'elettrologia, dell'ottica e dell'acustica. Il lavoro eseguito dall'onorevole Blaserna merita di essere particolarmente apprezzato perché egli riuscì non solo ad organizzare in modo esemplare l'istituto di fisica, ma seppe instaurare l'insegnamento pratico che prima non esisteva; ovvero, adesso gli studenti avranno modo di completare l'insegnamento orale attraverso le esercitazioni pratiche».

Ciamician è stato eletto commissario di vigilanza sul chinino, commissario per l'esame della tariffa doganale, commissario per il comitato talassografico italiano, intervenne come relatore, sulla convalidazione del Regio decreto che ammette al dazio di lire 4 il quintale l'olio di arachide destinato alla fabbricazione del sapone, sul disegno di legge, modificazioni e aggiunte al testo unico delle leggi sui telefoni, ecc., ecc.

Il 24 giugno 1920 prese parola per commemorare Augusto Righi a nome dell'Università di Bologna e della facoltà delle scienze, nella quale erano stati colleghi per 32 anni. Ricordato che la morte di Augusto Righi fu grave lutto per tutta la città di Bologna, concluse con queste due affermazioni: «È stato uno dei dolori più grandi della mia vita»; «Lo sviluppo della fisica degli ultimi cinquanta anni si rispecchia nei suoi lavori».

Durante la prima guerra mondiale ebbe sempre fede incrollabile nelle sorti della patria, di cui si rese altamente benemerito prestando la sua illuminata opera nello studio dei mezzi di difesa. Fu allora che il suo robusto organismo cominciò ad affievolirsi, ma la salute scossa non diminuì la sua operosità: continuò a dedicarsi ai suoi studi, ed intervenne in Senato fino all'ultimo.

Commemorando la sua morte avvenuta il 2 gennaio del 1922, il Presidente del Senato lo definì «Purissima gloria della scienza chimica», «un audace di molti principi e delle leggi».

APPENDICE

Interventi di Ciamician alle discussioni Parlamentari del Senato del Regno

1910. Commemorazione del senatore Cannizzaro l'11 maggio (p. 2363).
1911. Discussione «Stato di previsione della spesa del ministro dell'istruzione pubblica per l'esercizio finanziario 1910-1911 (N. 407). 30 gennaio (p. 4171).
1912. Richiesta di costruzione di un campo sperimentale per l'Istituto di patologia vegetale, 11 giugno (p. 8477).
Alcuni problemi dell'insegnamento universitario (p. 8589).
1913. «Trasformazioni di istituti d'istruzione e di educazione» (p. 10360).
Emendamento «L'abilitazione alla libera docenza è concessa per una determinata disciplina a chi dia prova, ecc.», 7 maggio (p. 10383, p. 10366).
Discussione del disegno di legge «Modificazioni alla legge per l'applicazione della tassa sugli spiriti» (N. 1023) (p. 11269).
1917. Discussione del disegno di legge: «Modificazione ed aggiunte al testo unico di leggi sui telefoni» (N. 329).
1918. Commemorazione del senatore Blaserna, prof. dell'Università di Roma (p. 4103); «Riforma della scuola normale» (p. 4360, 4394, 4430); «Provvedimenti per l'istruzione media» (p. 1008, 1018).
«Modificazioni e aggiunte al testo unico delle leggi sui telefoni» (p. 3629).
Commissario per l'esame della tariffa doganale (p. 4698).
Parla come relatore, sulla convalidazione del Regio decreto che ammette dazio di lire 4 il quintale l'olio di arachide destinato alla fabbricazione del sapone (p. 79, 801).
1919. Nominato commissario di vigilanza sul servizio del chinino (p. 131).
Commissario per il comitato talassografico italiano (p. 146).
1920. Commemorazione del defunto senatore Righi dell'Università di Bologna (p. 883 del 24 giugno).

GIOVANNI SEMERANO (*)

Lettere di Alfred Werner (1866-1919) ad Arturo Miolati (1869-1956) di interesse per la storia della teoria della coordinazione dei composti inorganici ()**

Motto: *Die Chemie muss zur Astronomie
des Molecularwelt werden*
(A. Werner)

Letters from Alfred Werner (1866-1919) to Arturo Miolati (1869-1956), interesting history of the co-ordination theory of inorganic compounds.

Summary - This is a series of 51 letters, some in French others in German, written by Alfred Werner between 19 April 1893 and 16 March 1907 to his friend and colleague Arturo Miolati, which mainly deal with the theory on the structure of inorganic compounds for which Werner won the Nobel Prize in 1913.

The letters clearly show, apart from the friendly relationship that existed, the fundamental and decisive contribution made by Miolati to the acceptance of Alfred Werner's theory, by his measurements of the electrical conductivity of solutions of inorganic compounds.

Nel suo fondamentale articolo commemorativo dell'opera di Arturo Miolati, ha scritto George B. Kauffman [1]: Werner fece particolare tesoro dei suoi rapporti con Miolati specialmente nei loro studi in comune sulla conduttività elettrica di soluzioni che costituiscono la più evidente verifica della teoria di Werner sulla coordinazione dei composti inorganici [2].

La prima edizione dell'opera di Werner [3] è dedicata al suo caro amico Prof. Dr. Arturo Miolati, docente in Torino, a ricordo della loro fertile collaborazione, gesto questo che fu molto gradito da Miolati.

(*) Comunità Culturale «Arturo Miolati», Padova.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

Scriveva ancora il Kauffman [1]: l'inclinazione quasi neurotica di Miolati, a differire la pubblicazione dei suoi risultati, era spesso sorgente di esasperazione per Werner che incitava continuamente il suo collega più giovane a pubblicare i dati ottenuti dalle misure prima che altri stabilisse priorità di stampa.

I due amici fornivano un esempio drastico della dicotomia secondo Wilhem Ostwald del genio scientifico [4]. In Miolati si aveva l'incarnazione del tipo classico, conservatore, lento, indagatore profondo ed esauriente che produce soltanto dopo una lunga meditazione e che sviluppa una teoria tradizionale giungendo a nuove conclusioni. In Werner, dall'altro lato, si aveva il prototipo del romantico, il liberale, perfino radicale, impulsivo e brillante iniziatore che produce prolificamente e facilmente durante la gioventù.

La serie di 51 lettere, sette delle prime otto in francese le altre in tedesco, che A. Werner ha scritto tra il 19 aprile 1893 e il 16 marzo 1907 al suo amico e collega Arturo Miolati e che, in gran parte, riguardano la teoria della costituzione dei composti inorganici, per la quale nel 1913 veniva assegnato al Werner il premio Nobel, illustra nel miglior modo i rapporti esistenti tra i due ricercatori.

È un peccato che io non sia riuscito a procurarmi le risposte del Miolati e che il mio stato di salute mi abbia impedito di presentare personalmente, di proiettare il testo delle singole lettere e discuterle nel corso del VII Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica, come sarebbe stato invece mio vivo desiderio.

Mi limiterò pertanto ad illustrare qui di seguito il contenuto di alcune più importanti lettere del Werner, non prima però di aver osservato che la prima delle pubblicazioni in comune [2] riferisce su misure che portano il doppio nome (il primo è quello del Werner sia nell'edizione tedesca che in quella italiana), ma sono il risultato di misure sperimentali che solo il Miolati, fundamentalmente chimico-fisico, sapeva effettuare.

Questa osservazione trova conferma nell'opera di A. Miolati a Roma [5] e nel testo di molte delle 51 lettere del Werner, specialmente in quelle del primo periodo dalle quali risulta che il laboratorio di Zurigo del Werner non era attrezzato per effettuare misure di conducibilità elettrica delle soluzioni dei composti complessi. Ciò risulta in particolare dalle lettere n° 3, 4, 5, 10, 11, 12, 13, 18, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 28, 37, 38, 39, 44; ma anche dalle altre lettere appare la netta differenza nella preparazione chimico-fisica dei due scienziati. Così, ad esempio, nella lettera n° 6, il Werner chiede informazioni sulla preparazione di acqua molto pura per misure di conducibilità elettrica, nella lettera n° 9 chiede aiuto per l'allestimento di un laboratorio di esercitazioni, in quelle n° 21 e 22 prega il Miolati di recarsi a Zurigo per istruire due suoi allievi nell'allestimento di apparecchiature di base, nella lettera n° 46 chiede al Miolati di mandargli disegni e dati precisi su intensità e tensione di corrente per la preparazione dell'acido nitrico, che debbono figurare nelle sue lezioni.

Dalle lettere risulta cioè la preparazione più da chimico inorganico del Werner e più da chimico-fisico del Miolati. Del resto ciò è chiaro dal primo arti-

colo del Werner del 1892 [6] e dal racconto che il Miolati faceva a noi, suoi allievi a Padova, dei sacrifici, anche nutrizionali, che il Miolati subiva a Zurigo per potersi acquistare i fascicoli della Zeitschrift der Physikalischen Chemie.

Molte delle altre lettere, che non occorre qui illustrare sono utili per dimostrare gli stretti rapporti di amicizia tra i due scienziati e, in particolare, i sentimenti di rispetto del più giovane Arturo Miolati verso il suo collega svizzero.

Riporto ora l'elenco completo delle lettere raccolte con alcune indicazioni che le illustrano brevemente.

Lettera n°	scritta da	in data	in lingua	Pagine (lungh. appross.)
1	Zurigo	19/IV/1893	Francese	1
2	Mulhouse	?	Francese	1(?)
3	Zurigo	8/V/1893	Francese	4
4	Zurigo	15/V/1893	Francese	2
5	Zurigo	27/V/1893	Francese	2
6	Zurigo	13/VII/1893	Tedesco	4
7	Zurigo	4/VIII/1893	Francese	1
8	Zurigo	11/IX/1893	Francese	1
9	Zurigo	15/IX/1893	Tedesco	1
10	Zurigo	15/XI/1893	Tedesco	4
11	Zurigo	5/XII/1893	Tedesco	2
12	Zurigo	12/XII/1893	Tedesco	1
13	Zurigo	16/XII/1893	Tedesco	1
14	Zurigo	30/I/1894	Tedesco	1
15	Zurigo	10/IV/1894	Tedesco	1
16	Zurigo	28/IV/1894	Tedesco	1
17	Zurigo	23/X/1894	Tedesco	3
18	Zurigo	5/X/1894	Tedesco	3
19	Zurigo	8/XI/1894	Tedesco	1
20	Zurigo	7/XII/1894	Tedesco	4
21	Zurigo	22/II/1895	Tedesco	2
22	Zurigo	6/III/1895	Tedesco	1
23	Zurigo	29/V/1895	Tedesco	2
24	Zurigo	6/XI/1895	Tedesco	3
25	Zurigo	30/XI/1895	Tedesco	3
26	Zurigo	6/I/1896	Tedesco	1
27	Zurigo	14/I/1896	Tedesco	2
28	Zurigo	15/II/1896	Tedesco	1
29	Zurigo	26/IV/1896	Tedesco	4

Lettera n°	scritta da	in data	in lingua	Pagine (lung. appross.)
30	Zurigo	12/VI/1896	Tedesco	4
31	Zurigo	10/X/1896	Tedesco	1
32	Zurigo	21/XI/1896	Tedesco	4
33	Zurigo	4/I/1897	Tedesco	2
34	Zurigo	21/II/1897	Tedesco	2
35	Zurigo	12/IV/1897	Tedesco	3
36	Zurigo	21/IV/1897	Tedesco	1
37	Zurigo	29/V/1897	Tedesco	2
38	Zurigo	3/XII/1897	Tedesco	3
39	Zurigo	16/1/1898	Tedesco	2
40	Zurigo	7/X/1898	Tedesco	2
41	Zurigo	26/XI/1898	Tedesco	4
42	Zurigo	1/II/1899	Tedesco	2
43	Zurigo	11/II/1899	Tedesco	1
44	Zurigo	25/V/1899	Tedesco	4
45	Zurigo	27/X/1899	Tedesco	2
46	Zurigo	5/XI/1899	Tedesco	1
47	Ascona	17/III/1902	Tedesco	2
48	Zurigo	19/IX/1905	Tedesco	1
49	Zurigo	25/VI/1906	Tedesco	2
50	Zurigo	28/VI/1906	Tedesco	1
51	Zurigo	16/III/1907	Tedesco	2

Si tratta quindi in totale di 106 pagine che sarebbero da riprodurre integralmente nel caso si entrasse nell'idea di pubblicare un volume dedicato a questo carteggio.

Ma questo è certamente fuori della possibilità degli Atti del VII Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica, tenutosi a L'Aquila tra l'8 e il 10 ottobre 1997.

A 128 anni (27 in sistema duale) dalla nascita di A. Miolati.

Ringraziamenti

Ringrazio vivamente L. Paoloni, G. Corradini e il consiglio Direttivo del G.N.F.S.C. per la loro magnanimità nell'accettare le mie intemperanze nei riguardi del VII congresso de l'Aquila e il dottor Franco Calascibetta, in modo particolare, per il lavoro al quale si è generosamente assoggettato per rendere pubblicabile questo mio articolo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G.B. KAUFFMAN, «A Miolati», *Isis* (1970), 61 (part. 2), n° 207, 241-253, in particolare pp. 242-243.
- [2] A. WERNER, A. MIOLATI, *Zeit. Phys. Chem.* (1893), 12(I), 35-55; *Gazz. Chim. Ital.* (1893), 23(II), 140-165.
- [3] A. WERNER, «Neuere Auschauungen auf dem Gebiet der anorganischen Chemie», Braunschweig, F. Vieweg, 1905.
- [4] W. OSTWALD, «Davy», in Günther Bugge, *Das Buch der grossen Chemiker*, Berlin, Verlag Chemie, 1929, Vol. I, 405-416
- [5] L. AMATI, G. SEMERANO, «Un contributo alla Storia della Chimica - A. Miolati (1869-1956)», *Mem. Scienze Fis. e Nat.*, Vol. 103 dei *Rend. Acc. Naz. Sc. detta dei XL* (1985), Serie V, Vol. IX, parte II, pp. 53-62.
- [6] A. WERNER, *Zeit. Anorg. Chemie* (1893), 3, 267 (Lecture alla 29.ma Conferenza Internazionale sulla Chimica della Coordinazione, Losanna, 19-24 luglio 1892).

PATRIZIA PAPINI (*)

**Cooperazione scientifica internazionale e
frammentazione nazionale della cultura scientifica:
la comunità chimica in Francia ed in Italia
dal 1860 al 1930 (**)**

From International Co-Operation to National Fragmentation: Comparing the Dynamics of the Chemical research Community in France and Italy from 1860 to 1930.

Summary - The present contribution is presented as a part of a vaste research aiming to resolve the dearth of systematic studies on the history of chemical research communities during the transitional period from the nineteenth to the twentieth century. The method chosen is to compare and contrast the French and Italian chemical research communities in order to understand how international inspiration or national vocation were present in the respective scientific systems, and the degree to which they mattered for national policy choices. In order to do that different periods are investigated as remarkable steps of the making of the professional identity of chemists and of the developing consciousness to be part of the economical and political grow of their nations.

L'attenzione della ricerca si focalizza sulla comunità chimica e sul suo visuto come protagonista nei mutamenti che hanno caratterizzato la cultura scientifica in un periodo intensamente significativo nella storia dell'Europa occidentale, il volgere del secolo nella nuova realtà di progresso e di potenza industriale. Due date sono simboliche dell'inizio e della fine di un processo che porta la scienza da un'allargata e produttiva cooperazione all'interno della *République des Lettres*, alla frammentazione e al restringimento in ambito nazionale. Il 1860 è l'anno in cui si svolge il Congresso di Karlsruhe che vede confluire dalle diverse parti d'Europa i più autorevoli e i più promettenti rappresentanti della cultura chimica internazionale per unire i loro saperi e trarne frutto per nuove evolu-

(*) Laboratorio di Ricerca Educativa. Dipartimento di Chimica, Università di Firenze.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

zioni nella ricerca. L'interesse a livello mondiale nei confronti della chimica deve moltissimo a questo primo dei molti congressi internazionali che seguirono, nel quale si incontrarono ben 140 chimici (tra i quali, in rappresentanza dell'Italia, Stanislao Cannizzaro) e i cui lavori stimolarono la pubblicazione di numerose opere di chimica a carattere enciclopedico oppure storico, la stesura di voci riguardanti la chimica e i chimici in opere scientifiche generali o a carattere enciclopedico, la fondazione di numerosi laboratori di ricerca privati, scolastici o universitari, insomma, l'aumento della circolazione di idee e di conoscenze specialistiche. Si vive un clima che sembra favorire il trasferimento di conoscenze e la collaborazione degli scienziati ad aprire frontiere per la scienza. Il 1930 è la data alla quale la scienza appare ormai regolamentata e integrata nella produzione nazionale, segno di un movimento progressivo di nazionalizzazione dell'interesse scientifico in un più vasto quadro di politiche nazionalizzanti. Nel mettere a confronto la vita di due comunità chimiche, quella francese e quella italiana, si cercano i momenti salienti dell'avvenire di tale processo di cambiamento, evidenziando le tracce dell'affermazione progressiva di istanze nazionalistiche capaci di condurre alla frammentazione e al successivo sgretolamento dei legami di comunicazione e di cooperazione internazionale tra i chimici, come parte del mondo scientifico internazionale, in varie parti d'Europa. Tali legami erano fatti di collaborazione (in alcuni casi) e di circolazione di idee, come pure di contributi veicolati anche dalla pubblicazione di riviste di respiro nazionale e internazionale, legami che, con il prevalere degli interessi nazionali nei singoli paesi, sembrano nel nuovo secolo rarefarsi piuttosto che mantenersi vivi come lo erano stati ancora per la gran parte dell'Ottocento. Ma in questa sede, più che dei momenti di cooperazione tra la Francia e l'Italia — linea di sviluppo in divenire nella ricerca — ci occuperemo, come primo passo, del processo di maturazione che i chimici ebbero nei confronti della loro professione e della coscienza raggiunta di essere parte importante del destino di sviluppo del proprio paese; lo faremo suggerendo degli spunti di confronto tra la realtà francese e quella italiana, concentrandoci particolarmente sul problema della formazione.¹

La situazione particolare delle due comunità le rende tuttavia diverse. Nelle radici di tale diversità non va trascurata la differente istituzionalizzazione del sapere. Infatti, nell'amministrazione francese la divisione post-napoleonica tra capitale e

¹ L'attenzione della ricerca si focalizza sulla comunità chimica e sul suo vissuto come protagonista nei mutamenti che hanno caratterizzato la cultura scientifica in un periodo intensamente significativo nella storia dell'Europa occidentale, ma particolarmente sulla coscienza dei chimici di essere parte integrante e propulsiva di tale processo di mutamento. Il confronto tra due comunità — quella italiana e quella francese —, ma potremmo dire, più in generale, il confronto della realtà dei chimici italiani con quella dei loro colleghi di altre nazioni europee, dà motivo d'essere alla ricerca spingendola verso la definizione di un quadro generale e accuendone l'attenzione verso i fatti particolari.

province aveva fatto di Parigi il centro d'autorità anche per la formazione scientifica di elites di scienziati che avrebbero poi sempre gravitato intorno alla Académie des Sciences e, fornito il loro potenziale intellettuale comunque a Parigi, possedendo un'educazione di tipo prevalentemente teorico nella quale la matematica era regina delle discipline e la chimica, insieme alla storia naturale, era ritenuta disciplina intellettualmente inferiore. Paradossalmente, furono proprio i risultati delle nuove scoperte in chimica riportati nelle università provinciali — le quali, avevano instaurato un proficuo rapporto con la nascente industria chimica ed elettrica e potevano contare su commesse e finanziamenti che dettero nuovo vigore alla ricerca applicativa — a procurare alla Francia l'eccellenza con il nobel del 1912 a Victor Grignard e Paul Sabatier. L'Italia, invece che da una situazione di accentramento, proveniva da una condizione di localismo universitario che il neonato Stato italiano aveva ereditato dal precedente spezzettamento del territorio nazionale in tanti piccoli stati indipendenti. Ma tra i molti problemi che la nuova amministrazione si trovò ad affrontare, l'ultimo del quale preoccuparsi era proprio la sistemazione dell'innumerabile quantità di accademie e di istituti culturali e di ricerca che adesso si trovava a gestire. La presenza dello Stato nell'educazione scientifica superiore e nella ricerca per molto tempo non si fece perciò sentire, tollerando il libero insegnamento e l'autorganizzazione dei programmi. Quando intervenne in materia di formazione, lo fece privilegiando nettamente le vocazioni umanistiche rispetto a quelle che richiedevano sperimentazione scientifica e applicazione produttiva (vd. effetti della Legge Casati del 1859). Per parte sua, il mondo accademico chimico, ancora attestato sullo studio della chimica pura, viveva un pressoché totale distacco da quello della produzione. I laboratori sperimentali, laddove esistevano, rimasero per molto tempo casi isolati. I pochi ricercatori sperimentali italiani all'interno del gruppo degli scienziati vivevano una situazione di endemica debolezza, testimoniata da un ordine del giorno dell'Associazione Nazionale fra i Professori Universitari, ancora nel 1912, il quale ammetteva che in Italia le scienze sperimentali venivano coltivate esclusivamente nelle università dagli assistenti (le cui condizioni di lavoro erano caratterizzate da precariato e mancanza di rappresentatività e di forza contrattuale). Il numero dei tecnici italiani era, perciò, ancora troppo esiguo per far fronte alla sfida che l'industrializzazione stava in quel momento ponendo al nostro e agli altri paesi. Solo pochi avveduti (Gabba, Cannizzaro, Oddo) ponevano con forza questo problema che lo Stato italiano sembrava non recepire ancora attestato com'era su posizioni di politica scolastica arretrate e poco moderne, dimostrando scarsa comprensione dell'importanza che la chimica poteva avere nell'economia in tempo di pace e di guerra. Il ricorso al reclutamento di tecnici stranieri da parte degli industriali continuò, perciò, anche in età giolittiana, e questi sembrarono, in generale, rinunciare a formare *in loco* chimici all'altezza delle loro esigenze. Fanno eccezione i casi di Milano e Torino, dove l'iniziativa privata aveva portato prima alla

creazione di scuole professionali (che essendo considerate speciali vennero poste sotto la giurisdizione del MAIC, Ministero dell'Agricoltura dell'Industria e del Commercio anziché di quello della Pubblica Istruzione) e poi alla fondazione dei Politecnici che aprirono la stada alle prime lauree in Ingegneria Chimica e in Chimica. In Francia, invece, la formazione non solo aveva già iniziato uno sviluppo autonomo, richiesta, istituita e indirizzata dai privati (la tradizione delle Ecoles Polytechniques là era da lungo tempo viva) e poi riconosciuta dallo Stato che procurava il finanziamento per l'istruzione di coloro che avrebbero costituito il nerbo dell'industria; ma già si godeva il frutto di questa avveduta politica: diplomati e laureati trovavano immediatamente occupazione, la potenza industriale francese cresceva di buon grado, i laboratori sperimentali francesi erano giudicati tra i migliori (dopo quelli tedeschi, naturalmente) e dall'estero si aspirava ad accedervi per completare la propria istruzione.

In Italia si cominciò ad avvertire con più chiarezza una situazione di disagio intorno al volgere del secolo, quando le polemiche sulla formazione dei chimici si riaccessero ed alcuni provvedimenti correttivi di fatto vennero presi, grazie anche agli interventi di Nasini, senza però che venisse sostanzialmente cambiata la situazione, tanto che al I Congresso Nazionale di Chimica Applicata, organizzato dall'ACIT, l'Associazione chimica industriale cui aderivano chimici e industriali piemontesi, si lamentava come i nuovi regolamenti ministeriali in materia d'istruzione sarebbero risultati del tutto inefficaci se non venivano contemporaneamente erogati fondi per mantenere gli ancora pochi e fatiscenti laboratori che c'erano e per pagare il personale addetti. Ma, all'interno dello stesso congresso anche altre esigenze nascevano, che sembrano già parlare di difesa degli interessi del campanile nazionale, anche se, ancora a questo punto, certo più motivati dalla necessità di far fronte alla propria debolezza nei confronti delle produzioni europee che da un preciso disegno di sviluppo nazionalistico ed autarchico per il rafforzamento dell'industria e dell'economia. Queste esigenze si traducevano in richieste quali l'intervento del governo sulle tariffe doganali in senso protettivo; la garanzia di poter ottenere materie prime a prezzi inferiori riducendo le tasse; una migliore legislazione sui brevetti. Alla fine del secondo decennio del nuovo secolo tuttavia la situazione non era mutata di molto.²

Questo stato di cose venne rimesso in discussione con l'avvento del regime totalitario: ci si riprometteva un maggiore controllo sull'insegnamento — i docenti universitari erano ora obbligati al giuramento di fedeltà verso lo Stato fascista — e si tentava di accentrare la ricerca. Ma solo intorno al 1930 il CNR, sotto la presidenza di Guglielmo Marconi, viene configurato per diventare il principale strumento di controllo e di nazionalizzazione della ricerca scientifica,

² Anche se in coincidenza con gli anni del decollo industriale si era verificato un centro incremento degli studenti in chimica e in ingegneria chimica (vd. tabella 1).

Tabella 1 - Iscritti alle Società chimiche italiane 1895-1918.

	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901	1902	1903	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918
SCM	115	150	180	200	193	217	259	278	290	289	242	276	260	260	237	271	270	300	300	326	202	59		
SCR									305	300	300	300	300	300	187	210	199	201	211	188	51	32	10	
SCN															100	109	119	138	154	152				
ACIT					155	160	160	160	165	165	165	170	170	170	175	175	175	178	178	178				
TOT.	115	150	180	200	348	377	419	438	760	754	707	746	730	730	699	765	763	817	843	844				

SCM = Società Chimica di Milano, fondata nel 1895.

SCR = Società Chimica di Roma, fondata nel

SCN = Società Chimica di Napoli (filiazione di quella di Roma) fondata nel 1909.

ACIT = Associazione Chimica Industriale di Torino

(Tabella redatta da C. BALLINI, *op. cit.* in bibliografia)

nel tentativo di favorire un più stretto rapporto tra ricerca e industria chimica. In questa sede, tuttavia, non approfondirò, ma mi limiterò solo ad alcune notazioni significative.

Occorre premettere che un importante elemento per la crescita della coscienza del ruolo del chimico nell'innovazione furono le associazioni chimiche, anche se esse ebbero un lento processo di maturazione. Mentre la Société Chimique de Paris (da cui poi deriverà la Société Chimique de France) era già stata costituita prima del 1860, ancora nel 1870 assistevamo in Italia al fallimento del tentativo, stimolato da Luigi Gabba e vanificato da Emanuele Paternò, di costituire una Società Chimica nazionale: i tempi non erano maturi ed il numero dei chimici di professione ancora troppo basso. Gli anni in cui le associazioni chimiche dimostrarono maggiore impegno ed efficacia furono non solo quelli immediatamente successivi all'inizio del secolo, ma particolarmente nel momento che finì per coincidere con l'avvento del fascismo. Il ruolo delle società chimiche va tuttavia riconosciuto poiché mirarono a migliorare la condizione della professione e lo fecero sia conducendo inchieste sullo status dell'istruzione e sui programmi di studio, che con la loro lotta per la creazione di laboratori sperimentali. Le riviste nate in seno a tali associazioni, inoltre, volevano essere di stimolo alla coscienza professionale e alla diffusione delle conoscenze applicative. Tuttavia, come abbiamo anticipato, restarono poco influenti finché la situazione non lo permise.³

La riforma Gentile del 1923, svalutando e svantaggiando ancora una volta le lauree tecniche, aveva lasciato insoddisfatti molti e, tra questi anche i chimici che, dal 1924, si schierarono con gli ingegneri per migliorare le sorti delle scuole professionali e tecniche, riuscendo nel loro intento quando Giuseppe Belluzzo, approdando al Ministero della Pubblica Istruzione (provenendo dal MAIC), ne ebbe la gestione diretta. Ma furono solo interventi di salvaguardia, che non cambiarono di molto la situazione sostanziale dell'istruzione, né quella disagiata dei laboratori. Tuttavia è proprio in questo periodo che, in qualche modo, spinto dal nuovo interesse che il fascismo dimostrava per la regolamentazione di ciò che fino a quel momento era stato libero campo d'azione dell'iniziativa privata e, per

³ Il tentativo di un gruppetto di chimici (una trentina) che nel 1870 riuniti a Firenze nel laboratorio di Ugo Schiff, volevano dar vita ad una Società Chimica Italiana era fallita e l'incontro dette come risultato solo la pubblicazione della «Gazzetta chimica italiana» (dal 1871 a Palermo e poi dal 1893 a Roma), la prima rivista italiana esclusivamente dedicata alla chimica. Solo alla fine del XIX secolo i chimici italiani cominciarono a riunirsi per rivendicare i loro diritti e salvaguardare i loro interessi. I primi impulsi partirono da Milano dove nel 1895 venne fondata la SCM (Società Chimica Milanese) col proposito dell'avanzamento della scienza chimica, quindi più con intenti divulgativi che di protezione della professione. Dominava ancora una volontà da Repubblica delle Lettere visto che dell'associazione facevano parte non solo professionisti, ma anche semplici appassionati.

opposto, spinto dalla deregulation che alcuni provvedimenti riservavano ad altri settori, che si operò un ravvicinamento tra scienza chimica e industria, anche se a passi di lumaca. Un esempio: alcune istituzioni, quali i due Politecnici e la Scuola di Chimica industriale di Bologna, considerate di fascia B, alle quali toccava in sorte la parziale autonomia nel finanziamento, furono costrette a rivolgersi direttamente all'industria per sopravvivere con i loro programmi. Iniziarono così la loro collaborazione con le maggiori aziende chimiche (Pirelli, Montecatini, SNIA) che da parte loro non volevano certo perdere la loro fonte di rifornimento di tecnici qualificati. Altri esempi di collaborazione sono quelli di illustri chimici come Blanc, Parravano, Bruni, Morselli, Cambi che offrono le loro capacità ad attività industriali di notevole interesse per l'Italia quali i fertilizzanti, la metallurgia, la farmaceutica, gli aggressivi chimici. Blanc e Parravano, inoltre, ricoprono entrambi la carica di Presidente del CNR. Si assiste, quindi, ad un movimento progressivo di integrazione dei chimici nella politica statale.

Per quanto finora emerso, si può vedere come, nel complesso, l'Italia non si dimostrò particolarmente innovativa nella politica di creazione di un'identità specifica per il chimico e nell'attribuirgli un ruolo di rilievo nella società italiana che cambiava.⁴ Più rapida perché incentivata e richiesta fu invece l'ascesa della chimica applicativa francese che riuscì, già nel 1912, a guadagnare alla nazione l'eccellenza (nobel Grignard-Sabatier). La nazionalizzazione francese avvenne come potenziamento delle proprie possibilità chimiche voluto dalla parte più produttiva del paese, senza imposizioni e, anzi, grazie al *laissez faire* dello Stato.

Dando un giudizio riguardo al processo di nazionalizzazione potremmo dire che tra le nazioni europee vi fu un diverso grado di coscienza. Mentre la Germania, come sappiamo, fu non solo il capostipite dello sviluppo della chimica applicativa in senso industriale, ma trasmise anche il suo modello di sviluppo ad altre nazioni (come gli Stati Uniti) e l'Inghilterra procedette ad un processo di modernizzazione «ragionata» che non sconvolse affatto il tradizionale assetto politico, ma servì a sostenere l'economia che in quel settore rischiava di avviarsi verso il declino, nel caso della Francia e dell'Italia ci sembra di poter scorgere una netta differenza di atteggiamento.

La prima, infatti, che non intendeva subire una seconda volta, dopo la sconfitta della prima guerra mondiale, l'attacco e il disonore di una impreparazione e di una disorganizzazione produttiva nei confronti della Germania, ma voleva anzi dimostrare una certa aggressività nei confronti di tutte le nazioni concorrenti, fece leva sulla parte più attiva della nazione, quell'élite imprenditoriale delle città provinciali che dette un forte impulso alla ricerca applicata e si procurò, istituendo e sostenendo con i dovuti curricula di istruzione e con la

⁴ Come invece accadde, ad esempio, per la fisica che venne molto di più incentivata e sostenuta in epoca fascista, anche se il suo decollo fu più simile alla partenza di un razzo che al quieto procedere di un treno di stazione in stazione come nel caso della chimica.

creazione di scuole-laboratorio, il necessario apporto di mani e teste per permettersi un sicuro sviluppo. Lo Stato intervenne, in fatto di chimica applicata, come l'uccello di Minerva a riconoscere una situazione già esistente e a procurarle continuità. Oltre a ciò, la presenza di studenti stranieri nei laboratori e nelle scuole di formazione chimica, dette un possibile impulso alla vivacità della ricerca, favorendo scambi di conoscenze e produttive collaborazioni, che si ripercossero in modo affatto negativo nel processo di rafforzamento in senso nazionalistico della Francia, ormai nettamente avviato e indirizzato dalla volontà di crescere delle industrie provinciali. Le comunità chimiche della provincia francese ebbero quindi una precisa percezione del loro compito industriale.

In Italia, invece, l'impressione è che il processo di inserimento della chimica nei destini nazionali, avvenendo in fortissimo ritardo rispetto alle altre nazioni europee, abbia riscontrato, per buona parte del periodo osservato, una coscienza dei suoi protagonisti (Stato e comunità dei chimici) assai minore rispetto alla sua confinante, tanto minore da generare il sospetto di incoscienza. Ciò fu in parte dovuto, l'abbiamo detto, alla mancanza di leggi che regolamentassero adeguatamente la formazione, al pervicace permanere di una vocazione teorica all'interno delle università, ma soprattutto alla forte arretratezza dello sviluppo industriale nostrano, legato all'agricoltura e alla piccola produzione, che poté dare spazio alle applicazioni più che altro in settori tradizionali quali le produzioni per l'agricoltura. Si aggiunga a ciò il fatto che gli industriali chimici, nonostante lamentassero la pesantezza del fisco, non si dettero poi molto da fare per ottenere dalle istituzioni, lente nell'adeguarsi, una politica delle tariffe doganali che li togliesse da una posizione svantaggiata nei confronti di altre nazioni (part. della Germania), minando così l'incremento delle loro produzioni e la richiesta di tecnici specializzati. Fino agli anni del Regime, inoltre, non crebbe la rappresentatività dei chimici in Parlamento (Tab. 2).

Si può dire che la coscienza e la volontà di diventare una nazione chimicamente al passo con i tempi si consumò quasi per intero nello sforzo di riprendere il terreno che la separava dalle realtà straniere. Anche i tentativi di integrazione della professione chimica nel quadro della politica, individuabili nell'istituzionalizzazione della figura del chimico professionista, non avverrà che tardivamente, incontrando la volontà dello Stato fascista di farne oggetto di controllo e strumento di consenso. Si può parlare, per l'Italia non di un moto autonomo e autogenerantesi di presa di coscienza dei chimici della loro importanza in seno alla società, ma di una coincidenza tra processo di professionalizzazione interno alla categoria e costruzione della professione ad opera di attori esterni che ebbe svolgimento, per larga parte, all'interno del SNCF (Sindacato nazionale Chimici Fascisti laureati). Lo dimostra il fatto che tutte le associazioni chimiche confluirono, nel 1928,⁵ nel SNCF e i chimici accetteranno, per essere riconosciuti e salvaguardati professionalmente, di lasciarsi condurre per mano nello svi-

⁵ Anno in cui si pubblica il regolamento sulla professione.

Tabella 2 - *Parlamentari impegnati nella chimica in Italia 1861-1943.*

Legislature	Deputati	Senatori	Totale	Chimici esercitanti
VIII	1	0	1	1
IX	0	1	1	1
X	0	1	1	1
XI	0	2	2	2
XII	0	2	2	2
XIII	0	2	2	2
XIV	0	1	1	1
XV	0	1	1	1
XVI	0	1	1	1
XVII	0	2	2	2
XVIII	0	2	2	2
XIX	0	3	3	2
XX	0	3	3	2
XXI	2	3	5	2
XXII	2	3	5	2
XXIII	4	3	7	2
XXIV	4	3	7	2
XXV	8	4	12	3
XXVI	7	4	11	3
XXVII	6	4	10	3
XXVIII	11	5	16	6
XXIX	16	3	19	7
XXX	18	9	27	10

La colonna denominata «chimici esercitanti» comprende indistintamente coloro che esercitavano la professione di chimico come sindacalista, impiegato, libero professionista, professore, dirigente. Tabella tratta da Camera dei Deputati (a cura di), *Il parlamento italiano 1861-1988*, Roma, Nuova CEI, 1990.

luppo industriale. In questo crescere all'interno dei binari predisposti dallo stato e secondo le volontà di quegli industriali che vedevano dallo Stato riconoscere i loro interessi nelle linee di sviluppo nazionale, la storia della professionalizzazione del chimico italiano somiglia piuttosto a quella del suo collega tedesco. Verranno di fatto meno anche le occasioni di contatto con l'esempio francese. Ora diventerà via via più impensabile che per impostare una certa attività chimica si cerchi ufficialmente ispirazione rivolgendosi all'esperienza francese come quando nel 1883, avendo lo Stato italiano assunto la gestione diretta del monopolio dei tabacchi, il senatore Cannizzaro venne incaricato di recarsi in Francia per studiare come fosse organizzata oltralpe la pratica dei laboratori chimici per la programmazione della produzione del tabacco. Il modello dal quale si mutuerà sarà sempre più quello tedesco — con la Germania progressivamente più coinvolta nell'economia e nella finanza italiana⁶ — mentre si va cedendo alle proposte dello Stato fascista che promette di risolvere in positivo, proteggendo l'economia nazionale, la tradizionale contraddizione agricoltura-industria. Effettivamente, le industrie chimiche ebbero uno sviluppo più che notevole negli anni Venti: il settore passò da 50.000 addetti a 100.000 addetti in soli quindici anni.⁷ Non si può far altro che constatare che la perdita progressiva della libertà nel perseguimento di linee di ricerca non indirizzate dall'alto altro non è che il prezzo che i chimici sperimentali italiani hanno dovuto pagare per sopravvivere in un settore caratterizzato da disoccupazione non indifferente e mantenere almeno la speranza di partecipare ad un processo di sviluppo industriale tardivo e poco spontaneo.

⁶ Per capire quanto lo fosse basta pensare a quanto il capitale tedesco fosse presente all'interno di grossi istituti finanziari come la Banca Commerciale italiana che fornivano finanziamenti alle industrie italiane in pieno sviluppo. Molte polemiche sorsero proprio sul ruolo della Commerciale, che sostenevano le seguenti tesi: che la Banca controllava per conto della Germania un numero di aziende; che direttamente o indirettamente aveva in mano la maggior parte delle società elettriche italiane, servendosi della sua posizione per imporre materiali e tecniche che subordinavano le industrie italiane ai modelli tedeschi; che concedeva crediti a certe aziende a patto che si servisse di macchinari tedeschi. (vd. Giovanni Preziosi, *La Germania alla conquista dell'Italia* e anche Bachi, *Italia economica 1914*, citati in Webster, *L'imperialismo industriale italiano. Studi sul prefascismo 1908-1915*).

⁷ Alla vigilia della crisi del '29 la Montecatini esercitava ormai un predominio incontrastato, controllava 44 società, impiegava 18.000 operai, era l'azienda leader in ogni settore della chimica inorganica e possedeva quote importanti in campo minerario, metallurgico, elettrico, controllava quote azionarie di decine di società italiane ed estere, era presente nel cartello internazionale dell'azoto.

BIBLIOGRAFIA

- BALLINI CLAUDIO, *La professione del chimico in Italia dall'età liberale alla seconda guerra mondiale*, tesi di laurea in Lettere, a.a. 1996. Vd. Bibliografia relativa.
- BENSAUD-VINCENT BERNARDETTE - STENGERS ISABELLE, *Histoire de la chimie*, Paris XIII, Editions de la Découverte, 1993.
- Camera dei Deputati, *La legislazione fascista 1922-1928*, Roma, Tipografia della Camera dei Deputati, 1929.
- CRAWFORD E. - HEILBRON J.L. - ULBRICH R., *The Nobel Population 1901-1937. A Census of the Nominators and Nominees for the Prizes in Physics and Chemistry*, Office for History of Science and Technology of the University of California and Office for History of Science of Uppsala University.
- GABBA L., *Sull'indirizzo dell'insegnamento nelle scuole di chimica applicata all'industria*, Milano, Bernardini, 1886.
- NYE MARY JO, *Science in the provinces. Scientific communities and Provincial Leadership in France, 1860-1930*, University of California Press, Berkeley, 1986.
- Il politecnico di Milano: una scuola nella formazione della società industriale, 1863-1914*. Milano, Electa, 1918. Catalogo della mostra omonima.
- PUGNO GIUSEPPE MARIA, *Storia del Politecnico di Torino: dalle origini alla vigilia della seconda guerra mondiale*, Torino, Tip. SAN, 1959.
- TESTI GINO, *Storia della chimica, con particolare riguardo all'opera degli italiani*, Roma, Casa Editrice Mediterranea a. XVIII (1940).

INTRODUZIONE

Il numero di materiali estratti dalla natura fino alla comparsa sulla Terra dell'uomo, era limitato. La paglia per costruire capanne, la lana di pecora per i tessuti, la ceramica primitiva, tuttavia, volutarono in questi materiali il potenziale innovativo dei materiali estratti dalla natura. I materiali polimerici, e quelli estratti dalla natura, e i materiali estratti dalla natura, e i materiali estratti dalla natura, e i materiali estratti dalla natura.

Come si sia pervenuti a questi materiali, e come si sia pervenuti a questi materiali, e come si sia pervenuti a questi materiali, e come si sia pervenuti a questi materiali, e come si sia pervenuti a questi materiali.

(*) Villaggio Polimeri, 15, 15100 Torino
(**) Villaggio Polimeri, 15, 15100 Torino
(***) Villaggio Polimeri, 15, 15100 Torino

PAOLO MALTESE (*)

Storia dei composti polimerici fibrorinforzati ()**

History of fiber reinforced polymer composites.

Summary - Up to the beginning of this century materials of construction have been metals, ceramics and wood. Synthetic polymers have been newcomers among materials since only the first half of this century, and because of their peculiar properties they have open new fields of application, first as substitutional, then as new structural materials.

In the 40's a very special and fortunate application has been found between polymers and structural fibers, the first of which, the glass fiber, has been produced along with a research on a completely different subject, fracture of materials.

The 2° World War, the spatial competition between the superpowers in the 60's and the great energy crisis in the 70's have been great driving forces in the development of fiber reinforced polymer composites, because of their unique specific mechanical properties.

INTRODUZIONE

Il rinforzo di materiali comuni mediante materiali fibrosi è stato adoperato fin dalla comparsa sulla Terra del «Pitecantropus Erectus»: fango impastato con paglia per costruire capanne o mattoni essiccati al sole, come forma di una «edilizia» primitiva; tuttavia soltanto in questo secolo è stato compreso l'enorme potenziale innovativo dei materiali composti fibrorinforzati, a seguito dell'affermarsi dei materiali polimerici e dell'associazione fra polimeri e fibre, che presenta caratteristiche meccaniche specifiche superiori a quelle di qualsiasi altro materiale.

Come si sia pervenuti a queste constatazioni è una storia affascinante di imprenditoria industriale, di ricerca scientifica, di serendipity, e del loro incontrarsi attraverso le vie imprevedibili delle vicende umane.

(*) Villaggio Polymer, 15 - 05100 Terni.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

L.H. BAEKELAND

Il primo polimero, termoidurente, prodotto industrialmente da *L.M. Baekeland* nel 1909 (USA) è stata la *resina fenolo-formaldeide*, ottenuta mediante un accurato controllo della reazione, già scoperta ma non adeguatamente regolata da *von Bayer* nel 1872.

All'inconveniente della fragilità della «*Bakelite*», Baekeland ha fatto fronte rinforzandola con fibre tessili naturali: il brevetto è del 1916 [1].

Il necessario impiego della pressione e della temperatura per la fabbricazione dei compounds finali ha portato alla progettazione di mescolatori e presse, e quindi al processo di *termoformatura*.

C.E. INGLIS E A.A. GRIFFITH

In quegli stessi anni, in Inghilterra, due ricercatori tentavano di risolvere un problema chiave che da sempre aveva assillato i materiali e le loro costruzioni: *la frattura*.

È necessario un brevissimo passo indietro.

Nel 1679 *R. Hooke* aveva enunciato la legge della elasticità «*ut tensio sic vis*», e nel 1807 *T. Young*, ponendo in relazione vis e tensio, aveva definito il *modulo elastico*, o rigidità, di un materiale; infine nel 1822 *Cauchy* aveva posto in relazione la vis con l'area della superficie di applicazione, definendo così il concetto di «*sforzo*», posto a sua volta in relazione con la tensio come «*deformazione relativa*» [2].

Questi principi avevano consentito di elaborare il *diagramma sforzo-deformazione*, o carta di identità meccanica dei materiali: nel diagramma era facile identificare sforzo e deformazione a frattura, era facile calcolare il *lavoro di frattura* come area sottesa dalla curva (*Eulero*): ma il diagramma nulla diceva sulla genesi della frattura.

Inoltre nella pratica il fenomeno della frattura era ulteriormente complicato per i materiali soggetti a *fatica meccanica*, cioè a sollecitazioni meccaniche ripetute: in particolare le ricerche condotte verso la fine dello scorso secolo da *A. Wöhler*, ingegnere capo delle ferrovie bavaresi, sul materiale viaggiante e sulle strutture ferroviarie aveva portato alla preoccupante constatazione che caldaie, assali, binari, ponti, parti sollecitate con sforzi ripetuti ancorché molto inferiori allo sforzo a rottura dei materiali originali, dopo un certo numero di cicli potevano cedere senza preavviso, di schianto, con gravissime perdite di vite umane e di materiali.

I tentativi di aumentare lo sforzo a rottura operando sulle dimensioni dei materiali non aveva dato risultati: il «coefficiente di sicurezza» così tentato era stato ribattezzato coefficiente di ignoranza.

Nel 1913 C.E. Inglis, professore a Cambridge presso la facoltà di ingegneria, evidenziò l'importanza chiave non tanto dello sforzo (σ) in sé quanto della concentrazione dello sforzo sui difetti inevitabilmente presenti nei materiali, e calcolò il *fattore di concentrazione dello sforzo* (k) all'apice di un difetto assunto ellittico, come la radice del rapporto fra il semiasse maggiore dell'ellisse (a) e il raggio di curvatura all'apice (r) [2]:

$$k = \frac{\sigma}{\sigma_0} = \left[1 + 2 \sqrt{\frac{a}{r}} \right]$$

Il coefficiente risultò dell'ordine di qualche 10^2 : questa elevata concentrazione dello sforzo giustificava la possibilità di frattura dei materiali fragili, ma era meno attendibile per i materiali duttili.

Nel 1920 A.A. Griffith, ricercatore presso il Royal Aircraft Establishment di Farnborough affrontò il problema dal punto di vista dell'energia, e considerò la concentrazione dello sforzo agli apici dei difetti soltanto come un meccanismo per trasformare l'energia di deformazione accumulata da un corpo sotto sforzo in energia di propagazione dei difetti fino a frattura, energia che per un corpo fragile doveva corrispondere all'energia superficiale delle nuove superfici formatesi [3]:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{E\gamma}{a}}$$

dove E è il modulo elastico tensile, γ è l'energia superficiale e a è la lunghezza di un difetto.

Allo scopo di rendersi indipendente dalle complicazioni dovute alla plasticità dei materiali duttili, Griffith lavorò col vetro, e allo scopo di confermare il ruolo dei difetti operò con campioni di vetro sotto forma di *fibre* con diametri sempre più piccoli, ottenendo conferma che riducendo il diametro si riducevano anche le dimensioni dei difetti e si aumentava fortemente lo sforzo critico di frattura: da 1800 kg/cm² per una lastra di vetro, il lavoro di frattura per una fibra con diametro di pochi μm fu estrapolato a 112.000 kg/cm² (teorico 140.000) [2].

Griffith lavorò di nascosto rispetto ai programmi dell'istituto che prevedevano ricerche soltanto sui materiali strutturali: un incendio nel suo laboratorio mise in evidenza il tipo di materiali con cui egli lavorava, e quindi fu licenziato. Griffith aveva però gettato le basi concettuali e sperimentali per la fabbricazione della prima *fibra strutturale*, e aveva così dato inizio alla realizzazione dell'auspicio che R. Hooke aveva espresso 250 anni prima osservando le eccezionali proprietà del filo prodotto dal ragno: una fibra strutturale naturale con proprietà specifiche, come oggi è noto, superiori a quelle dell'acciaio [4].

Il lavoro di Griffith è stato inoltre l'atto di nascita della «meccanica della frattura lineare elastica» ampliata ed estesa ai materiali duttili nel secondo dopoguerra da altri ricercatori (Orowan, Irwin, e altri) come «meccanica della frattura elastoplastica» [5, 6]:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{EG}{a}}$$

L'equazione di Griffith ha avuto altre conseguenze fondamentali; riscritta nella forma:

$$\sigma_c = \sqrt{E} \sqrt{\frac{G}{a}}$$

essa indica che una fibra strutturale e, in generale, qualsiasi materiale strutturale oltre a limitati difetti (a) e alto lavoro di frattura (G) deve avere alto modulo elastico (E), cioè alta rigidità: se si considera che la fibra di vetro ha un modulo elastico di 70 GPa e le fibre tessili di non più di 0,5-1 GPa, si comprende subito la differenza chiave tra fibre strutturali e fibre tessili. Inoltre riscrivendo l'equazione di Griffith nella forma:

$$K = \sigma_c \sqrt{a} = \sqrt{EG}$$

si definisce una nuova grandezza, il *fattore di intensità dello sforzo* all'apice di un difetto (K), molto più informativo del fattore di Inglis [7], e di più facile misura rispetto alla energia di frattura; questo fattore è inoltre il parametro che compare nella equazione di *Paris* relativa al comportamento a fatica dei materiali come crescita dei difetti in funzione del numero dei cicli di fatica [8]:

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m$$

Tuttavia le fibre di vetro di Griffith sarebbero forse rimaste a livello di ricerca scientifica se negli Stati Uniti non si fosse verificato uno di quegli episodi casuali che si rivelano poi ricchi di conseguenze: un operaio addetto alla lavorazione di bottiglie di vetro per latte si accorse che dal vetro fuso si potevano «tirare» fibre sottili molto resistenti: due anni dopo le fibre di vetro erano in produzione industriale (Owens-Corning Glass, 1939) [9].

FIBRE STRUTTURALI E POLIMERI: I COMPOSITI

Negli anni '30 poliesteri insaturi da glicole etilenico ed anidride maleica sono stati copolimerizzati con stirolo dando così nuove resine termoindurenti

(*resine poliestere*) più facilmente gestibili delle resine fenolo-formaldeide (Ellis, 1930-1933) [10]. Negli stessi anni un nuovo evento casuale ha sollecitato l'attenzione dei ricercatori sulla possibilità di associazione tra polimeri e fibre: in un laboratorio, negli Stati Uniti, la soluzione di un polimero versata per caso su un batuffolo di fibre di vetro ha dato un materiale con notevolissime proprietà meccaniche, e in particolare con una energia specifica di frattura molto elevata; ma, e questa è stata la novità, questo sorprendente risultato non è stato dovuto soltanto ad una frattura, in senso classico, della matrice polimerica o delle fibre, bensì anche al fatto che l'apice di una cricca della matrice a contatto con una fibra viene smussato e il fattore di intensità dello sforzo cade a zero; pertanto al lavoro totale di frattura contribuisce in modo determinante la somma dei lavori di «*debonding*» e di «*pull-out*» delle fibre, correlato col lavoro di adesione e di attrito fibre-matrice [12, 13], che per concentrazioni dei filamenti fra 10^3 e 10^6 /cm² risulta ingente [11]. Inoltre mentre nel caso dei metalli la frattura a fatica avviene mediante propagazione di una sola, o di poche, cricche, nel caso dei CPFR si verifica una propagazione del danno progressiva in cui cricche della matrice, cricche delle fibre, debonding, pull-out delle fibre e delaminazione si propagano attraverso le numerose interfasi del composito, cosicché una frattura catastrofica è evitabile [56].

Gli *eventi bellici degli anni '40* hanno dato una forte accelerazione all'impiego di nuovi materiali ottenibili dai compositi polimerici fibrorinforzati (CPFR) con fibre di vetro, le sole allora note:

- il «*radom*» o calotta emisferica di protezione del radar è stata la prima applicazione in Inghilterra;
- la fusoliera dell'aereo BT15 sperimentato il 24 marzo 1944 nella base aerea di Wright-Patterson (USA) è stata un'applicazione successiva di pochi anni all'impiego di CPFR per lo scafo di imbarcazioni. La struttura aveva conformazione a sandwich con un cuore in legno di balsa fra due strati di resina poliestere fibrorinforzata, del 50% più resistente di analoghe strutture in legno o in alluminio [14].

Nello stesso periodo nel laboratorio aeronautico di Farnborough, dove aveva lavorato Griffith, il professor J. Gordon ricevette inopinatamente da un proprietario di circo equestre, G. May, un oggetto «da impiegare per gli aerei» (1943) [2]: si trattava della struttura a nido d'ape leggerissima, da adoperare come cuore di strutture composite a sandwich, capace di impartire al sistema alta resistenza a flessione [15-19]. I parametri che infatti presiedono all'ottimizzazione della *resistenza a trazione*, a *compressione* a *flessione* per un materiale strutturale sono i rapporti fra modulo elastico (E) e densità (ρ) E/ρ , $E^{1/2}/\rho$, $E^{1/3}/\rho$, i quali nell'ambito della densità dei polimeri di sintesi (0,9-1,3 g/cm³) raggiungono valori specifici dell'ordine di 100 GPa contro valori specifici di circa 25 per i metalli come ferro e alluminio [20].

Si completava così il quadro tecnologico che apriva la strada all'impiego pratico dei CPFR, di basso peso specifico e alte proprietà meccaniche specifiche.

LA COMPETIZIONE SPAZIALE E LA CRISI ENERGETICA

Due eventi di grande rilevanza hanno dato un ulteriore forte impulso allo sviluppo dei CPFR nella seconda metà di questo secolo: la *competizione spaziale fra le due superpotenze* negli anni '50-'60 e la *prima crisi energetica della storia* negli anni '70; ambedue hanno pressantemente richiesto materiali leggeri con alte proprietà meccaniche specifiche con l'obiettivo della riduzione del peso dei mezzi e del risparmio di carburante, lievitato a costi insostenibili dopo la crisi degli anni '70. Così, mentre anche i polimeri commodities, e in special modo le poliolefine, andavano verso una forte crescita dopo la scoperta dei catalizzatori Ziegler-Natta, nuovi polimeri e nuove fibre sono state sviluppate con un obiettivo termodinamico ambizioso: aumentare le caratteristiche termomeccaniche aumentando la densità di energia di coesione (e_c) e riducendo l'entropia di fusione [21-24]:

$$T_m = \frac{\Delta H_m}{\Delta S_m} = \frac{e_c + p}{\Delta s_m}$$

Questo filo conduttore ha portato alla sintesi di macromolecole con strutture aromatico-eterocicliche altamente stabilizzate per risonanza, prive di tensione negli angoli di legame, ma comunque dotate di gruppi capaci di mitigarne la rigidità e di renderle trattabili [22]. Un esempio ormai classico del salto di caratteristiche fra polimeri «alifatici» e «aromatici» si rileva dal confronto fra le caratteristiche del poliesametildiamminoadipato (Nylon 66) e del poli-parafenilendiamminotereftalato (Kevlar): le temperature di fusione e di transizione vetrosa sono rispettivamente 265° e 65 °C, e 570° e 370 °C.

I tecnopolimeri sintetizzati a seguito di queste ricerche e sperimentati come matrici per CPFR hanno segnato il passaggio da un interesse prevalentemente chimico ad un interesse fisico ed ingegneristico in questo settore, e alla progettazione di una vera e propria ingegneria dei legami chimici per la produzione di strutture macromolecolari «taylor made», resistenti fino a 800 °C in azoto, a 600 °C in aria, e con permanenza prolungata in aria fino a 250 °C [23, 24]. Esempi di questi polimeri sono: i *polimeri termoplastici* polietere-etero-chetone, le polimidi, le poliammidi-immidi, le polietereimmidi, il polisolfone, il polifenilensolfuro [17]; i *polimeri termoindurenti*, epossidici, bismaleimmidici, poliestere, fenolici; le matrici miste termoindurenti-termoplastiche [25, 26].

Questi nuovi polimeri hanno comportato l'affinamento dello studio della reologia dei processi (chemoreologia) [27, 28], la ricerca dei metodi di indagine

chimico fisica (analisi termica) e meccanica (spettroscopia dinamico-meccanica, ultrasuoni), lo studio degli adesivi polimerici strutturali e della giunzione fra le parti [29].

Contemporaneamente ai nuovi polimeri nuove fibre strutturali sono state messe a punto nella seconda metà di questo secolo: la *fibra di carbonio* già studiata da Edison fino dal 1880 come filamento incandescente per lampade elettriche, poi abbandonata a causa della instabilità in questa applicazione, ma ripresa a seguito della ricerca sui materiali superrefrattari di rinforzo per le strutture ablative adoperate nelle navicelle spaziali e in missilistica: come precursori sono stati adoperati la fibra di *Rayon* (1958), la fibra di *poliacrilonitrile*, la pece [30, 31]. I compositi a base di fibre di carbonio e polimeri epossidici sviluppati in questi ultimi anni danno prestazioni tali da poter essere impiegati per parti strutturali di aerei e automobili. La *fibra di boro* (1963) è stata considerata «la più grande scoperta in 4000 anni di impiego dei compositi, da quando gli ebrei in Egitto fabbricavano mattoni usando fango rinforzato con paglia» [32]; questa fibra è stata ottenuta per deposizione di vapori di boro (da cloruro di boro e idrogeno) su filo precursore di tungsteno o di carbonio a 1800 °C (Telley, Texaco, 1959) [33]; essa deve le sue notevolissime proprietà meccaniche all'alto modulo elastico, alla bassa densità ed al basso peso atomico; infatti la correlazione fra modulo elastico e densità di energia di coesione lascia prevedere che gli elementi del primo periodo, di basso peso atomico (M), siano i più propensi a dare fibre strutturali con alte prestazioni [17, 34]:

$$e_c \propto \frac{U}{V} \propto \frac{U}{M} \rho$$

La *fibra aramidica Kevlar* (S. Kwolek, Du Pont, 1964) [35], definita «una nuova fibra di sogno, la più sensazionale dopo il nylon 66», è caratterizzata dall'alta rigidità strutturale dovuta alla giacitura degli anelli aromatici sullo stesso piano del gruppo peptidico con conformazione trans ed alta energia rotazionale intorno al gruppo $-\text{CONH}-$ (15-20 kcal/mole).

La sua bassa entropia di fusione è dovuta alla formazione in soluzione di cristalli liquidi liotropici nematici, e la filatura da acido solforico (20%, 85° C) fornisce una struttura cristallina (98%) orientata che nella successiva fase di stiro ne sviluppa totalmente le eccezionali proprietà meccaniche [36-40].

Va ricordato che lo sviluppo delle fibre strutturali ha avuto uno dei sostenitori più importanti nel laboratorio materiali delle USAAF, che ha escluso la fibra di vetro (modulo elastico 70 GPa) dalle strutture aeree primarie, mentre ha considerato valide le fibre di boro (modulo elastico 400 GPa).

Fra le tecnologie di lavorazione le più innovative sono state quelle che impiegano fibre continue impregnate col prepolimero e col reticolante (se le matrici sono termoindurenti), mantenute a bassa temperatura per evitarne la

reticolazione (*prepregs*), e lavorate ad esempio mediante il *filament winding* (1945) la *pultrusione* (1951), il *resin transfer moulding* [41-43], la «cura» in forno a definite temperature.

APPLICAZIONI

Dopo la seconda guerra mondiale l'impiego dei CPFR si è esteso a settori sempre più vasti della vita civile e del genio militare, con due indirizzi: la sostituzione di materiali non strutturali, e l'impiego come materiali strutturali.

Gli obiettivi di questa strategia sono stati a loro volta:

1. quello generale della riduzione del peso delle strutture specialmente aeree e automobilistiche [20, 44], associate a prestazioni meccaniche superiori e al risparmio energetico;

2. obiettivi più specifici, di cui è possibile citare soltanto qualche esempio, come la fattibilità stessa dei progetti aerospaziali (strutture leggere ablativo) [22, 45], l'abbassamento del baricentro dei treni ad alta velocità [46], la fabbricazione delle strutture delle automobili di un certo livello, con l'ovvio obiettivo della estensione a tutti i modelli per assicurare maggiore protezione dei trasportati [55], la sostituzione del blocco motore con risparmio di peso per veicoli terrestri [16, 47], l'elusione della radiolocalizzazione per gli aerei militari [48], l'impiego di pipelines leggere non corrodibili per il trasporto dell'acqua potabile [33, 49, 50] l'applicazione di arti in ortopedia [51], l'innovazione nel settore sportivo e persino nelle strutture antisismiche come ponti stradali [52], e nelle strutture offshore [52, 53].

CONCLUSIONE

I CPFR hanno un mercato mondiale di circa 4 milioni di tonnellate per un valore commerciale di circa 24 mila miliardi di lire e, secondo Du Pont, se ne prevede un aumento di un ordine di grandezza nei primi anni del prossimo secolo, con oltre il 30% delle applicazioni nei trasporti e il 20% nelle costruzioni.

I costi di produzione sono vantaggiosi (circa il 15% in meno) per il ridotto costo di assemblaggio dovuto al molto minor numero di parti (10-30%) rispetto ai materiali standard, malgrado i costi dei materiali e della fabbricazione dei compositi avanzati siano attualmente superiori rispetto ai materiali standard; inoltre il risparmio in peso del 20-40% consente un sensibile risparmio di carburante per i mezzi di trasporto [43], e specialmente per il trasporto aereo: una riduzione di peso di 100 kg comporta infatti un risparmio di oltre 250.000 litri di carburante in un anno.

Ma i CPFR non hanno soltanto importanti aspetti industriali e commerciali: essi costituiscono un campo di ricerca aperto, ancora da esplorare: la progres-

siva sostituzione delle matrici termoidurenti con matrici termoplastiche avanzate [14, 19], la variazione delle proprietà che se ne attende, lo studio dell'interfase fibra matrice e della durabilità ambientale, i metodi di valutazione, i metodi di giunzione fra le parti e di riparazione delle parti danneggiate, i nuovi macchinari computerizzati per la fabbricazione [54], sono tutti argomenti che mantengono completamente aperta l'esplorazione multidisciplinare su uno dei materiali più affascinanti del futuro.

BIBLIOGRAFIA

- [1] D.V. ROSATO in: G. Lubin, Ed.: «Handbook of Fiber Glass and advanced Plastics Composites», van Nostrand-Reinhold, New York, 1982, cap. 1.
- [2] J.E. GORDON: «La Scienza dei Materiali resistenti», Est Mondadori, Milano, 1976; «Structure», Est Mondadori, Milano, 1979; «Strutture sotto Sforzo», Zanichelli, Bologna, 1991.
- [3] A.A. GRIFFITH: Phil. Trans. Royal Soc. London, *A221*, 163 (1921).
- [4] J.M. GOSLINE, M. EDWIN DE MONT, M.W. DENNY: *Endeavour*, *10* (1), 37 (1986).
- [5] B.W. CHERRY: «Polymer Surfaces», Cambridge, University Press, Cambridge 1981.
- [6] B. LAWN: «Fracture of brittle Solids», Cambridge, University Press, Cambridge, 1993.
- [7] R.W. HERTZBERG: «Deformation and fracture mechanics of engineering materials», 3^a ed., J. Wiley, New York, 1989.
- [8] S. SURESH: «Fatigue of Materials», Cambridge, University Press, Cambridge, 1991.
- [9] C.E. KNOX, in rif. 1) cap. 8.
- [10] I.H. UPPERGRAFF, in rif. 1) cap. 2.
- [11] P. MALTESE: *Materie Plastiche ed Elastomeri*, ottobre 1996, p. 605.
- [12] A. KELLY, N.H. MACMILLAN: «Strong Solids», Oxford University Press, 1986.
- [13] R. YOSOMIYA, K. MORIMOTO, A. NAKAJIMA, Y. IKADA, T. SUZUKI: «Adhesion and Bonding in Composites», M. Dekker, New York, 1990.
- [14] *Reinforced Plastics*, Sept 1996, p. 44.
- [15] A.C. MARSHALL, T.W. ENGELBRECHT: «Encyclopedia of Polymer Technology», J. Wiley, New York, 7, 1967.
- [16] P. MALTESE: *Materie Plastiche ed Elastomeri*, maggio 1995, p. 303.
- [17] *Materie Plastiche ed Elastomeri*, settembre 1992, p. 339.
- [18] A. MARSHALL, in rif. 1), cap. 21.
- [19] A. OFFRINGA, C.R. DAVIES: *J. Advanced Materials*, Jan., 1996, p. 2.
- [20] F.L. MATTHEWS, R.D. RAWLINGS: «Composite Materials, Engineering and Science», Chapman and Hall, London, 1994.
- [21] P.K. MALLICK: «Fiber Reinforced Composites», M. Dekker, New York, 1993.
- [22] P. MALTESE: *Materie Plastiche ed Elastomeri*, febbraio 1988, p. 84.
- [23] P.E. CASSIDY, in: R.B. SEYMOUR, Ed.: «History of Polymer Science and Technology», M. Dekker, New York, 1981.
- [24] T.T. SERAFINI, in rif. 1), cap. 6.
- [25] P. MALTESE: *Materie Plastiche ed Elastomeri*, Maggio 1996, p. 289.
- [26] *Materie Plastiche ed Elastomeri*, maggio 1990, p. 220.
- [27] P. MALTESE: *Materie Plastiche ed Elastomeri*, gennaio 1990, p. 24; febbraio 1990, p. 83; marzo 1990, p. 132.

- [28] P. MALTESE: *Materie Plastiche ed Elastomeri*, luglio-agosto 1995, p. 452.
- [29] P. MALTESE: *Materie Plastiche ed Elastomeri*, giugno 1990, p. 275; settembre 1990, p. 382; ottobre 1990, p. 456.
- [30] D.M. RIGGS, R.J. SHUFORD, R.W. LEWIS, in rif. 1) cap. 10.
- [31] P. MALTESE: *Materie Plastiche ed Elastomeri*, febbraio 1989, p. 84.
- [32] J.W. MILEWSKI, in rif. 1) cap. 10.
- [33] *Materie Plastiche ed Elastomeri*, novembre-dicembre 1996, p. 664.
- [34] N.J. PARRAT: «Fibre reinforced Materials Technology»: van Nostrand-Reinhold, London, 1972.
- [35] T. HONGU, G.O. PHILLIPS: «New Fibers», Ellis Horwood, London, 1990.
- [36] H.N. YOON, L.F. CHARBONNEAU, G.W. CALUNDANN: *Advanced Materials* 4, (3), 206, 1992.
- [37] P. MALTESE: *Materie Plastiche ed Elastomeri*, maggio 1989, p. 242.
- [38] a) P.W. MORGAN, in rif. 23, p. 49. b) C.C. CHIAO, T.T. CHIAO, in rif. 1), cap. 12.
- [39] P. MALTESE: *Materie Plastiche ed Elastomeri*, novembre 1988, p. 567; dicembre 1988, p. 617; febbraio 1989, p. 84; marzo 1989, p. 133; maggio 1989, p. 242.
- [40] G. LUBIN, S.J. DASTIN, in rif. 1), cap. 28.
- [41] M. MARCHETTI, D. CUTOLO: «Tecnologie dei Materiali Compositi», Masson, Milano, 1995.
- [42] B.D. AGARWAL, L.J. BROUTMANN: «Analysis and Performance of Fiber Composites», 2° ed., J. Wiley, New York, 1990.
- [43] a) J.A. GRANDE: *Materie Plastiche ed Elastomeri*, settembre 1995, p. 574; b) *Materie Plastiche ed Elastomeri*, febbraio 1990, p. 79; c) F. D'ORIA, *Materie Plastiche ed Elastomeri*, aprile 1991, p. 184.
- [44] *Materie Plastiche ed Elastomeri*, giugno 1992, p. 227.
- [45] H. WEISSHAUS, I. ENGLEBERG: *J. Advanced Materials*, gennaio 1997, p. 16.
- [46] *Reinforced Plastics*, febbraio 1997, p. 30.
- [47] C.K. NARULA, J.E. ALLISON, D.R. BAUER, H.S. GANDHI: *Chemistry of Materials*, 8, 984, 1996.
- [48] R.A. STONER: *Sampe J.* 27 (5), 2 (1991).
- [49] *Reinforced Plastics*, Sept. 1996, p. 68.
- [50] *Reinforced Plastics*, Febbraio 1997, p. 4.
- [51] L. NICOLAIS, L. AMBROSIO, R. DE SANTIS: «AIM: Polimeri in Medicina», Pacini, Pisa, 1997.
- [52] *Reinforced Plastics*, Novembre 1996, p. 22; *Materie Plastiche ed Elastomeri*, novembre-dicembre 1993, p. 30.
- [53] *Reinforced Plastics*, Novembre 1996, p. 44.
- [54] *Reinforced Plastics*, Giugno 1997, p. 54.
- [55] *Materie Plastiche ed Elastomeri*, Marzo 1992, p. 60.
- [56] F.R. JONES, Ed.: «Handbook of Polymer Fiber Composites», Longmann Scientific and Technical, London, 1994.

EUGENIO MARIANI (*)

Ludwig Mond e l'Italia (**)

Summary - Ludwig Mond was one of the most outstanding technologists of the second half in the 18th century. He made researches of great importance concerning to the soda production, the recovery of sulfur from by-products, recovery of ammonia from solid combustibles development of metal carboniles and their use in the extraction of nickel from minerals.

Mond must be remembered for his proved interest in our country, where he spent many winters and for his relationship with Italian chemists.

Ludwig Mond rappresenta indubbiamente una delle personalità più eminenti della tecnologia chimica della seconda metà dell'800; a lui si devono alcune realizzazioni che hanno avuto conseguenze tecnico-economiche importanti, non solo per l'Inghilterra, dove egli, di origine tedesca, si trasferì appena trentenne e rimase per tutto il rimanente della sua vita.

Cercherò di percorrere brevemente le tappe più importanti della sua multiforme attività.

Mond nacque a Cassel il 7 Marzo 1839; dopo i primi studi compiuti nella città natale si trasferì a Marburg (1855) a studiare chimica sotto la guida di Hermann Kolbe, noto a tutti per le sue sintesi organiche. Dopo un anno passò ad Heidelberg dove ebbe come maestro R.W. Bunsen e dove dopo tre anni interruppe gli studi di Chimica, senza aver conseguito alcun titolo accademico, e ciò forse in parte per mancanza di fondi ma soprattutto perché riteneva di avere appreso a sufficienza quella parte di chimica da potere applicare a realizzazioni pratiche da sfruttare economicamente.

Abbandonati gli studi passò i primi anni in diverse piccole industrie: si recò presso uno zio che aveva a Colonia una attività di galvanoplastica, poi a Mar-

(*) Già ord. di Chimica industriale alla Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

burg in una lavorazione di acido acetico ottenuto dalla distillazione del legno (acido pirolegnoso), poi in una piccola fabbrica di carbonato sodico nei pressi di Cassel, ecc.

Ciò che lo colpì particolarmente in queste sue prime esperienze professionali fu la modesta cultura scientifico-tecnica riscontrata nei suoi superiori, e fin d'allora comprese che nell'industria chimica era possibile realizzare notevoli vantaggi economici utilizzando e valorizzando i vari sottoprodotti, spesso abbondanti. Così nelle brevi permanenze nelle varie fabbriche ricordate ebbe modo di dimostrare le sue capacità: nella fabbrica di galvanoplastica, dove rimase per breve tempo, mostrò che era possibile incrementare i profitti valorizzando i sottoprodotti quali solfato di zinco ed acido nitrico; nella fabbrica di acido pirolegnoso in breve mise a punto la produzione di verde rame, e lavorando nella fabbrica di carbonato sodico si dedicò alla ricerca di un sistema di ricupero dello Zolfo impiegato nella lavorazione sotto forma di acido solforico che finiva tutto nel solfuro di calcio, sottoprodotto particolarmente dannoso perché all'aria sviluppava idrogeno solforato, nocivo per la salute e per l'agricoltura. Inoltre allora in Germania tutto lo zolfo impiegato proveniva dalla Sicilia e rappresentava una materia prima piuttosto costosa. In diversi si erano cimentati nel problema del suo ricupero ma con scarso successo perché mancava loro, come riteneva Mond, una sufficiente cultura chimica. Mond condusse ricerche in un piccolo laboratorio costruitosi in una stanza occupata in casa dello zio proprietario della vicina lavorazione galvoplastica; nel 1861 fu in grado di ottenere un brevetto basato sulla ossidazione del solfuro di calcio con l'ossigeno atmosferico, successiva lisciviazione dei prodotti solubili dai quali era possibile ottenere zolfo. Tutti quelli che avevano tentato questo ricupero, fin dal 1836, non erano riusciti a mettere a punto un sistema valido date le loro basse rese.

Mond pensò che il Paese più adatto per lo sfruttamento del brevetto conseguito fosse l'Inghilterra dove la produzione della soda col processo LeBlanc era molto più sviluppata che in Germania, prese un brevetto in Inghilterra dove poi si recò alla ricerca di qualche industriale che lo adottasse; il primo fu Hutchinson di Widness ma il risultato ottenuto non fu molto soddisfacente. Mond capì i punti deboli del suo sistema ed in conseguenza apportò al metodo alcune varianti arrivando l'anno dopo (1863) a risultati abbastanza soddisfacenti.

Rientrato in Germania si trasferì ben presto in Olanda dove fu incaricato della costruzione e direzione di un impianto di soda LeBlanc a Utrecht dove rimase per circa tre anni approfondendo tutta la tecnica di questo processo. Nel 1867 tornò in Inghilterra dove perfezionò ulteriormente il sistema di ricupero dello zolfo nella fabbrica di Hutchinson che lo assunse alle proprie dipendenze. Lì conobbe John Brunner, altro giovane che si occupava della parte commerciale. L'impiego andava stretto ad entrambi i giovani, ambiziosi, che sognavano grandi cose, ritenendo di doversi mettere in società per sviluppare una qualche lavorazione di fertilizzanti o di carbonato sodico. Mentre fantasticavano su

questo loro futuro da imprenditori un amico segnalò a Mond che in Belgio Solvay aveva realizzato un procedimento nuovo di fabbricazione della soda che aveva il vantaggio di non dare sottoprodotti dannosi e che stava dando buoni risultati. Mond partì subito per il Belgio per incontrare Solvay al quale fece questo discorso: gestisco un processo che ho inventato per utilizzare i residui della fabbricazione della soda LeBlanc; un amico mi ha convinto dell'avvenire del vostro processo, che sopprime la ragione d'essere del mio, sono venuto qui per accordarmi con Voi.

Solvay aveva iniziato le sue ricerche fin dal 1861 ma una lunga serie di difficoltà aveva rallentato la realizzazione del nuovo procedimento e solo verso il 1865/66 Solvay ebbe modo di far marciare l'impianto costruito a Couillet riuscendo ad ottenere una produzione di 1,5 tonnellate di soda al giorno salita poi a circa 3 nel 1869.

Mond arrivò da Solvay nella primavera del 1872; nonostante il carattere riservato lo accolse senza reticenze, gli aprì la sua fabbrica e Mond ebbe modo di vedere i risultati raggiunti, di apprezzare il valore del nuovo processo e propose subito un accordo.

Solvay fu molto lusingato dalla visita di Mond e lo considerò uno dei primi frutti del proprio successo industriale. Ricordando questo incontro in un discorso tenuto in occasione del 25° della creazione della Solvay egli ebbe a dire: «Non dimenticherò mai la felicità e la fierezza che ci causò la sua visita. Con il colpo d'occhio sicuro del chimico progressista e dell'uomo d'affari Mond, pure lui inventore di un processo industriale (in una direzione del tutto opposta) seppe indovinare il futuro riservato alla nuova industria e subito trattò per la sua introduzione in Inghilterra».

Subito dopo la partenza di Mond Solvay scrisse al cognato: «ho trattato ieri col sig. Ludwig Mond per la creazione in Inghilterra di una fabbrica che usi il mio processo e che dovrebbe essere iniziata entro un anno e messa in funzione entro due, dietro compenso da parte di Mond di 10 franchi (= 8 scellini) la tonnellata di sale prodotto ... Non è molto ma non bisogna dimenticare che in Inghilterra lo si fabbrica col vecchio processo quasi allo stesso prezzo ...; E poi mi sono legato spontaneamente con lui perché è arrivato per primo ed è un uomo straordinariamente capace come chimico e come industriale. Forse sai che in Inghilterra si producono 40.000 t di sale di sodio all'anno. Mond pensa di poter arrivare col mio processo a produrne da 80 a 100.000 t. È rimasto due giorni a Couillet e due giorni a Bruxelles: quattro giorni di vacanza per me».

Nonostante l'ottimismo dimostrato da Solvay questi prese alcune precauzioni che attestano delle sue perplessità infatti il contratto prevedeva una clausola piuttosto pesante per Mond: se non fosse riuscito a mettere in funzione l'impianto in due anni il contratto sarebbe diventato nullo, inoltre Solvay si era riservato il diritto di costruire per proprio conto una fabbrica in Inghilterra o di cedere ad altri la licenza dietro pagamento di una royalty non inferiore a 20

scellini/tonn. Ciò indica che nella stipulazione del contratto l'ottimista era stato Mond e non Solvay.

Col contratto sottoscritto Mond tornò in Inghilterra dall'amico e socio Brunner ed insieme andarono girando per trovare un posto adatto per impiantare la loro fabbrica che scelsero verso Winsford che sembrò il più idoneo per le facilità di comunicazioni con Liverpool, per ferrovia e per via d'acqua, per la possibilità di avere il cloruro di sodio necessario; nella zona individuarono il parco di Winnington Hall, una residenza Tudor del 18° secolo, usata a lungo come scuola; il parco era molto vasto e solo una parte di esso sarebbe stata sufficiente ai bisogni dell'industria. L'acquisto non fu facile perché l'attuale proprietario, Lord Stanley, tergiversò a lungo, inoltre voleva vendere tutta la proprietà, e non solo una parte come richiedevano Mond e Brunner, inoltre nel corso delle trattative andò gradualmente aumentando il prezzo tanto che l'acquisto fu concluso, verso la fine del 1873, per 16.108 sterline, cifra iperbolica per i due soci.

La società fondata da Mond e Brunner il 23 Febbraio 1873 disponeva di un capitale di sole 5000 sterline (1000 di Mond e 4000 di Brunner). Apparve loro subito che il capitale disponibile era del tutto insufficiente e quindi era urgente trovare o altri soci o altri capitali.

Come Soci si fecero avanti, nell'autunno del 1872 James Richard, John H. Kearne, B. Gasquoine, ma dopo lunghe trattative Mond capì che non era possibile proseguirle, ma nel frattempo apprese che Solvay aveva loro concesso una licenza con una royalty di 20 scellini/tonn, ciò che sollevò le ire di Mond che scrisse una risentita lettera a Solvay ricordando che ciò era contrario agli accordi fra loro raggiunti e considerava i tre come ladri e pretendeva che Solvay non comunicasse loro notizie sugli eventuali miglioramenti che avrebbe potuto apportare al processo.

È difficile capire la mossa di Solvay a meno che venuto a conoscenza delle difficoltà economiche di Mond cominciasse a dubitare del successo e pensasse di intavolare trattative anche con altri.

In effetti i due soci erano in grosse difficoltà economiche poiché non era facile trovare soci disposti ad arrischiare capitali in un'impresa esistente solo nella mente di due giovani imprenditori alle prime armi. Brunner per la ricerca di capitali si rivolse ad un amico d'infanzia, ingegnere civile, di Liverpool che prestò 5000 sterline senza però entrare in società. Questo amico si dimostrò veramente tale poiché in seguito si fece anche garante nei riguardi del direttore della Banca di Warrington che fece diversi prestiti ai due soci.

Date le forti necessità di denaro per potere procedere nella realizzazione del progetto, ed anche più tardi nell'avviamento della produzione, molte furono le fonti ed i sistemi ai quali i due soci, specie il Brunner, date le sue specifiche competenze ed amicizie, ricorsero per aiuti, a prestiti a breve e più lungo termine, con interessi che partiti da un 4-5% salirono in breve anche al doppio, e talora comportarono anche una partecipazione agli utili futuri, a ipoteche sul ter-

reno e su altri beni mobili ed immobili; tutto ciò li gravò di debiti, ma consentì loro di rivivere al successo della loro impresa.

Se sul fronte del reperimento dei capitali il problema non fu certamente semplice, non certo meglio si presentarono le cose sul piano tecnico: si trattava della costruzione e messa in marcia di un impianto di tipo nuovo, a marcia continua, che prevedeva operazioni nuove e attrezzature innovative. La marcia continua comportava che qualunque difficoltà in un punto del procedimento si ripercuotesse sull'intero sistema. Mond si trovò a dover trattare con costruttori di apparecchi di nuovo tipo, necessariamente resistenti a nuove forme di usura, a dover trattare con maestranze non preparate alle nuove operazioni. Si trovò a dover vincere difficoltà frapposte dai fornitori che non rispettavano le date di consegna. Ritardi furono causati da vertenze giudiziarie intervenute con alcuni fornitori per ritardi e per insufficiente qualità dei materiali. Mond era preparato fin da principio a dover superare difficoltà legate alla novità del processo, quali incrostazioni di tubazioni, intasamento di filtri causato dalla piccola granulometria del bicarbonato di sodio e soprattutto dalle perdite di ammoniacca. Va segnalato che fu aiutato anche da Solvay che interessato alla felice riuscita dell'impresa di Mond, si dimostrò molto aperto; durante la costruzione dell'impianto si recò a Winnington diverse volte ed oltre a consigli ed aiuti tecnici fornì anche qualche aiuto finanziario apprezzando l'impegno posto da Mond per il successo dell'impresa che sarebbe ricaduta anche su di lui.

Mond si dedicò all'impresa con sforzo sovrumano; si trasferì allo stabilimento lavorando giorno e notte concedendosi riposi estremamente ridotti, pungolando i collaboratori, cercando in ogni modo di vincere le difficoltà, di essere presente ad ogni necessità. Mond era sempre pronto a risolvere difficoltà anche con mezzi di fortuna pur di non arrestare il progredire del lavoro. Per sostituire una caldaia rotasi, e non potendo attendere dal fabbricante la sostituzione, affittò una vecchia locomotiva. Non mancarono incidenti; uno di questi fu provocato involontariamente da Solvay che presente allo stabilimento nell'Aprile del 1874, quando sembrava prossima la messa in marcia dell'impianto, e Mond sentendosi esausto si allontanò per prendere un po' di riposo approfittando della presenza di Solvay per la sorveglianza dell'impianto, ma questi chiuse erroneamente una valvola provocando una sovrappressione e quindi un'esplosione che causò la morte di un operaio.

Nonostante le numerose difficoltà finanziarie e tecniche l'impianto entrò in funzione nell'Agosto del 1874, nei tempi previsti dal contratto e la produzione raggiunse nella seconda metà di quell'anno le 800 tonnellate circa, valore che andò rapidamente salendo arrivando nella seconda metà del 1878 a circa 4000 tonnellate. Anche le perdite che nel 1874 erano state di circa 4000 sterline diminuirono gradualmente azzerandosi verso il 1878.

Però le difficoltà per i due soci erano tutt'altro che finite ben presto infatti si ebbero quelle derivanti dal collocamento della produzione, poiché i fabbricanti di soda LeBlanc di fronte al successo del nuovo sistema corsero ai ripari abbassando i prezzi di vendita del proprio prodotto per mettere in difficoltà il

concorrente. Quando Brunner e Mond avevano iniziato l'impresa il prezzo della soda in Inghilterra era di 280 fr/t, quando l'impianto entrò in funzione il prezzo fu portato a 260 fr/t e negli anni successivi precipitò addirittura fino a 170 fr/t. È evidente che i conti fatti all'inizio non potevano più essere validi.

Altre difficoltà furono create dai tre Richards, Kearne, Gasquoine, sopra ricordati per avere ottenuto una licenza da Solvay, i quali si erano messi a muovere concorrenza a Mond e Brunner, una non trascurabile concorrenza avendo impiantato una piccola fabbrica a Sanbach. Mond e Brunner tornarono a scrivere (Dicembre 1877) a Solvay esprimendo il loro disappunto: «... di fronte a questa concorrenza ci dispiace non conoscere fin quando permetterete che questa continui. Voi perdete per questa concorrenza poiché essi non sanno come produrre e come vendere». Poiché Solvay non provvedeva ad intervenire non rimase a Brunner e Mond accordarsi direttamente coi tre concorrenti decidendo (agli inizi del 1878) di acquistare il loro impianto dietro pagamento di 3000 sterline/anno per 9 anni e di 22.000 sterline dopo i 9 anni.

Come Mond si era dimostrato un valido tecnologo, così Brunner si dimostrò un altrettanto valido amministratore. Ben presto gran parte della produzione che inizialmente si era cercato di vendere in Inghilterra, venne piazzata all'estero, eccetto che in Europa, perché così era stato stabilito da un accordo siglato con Solvay nel 1887. Così Brunner cercò altri mercati nell'America del Nord, poi in Australia, nelle Indie Olandesi, in Cina, Giappone. Già nel 1890 la loro esportazione di soda raggiungeva le 10.000 t/mese. I profitti della Società che nel 1881 erano già di 30.000 sterline/anno nel 1890 raggiungevano le 285.000 e nel 1907 le 778.000 circa.

Mond apportò al processo Solvay una serie di migliorie, riconosciute importanti dallo stesso Solvay il quale in un discorso pronunciato nel 25° anniversario della società Solvay, nel 1788, con molta onestà, disse che «... Mond, inventore pure esso di un processo industriale (in una direzione del tutto opposta) seppe indovinare il futuro riservato alla nuova industria e subito trattò la sua introduzione in Inghilterra. Mi aiutò anche per quanto era in suo potere ad ottenere un buon brevetto. Il Sig. Mond ha un posto di primo piano in ciò che è stato dopo. Tutti voi sapete che estensione egli seppe dare a questa fabbricazione, quante idee di perfezionamenti egli promosse, quante ne applicò e l'importanza pratica immediata delle sue realizzazioni».

Migliore riconoscimento non poteva venire a Mond dall'inventore del processo. Data la sua natura «vulcanica» è facile pensare che Mond, per quanto soddisfatto dei risultati raggiunti, non potesse fermarsi e non intraprendere altre attività ed infatti ben presto la sua attenzione fu dedicata a risolvere il problema dell'ammoniaca il cui costo e difficoltà di approvvigionamento incidevano sensibilmente su quello della soda ed era importante abbassare se si voleva contrastare la concorrenza della soda LeBlanc il cui costo di produzione si andava abbassando anche in seguito alle migliorie che vi venivano via via apportate.

Già fin dal 1875 Mond scriveva a Solvay: «la nostra soda è sempre buona, ma dobbiamo accettare un prezzo di 11 sterline se vogliamo venderla, e questo è un prezzo che non ci lascia utili, tenendo conto delle forti perdite di ammoniaca oltre agli elevati costi della mano d'opera e l'incidenza degli interessi».

Mond si era già occupato della produzione di ammoniaca quando nel 1861 era stato per un breve periodo in una fabbrica, nei pressi di Colonia, dove si produceva ammoniaca da residui organici, specie dai ritagli della pelle.

Nel 1879 pensò di affrontare il problema di una più facile ed economica disponibilità di ammoniaca; cominciò ad esaminare i sistemi che partivano dall'azoto atmosferico attraverso l'utilizzazione degli azoturi metallici.

Nel 1862 Margueritte e Sourdeval avevano dimostrato che si può fissare l'azoto atmosferico facendolo passare su una miscela rovente di carbone e carbonato di bario, ma il sistema non aveva avuto applicazione pratica. Mond cercò di riprenderlo per poi trasformare in ammoniaca il cianuro di bario ottenuto. Ma la necessità di operare la formazione del cianuro a temperatura di 1200-1400 °C non consentiva di condurre l'operazione entro storte di materiali argillosi e così il metodo fu scartato.

Rickman e Thompson avevano brevettato un sistema secondo il quale facendo passare aria e vapore attraverso uno spesso strato di carbone incandescente l'azoto si trasformava in quantità sensibili in ammoniaca. Mond ripetendo queste esperienze trovò pure una sensibile quantità di ammoniaca, ma poi provando a far passare solo vapore sullo stesso carbone contenuto in un tubo di vetro riscaldato dall'esterno ottenne una quantità circa doppia di ammoniaca e così trasse la conclusione che non era l'azoto dell'aria a formare l'ammoniaca, ma quello presente nel combustibile. Ripetendo poi le prove su più larga scala trovò che la resa in ammoniaca dipendeva in parte dalla quantità di azoto presente nel combustibile, ma anche dal tipo di combinazione sotto la quale è presente e più ancora dalla temperatura alla quale viene portato il combustibile.

Ritenne il sistema più economico quello di iniettare in un gassogeno una corrente di vapore surriscaldato con poca aria; ottenne ammoniaca per il 50% circa dell'azoto contenuto nel combustibile ed inoltre un gas combustibile adatto per diversi scopi (metallurgici, generazione di elettricità, ecc.) formato mediamente dal 10% di CO, 25% di H₂, 3% etilene, il rimanente CO₂ ed N₂. Dal lavaggio di questo gas con acido solforico si estraeva l'ammoniaca presente.

Per sfruttare questo procedimento Mond fondò la Power Gas Corporation che diffuse ovunque l'impiego di questi gassogeni. Oltre che per i carboni il gassogeno fu adattato ai minuti di carbone delle miniere contenenti anche il 60% di ceneri; in Italia il sistema fu adattato all'uso di torbe ed un primo impianto fu installato ad Orentano (Lucca) per l'utilizzazione delle torbe di Massaciuccoli e poi un altro nella zona di Codigoro.

Rimaneva ancora da risolvere il problema del cloro: nel processo di preparazione della soda tutto il cloro introdotto sotto forma di cloruro di sodio si

ritrovava sotto forma di cloruro d'ammonio (oltre quello rimasto nel cloruro di sodio non trasformato).

In un primo momento Mond concentrò le soluzioni contenenti questi cloruri in modo da far cristallizzare separatamente cloruro di sodio e d'ammonio; mentre il primo si riutilizzava tal quale il secondo trattato con acido solforico dava solfato d'ammonio ed acido cloridrico. Ma era importante poter utilizzare il cloro sotto forma di cloruro di calce come sbiancante, disinfettante. Questo prodotto era largamente fornito dai fabbricanti di soda LeBlanc che ne avevano studiato il recupero dall'acido cloridrico per cercare di ridurre il costo della soda.

Mond studiò la possibilità di ottenere direttamente dal cloruro d'ammonio sia l'ammoniaca che il cloro da convertire in cloruro di calce. Il sistema prevedeva di dissociare termicamente il cloruro d'ammonio in ammoniaca ed acido cloridrico operando in presenza di un ossido metallico in modo da trattenere l'acido cloridrico fissandolo sul metallo; questo cloruro metallico per riscaldamento dava poi, in presenza di aria, nuovamente l'ossido metallico liberando il cloro che fatto passare su uno strato di calce idrata forniva il cloruro di calce secondo un procedimento messo a punto da Tennant.

L'ossido metallico più adatto all'operazione sembrò essere quello di nichel, sotto forma di granuli porosi di elevata superficie, per favorire il contatto coll'aria calda. Fu proprio la scelta di questo metallo che portò il Mond alla scoperta fondamentale del metallo carbonili ed in particolare del nichel carbonile, scoperta del tutto casuale, ma che il Mond con il suo «fiuto» pensò subito di sfruttare industrialmente rivoluzionando l'industria d'estrazione del nichel dai minerali.

L'impianto costruito per la volatilizzazione e dissociazione del cloruro d'ammonio prevedeva dopo lo sviluppo dell'ammoniaca una fase di «lavaggio» dell'apparecchiature con gas (anidride carbonica, ecc.) per asportare tutta l'ammoniaca ancora presente prima di far passare l'aria calda per decomporre il cloruro di nichel. Mond aveva notato che le valvole di nichel impiegate si alteravano rapidamente, mentre in laboratorio ciò non si verificava. Una indagine dimostrò che ciò doveva essere attribuito ad una piccola percentuale di ossido di carbonio infatti mentre per le prove di laboratorio si usava un gas privo di questo componente nell'impianto si utilizzava un gas proveniente da un forno a calce che conteneva piccole percentuali di CO. Per studiare l'azione di quest'ossido di carbonio sul nichel Mond fece passare il gas sul nichel finemente suddiviso contenuto entro un tubo di vetro riscaldato a diverse temperature e per tempi diversi; il gas uscente che poteva contenere ancora dell'ossido di carbonio prima di essere scaricato nell'atmosfera veniva fatto bruciare in un Bunsen. Con sorpresa fu osservato che raffreddandosi il tubo il gas uscente produceva una fiamma più luminosa, e la luminosità aumentava quando la temperatura scendeva al disotto dei 100 °C circa. La causa della luminosità fu poi identificata nella formazione di un composto fra ossido di carbonio e nichel, il nichel tetracarbonile, un liquido che bolle a 43 °C e solidifica a -25 °C ed i cui vapori sono

completamente dissociati nei componenti a 150 °C. La facilità di formazione e di decomposizione fece subito pensare alla possibilità di sfruttare il composto per l'estrazione del nichel dai minerali.

Mond andò fiero di questa sua scoperta: Nasini, che ebbe con Mond grande familiarità, scrisse «Ricordo una luminosa domenica di Giugno del 1889, era la prima volta che io mettevo piede nella bella residenza del Mond, ai Poplars. Erano da lui convenuti nel pomeriggio di quella domenica Mendeleeff, chiamato a Londra per la Faraday Lecture, Frankland, Roscoe, Ramsay, Thorpe ed altri uomini di scienza. Nel laboratorio privato di Mond ci fu mostrato, con nostra grande meraviglia quel gas — tale lo si credeva allora — che conteneva tanto nichel. Il Mond ce ne fece la storia. Lord Kelvin disse a Mond “Avete dato le ali ad un metallo pesante, cercate di darle anche ad altri” e Mond infatti preparò carbonili di cobalto, rutenio, molibdeno che però si formavano in condizioni diverse da quelle del nichel richiedendo temperature e pressioni elevate».

Il passaggio dalla fase di ricerca a quella industriale fu piuttosto rapida. Langer, il più valido collaboratore di Mond, scrive: «dopo avere constatato che il nichel in opportune condizioni si trasformava facilmente in questo composto volatile, passammo a vedere se si poteva estrarre il metallo dai suoi minerali. I risultati, variabili secondo la natura del minerale, apparvero soddisfacenti dopo avere allontanato per fusione la maggior parte della ganga e del ferro presente. Subito dopo (1892) fu decisa una ricerca su scala costruendo un impianto collocato presso la Soc. Wiggins a Birmingham, che comprendeva arrostitimento e riduzione del minerale, estrazione e decomposizione del carbonile. Le difficoltà furono grandi, ma il processo si dimostrò valido.

Nasini nella sua descrizione dice: «vidi l'impianto di Birmingham nel 1894 in pieno funzionamento con tanto stupore. Quella che a me non era parsa che una delicata esperienza di laboratorio la vedevo gigantesca e ingrandita, trasformata in produzione industriale procedente con mirabile regolarità e precisione».

In seguito al successo ottenuto Mond cercò di cedere il brevetto conseguito, ma non trovò alcun acquirente; il momento non era favorevole poiché era in atto una lotta per il prezzo del nichel fra l'industria Nord-Americana, controllata dai Morgan, e quella francese, legata ai Rothschilds; una società canadese che avrebbe risparmiato di mandare il proprio minerale a trattare nel New Jersey trovò la richiesta di Mond, di 400.000 sterline, troppo elevata.

In questa situazione decise di sfruttare in proprio il brevetto: visitò in Canada le zone con minerali di nichel, comperò due di questi depositi dove costruì un impianto metallurgico dotato di ferrovia, di centrale elettrica, dove il minerale veniva concentrato per flottazione, sottoposto a diversi trattamenti per separare il rame presente e produrre una metallina ricca di ossido di nichel che veniva inviata a Clydach, nel Galles del Sud, dove era estratto il metallo, come nichelcarbonile, che per decomposizione forniva l'ossido di carbonio impiegato, che tornava in ciclo, ed un metallo a purezza 99,9% conosciuto come Nichel Mond.

La costruzione di quest'impianto fu funestata da un grave incidente: una fuga di ossido di carbonio provocò la morte per avvelenamento di alcune persone. Mond profondamente colpito decise di abbandonare l'impresa, ma fu il figlio Alfred che lo rassicurò sostenendo che introducendo idonee misure di sicurezza era possibile evitare ogni pericolo di fuga e così l'impianto poté ripartire. Nei primi anni Mond si trovò in difficoltà per l'esistenza di una sovrapproduzione di nichel ma in breve la situazione migliorò e la produzione Mond arrivò a coprire all'incirca un terzo di quella mondiale.

A buon diritto Mond andò orgoglioso della scoperta e dello sviluppo dato in breve tempo al capitolo dei metalli carbonilici; in una nota al VII Congresso internazionale di Chimica Applicata, tenuto a Londra nel 1909, riassunse in poco più di una pagina il passaggio dalla scoperta del carbonile del nichel a quello degli altri metalli pesanti e per dare un'idea della grandiosità dell'applicazione industriale realizzata del nichelcarbonile disse «basta pensare che nell'impianto di raffinazione di Clydach stanno circolando ogni ora del giorno e della notte 10.000 mc di ossido di carbonio carichi di nichel carbonile dai quali il metallo si separa allo stato di elevata purezza».

Il Prof. Donnan ricordando Mond nel 30° dalla sua morte disse che «se Mond se non avesse fatto che questo (cioè la scoperta del nichelcarbonile) sarebbe stato sufficiente per tramandare il suo nome alle generazioni future come il creatore di una delle industrie più importanti e più scientifiche nella storia della civilizzazione». Come si è visto Mond fece molto di più nella sua vita meritando la riconoscenza dei posteri.

Il prof. Fochi nel centenario della scoperta del nichelcarbonile ha ricordato l'importanza assunta da questa classe di composti nella tecnologia chimica moderna nel campo dei catalizzatori.

Ho cercato di ridurre in maniera per quanto possibile succinta, le imprese più importanti realizzate da Mond, imprese veramente notevoli, frutto di una mente fervida, di un tecnologo profondo estimatore della ricerca scientifica, ma poi sempre attento a vederne gli aspetti pratici. Le realizzazioni legate al suo nome gli sono sopravvissute a lungo e continueranno ancora in futuro.

Prima di terminare questa esposizione occorre ricordare, come indicato dal titolo, i rapporti fra Mond e l'Italia, argomento completamente, o quasi, ignorato dai suoi biografi.

Il figlio di Mond, Alfred, dice che il padre verso il 1880 venne in contatto coll'arte Italiana e dopo due successive visite a Firenze i Mond scelsero Roma per stabilirvi per circa 30 anni la propria residenza invernale.

Notizie di questo periodo si possono ricavare da un raro, interessante, volume di ricordi della Sig.ra Richter pubblicato dietro incitamento della Sig.ra Mond. Verso il 1880 la Sig.ra Mond aveva conosciuto questa sig.ra Richter il cui marito si trovava a Londra coll'incarico di scrivere alcune opere (catalogo di quadri italiani contenuti in alcune gallerie, oltre ad un volume su Leonardo). Un

giorno del 1880 la Sig. Richter incontrò la connazionale Dott. Schneider che voleva essere presentata al Sig. Richter per consigli in merito alla possibilità di far tradurre in Inglese un proprio libro d'arte. La Sig. Schneider era accompagnata dalla Sig. Mond e subito fra questa e la Sig.ra Richter si stabilì una corrente di simpatia che si concretizzò nella promessa di successivi incontri. In uno di questi la Sig.ra Mond presentò ai Richter una sua amica d'infanzia e di collegio, Enrichetta Hertz, alla quale, desiderosa di studiare l'arte rinascimentale, era stato segnalato il Dott. Richter. Dopo alcune tergiversazioni questi accettò e così fra i Mond, i Richter e la Hertz si stabilì una amicizia contrassegnata da incontri a casa Mond, a Winnington, frequentata anche da cultori di musica oltre che d'arte. Fu durante una di questi incontri che fumando e conversando nel grande salone di casa Winnington fu osservato che sarebbe stato bene ornare le pareti con bei quadri. Mond ripensò a quest'idea e incaricò Richter, di cui aveva avuto modo di apprezzare la competenza, a procurargli, a qualunque prezzo, quadri, degni però in un domani di potere bene figurare in una galleria pubblica. Richter dopo alcune perplessità, accettò l'incarico cominciando a procurare, attraverso antiquari londinesi, alcune opere possedute da nobili inglesi (una tela di Sodoma ed una di frà Bartolomeo), ma poi disse che occorreva fare alcuni viaggi in Italia per contattare alcuni antiquari, specie di Venezia e di Firenze. E così Mond visitò Verona, Venezia, Firenze. Del suo breve soggiorno a Venezia riportò un'impressione indimenticabile. In seguito fu poi a Roma dove decise di soggiornare a lungo. Riuscì ad affittare una parte del prestigioso palazzo Zuccari in cima a Via Gregoriana, sulla sommità del Pincio. E questa fu la residenza invernale dei Mond per circa 30 anni. Dopo qualche anno riuscì a Mond di comperare l'intero palazzo Zuccari, il palazzo nel quale i fratelli Zuccari avevano affrescato completamente i muri del primo piano. Dopo l'acquisto Mond incaricò l'Ing. Mariano Cannizzaro delle necessarie ristrutturazioni al 2° piano dove furono fra l'altro trasportati affreschi di Giulio Romano tratti dalla villa Lante al Gianicolo.

Nel suo libretto di ricordi la Richter dà notizia delle riunioni a casa Mond con tante personalità; i Mond ben presto divennero i favoriti della società romana; ricorda anche le numerose escursioni condotte nella campagna romana, nelle varie località (Tivoli, Tuscolo, Anzio, Subiaco, ecc.).

Dai ricordi del figlio si apprende che Mond destinò per testamento palazzo Zuccari ad Enrichetta Hertz che appassionata d'arte ne fece centro di riunioni di artisti, dove raccolse vasto materiale di libri d'arte, di fotografie, quadri, ecc., che entrò a costituire poi il nucleo della attuale Biblioteca Hertziana, una delle più importanti nel campo della storia dell'arte. La Hertz cedette al Governo Italiano i quadri che erano stati raccolti da Mond e da lei stessa e che ornavano le pareti di Palazzo Zuccari e che passarono al Museo di Palazzo Venezia. Il Richter ha redatto un catalogo con una dettagliata storia dei 56 quadri donati ed illustrati nel catalogo.

A Roma Mond si occupò anche di scienza ed intrecciò amicizie con personalità del campo chimico; ad alcuni fornì anche aiuti per le loro ricerche.

Di Raffaello Nasini come già detto fu molto amico ed insieme pubblicarono il primo lavoro su proprietà dei metallo carbonili, frutto di ricerche condotte a Padova dal Nasini su materiali forniti da Mond. L'articolo pubblicato sui Rendiconti dei Lincei fu ripubblicato sul *Zeitschrift fur physikalische Chemie*.

Nasini scrive che Mond ebbe per la scienza italiana grandissima predilezione e «cospicui aiuti ebbero da lui l'Istituto chimico di Roma, e quelli miei di Padova e di Pisa e largamente egli volle incoraggiare le mie ricerche sui gas dei soffioni boraciferi della Toscana: idee grandiose ed ardite egli aveva a proposito della emanazione radioattiva in essi contenuta, così grandiose che io non ebbi il coraggio di seguirlo».

Al Nasini per le sue ricerche sulla relazione fra proprietà ottiche e costituzione chimica di composti organici Mond regalò alcune apparecchiature che si trovano ora in esposizione al dipartimento di chimica e chimica industriale di Pisa. Circa l'interesse di Mond alla radioattività dei gas della Toscana va ricordato che nel 1894 ad Oxford Lord Rayleigh e Ramsay comunicarono la loro scoperta dell'argo nell'aria. Nasini era presente alla comunicazione e attratto dagli affascinanti problemi che faceva intravedere questa scoperta, ritornato in Italia si diede a ricercare gas rari (elio oltre che argo) in emanazioni gassose italiane e tale ricerca lo portò a studiare i soffioni boraciferi di Larderello, per i quali Mond dimostrò grande interesse, come sopra detto.

Circa gli apparecchi donati all'Istituto chimico di Roma va detto che si trattava di uno dei primi impianti di liquefazione dell'aria. Ciò si deduce da alcune lettere ritrovate dal Prof. Paoloni fra i documenti di Cannizzaro conservati presso la Soc. Chimica Italiana di Roma.

Una prima lettera inviata da Mond il 12 Giugno 1899 dà notizia dell'avvenuta spedizione dell'apparecchiture: «Ho il piacere di annunciare che sabato assistei alla prova della macchina per liquefare l'aria che deve essere spedita a Lei. La macchina funziona benissimo; dopo pochi minuti comincia a liquefare e seguita colla massima regolarità».

Un componente della macchina arrivò a Roma rotto e Mond, avvertito, provvide per la sostituzione scrivendo il 24 Luglio 1889 «Il refrigeratore o liquefatore ha marciato molto bene prima di essere spedito e l'apparecchiatura di Ramsay, che è del tutto uguale alla Sua, lo stesso compressore, motore elettrico, ecc., va notevolmente bene dopo mesi. Spero che presto riuscirà a liquefare l'aria di Roma anche durante il calore dell'estate».

Gli scienziati italiani furono riconoscenti verso Mond: il 7 Dicembre 1892 l'Università di Padova in occasione delle celebrazioni Galileiane gli conferì la laurea «naturali philosophia»; la Società Reale delle scienze di Napoli nel 1908 lo nominava Socio onorario; l'Accademia Nazionale dei Lincei nella seduta del 26 Giugno 1899 lo eleggeva, a pieni voti, socio straniero per la chimica insieme a Emil Fischer (che tre anni dopo fu insignito del premio Nobel).

Mond fu profondamente lusingato della Nomina ai Lincei; ricevuta la notizia ringraziava il Presidente con la seg. Lettera: «23 luglio 1899. Sarà inutile dire quanto mi sento onorato della nomina a socio straniero della Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali della Reale Accademia dei Lincei e non mi rimarrò altro da fare che di ringraziare Lei, Sig. Presidente e tutti da ora i miei illustrissimi Colleghi della fiducia che hanno voluto mettere in me facendomi uno dei loro, socio di uno degli Istituti di più alta stima tanto per il suo valore quanto per la sua antichità. E lei sig. Presidente mi permetterà di aggiungere a questa mia gratitudine i miei cordiali saluti e l'espressione della lata considerazione colla quale mi dò l'onore di essere, Sig. Presidente Devotissimo suo Ludwig Mond».

Continuando con quanto scritto da Nasini troviamo: «Per il nostro grande Cannizzaro nutrì un'ammirazione intensa, una venerazione profonda: diceva che l'amicizia di lui era una delle più grandi soddisfazioni della sua vita». Nei lasciti fissati da Mond nel testamento figura per l'Accademia dei Lincei la cifra di 180.300 lire per l'istituzione di un premio da intitolare alla memoria di Cannizzaro.

Durante il già ricordato VII Congresso di Chimica applicata tenuto a Londra nel 1909 i chimici italiani offrirono una targa in bronzo che simboleggiava l'opera di Mond e il prof. Paternò ringraziò Mond per il premio istituito al nome di Cannizzaro «che sarà per i chimici italiani, ora e sempre, monumento perenne di riconoscenza verso di voi. L'onore fatto al nostro grande Maestro è una catena indissolubile che lega il vostro nome alla scienza italiana».

Mond rispose alle parole di Paternò dicendo che egli aveva avuto in mira di additare alle presenti ed alle future generazioni di chimici, quali splendidi risultati si possono ottenere da una vita di vera devozione alla scienza, quale era stata e quale era quella di Cannizzaro.

G. CORRADINI (*) - G. SCHIPPA (*) - R. VOLPE (*)

Il ferro e la rivoluzione industriale ()**

Summary - The Industrial Revolution is the most important event in human history, if one considers the changes in society it induced. While one can detect the common and fundamental characters of the origin of present-day world from agricultural societies, the changes can be described as a real mutation. One detects four causes which made England and especially Lancashire, the area originating the industrial revolution: a) political conditions; b) market area; c) invention of new textile machines; d) steel, as the new material.

La storia dell'uomo è la storia della tecnologia. Nel suo aspetto essenziale quest'ultima si identifica nello studio di come il «potere di fare» possa essere incrementato. Sotto questo punto di vista si distinguono due periodi storici, caratterizzati da una grande differenza sia nella velocità con cui la tecnologia si sviluppa, che nell'entità del patrimonio inventivo realizzato. Il primo periodo va dalle imprecisabili origini dell'uomo alla metà del XVIII secolo, quando inizia la Rivoluzione Industriale. In questo lunghissimo arco di tempo, vengono gettate le basi che provocheranno nel secondo periodo, tuttora in corso, una brusca impennata nell'andamento dello sviluppo tecnologico, un enorme incremento del ritmo delle scoperte e delle invenzioni. Uno sviluppo di tale portata è però dovuto soprattutto ad un drastico cambiamento nella mentalità dell'europeo occidentale. A partire dal 1000 d.C., nel sistema di valori della società (valori religiosi, filosofici, politici, militari), si impone progressivamente il principio che massimizza l'efficacia economica [1]. Il cambiamento ha inizio quando l'uomo medievale esce dalle mura che lo proteggono per il rinascere degli scambi e scopre che la natura segue nelle sue trasformazioni il principio del massimo rendimento conseguibile. Un esempio per chiarire quanto sopra. Posidonio e Seneca

(*) Dipartimento di Chimica, Ingegneria Chimica e Materiali, Università dell'Aquila.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

sono esponenti di una cultura particolarmente legata all'etica. Essi, pur asserendo la necessità delle macchine e della tecnologia, apportatrici di «civiltà», precisano che le invenzioni sono del saggio ma in quanto uomo. Ciò pone due limiti allo sviluppo della tecnologia, dovuti:

- al disprezzo delle attività manuali, dato che la pratica delle invenzioni deve essere lasciata ad umili servitori. «La sapienza siede più in alto e insegna agli uomini e non alle mani»;
- al timore della degenerazione morale. Le invenzioni sono desiderabili se strettamente utili ai bisogni primari dell'uomo. Andare oltre è «luxuria».

Si comprende così che, in una società permeata da tali principi, l'efficacia economica sarà inferiore rispetto a quella che si potrebbe conseguire in loro assenza. Su questa base sorge il mondo della scienza e della tecnologia nell'Europa occidentale, nel momento in cui l'uomo «nuovo» trova nelle leggi e nelle risorse della natura il mezzo per accrescere, senza condizionamenti, il suo potere di fare. La chiave di lettura in grado di rendere interpretabile la nuova epoca è data dalla storia della metallurgia del ferro. Infatti i materiali hanno sempre rappresentato il fattore base della tecnologia. Se però il legno, la pietra, la muratura, la ceramica, il rame, il bronzo, l'ottone, il ferro, la ghisa sono i materiali che hanno contribuito allo sviluppo tecnologico del primo periodo, è l'avvento del nuovo materiale, l'acciaio Bessemer del 1855, prodotto in grande quantità e a costi bassi, da materie prime abbondanti e diffuse, che ha determinato l'enorme espansione della meccanizzazione.

LA FORMAZIONE DELL'IMPERO BRITANNICO

Nella «Storia delle idee del secolo XIX» di B. Russell [2] è riportato un immaginario e divertente colloquio fra un viaggiatore inglese, probabilmente un giovane milord che stava compiendo il suo rituale Gran Tour, ed un Pascià turco. Il brano è datato 1844. Eccone alcune significative frasi:

Pascià: «... tutti sulle ruote, tutti sul vapore! Gli inglesi parlano con le ruote ed il vapore, cavalcano sui vapori di caldaie bollenti e i loro cavalli sono carboni infuocati. Le navi degli inglesi brulicano come le mosche; le loro tele stampate coprono tutta la terra e, in confronto delle loro spade, le lame di Damasco sono steli d'erba... Quando irlandesi o francesi o indiani si ribellano contro l'Inghilterra, interi eserciti di soldati e divisioni di artiglieria sono gettati in una immensa caverna chiamata Euston Square e, in un batter d'occhio, essi si rialzano o a Dublino o a Parigi o a Delhi e cancellano dalla faccia della terra tutti i nemici d'Inghilterra...».

Non si può descrivere più efficacemente, in uno stile permeato di humour britannico, la situazione che si era venuta a stabilire in conseguenza della prima

fase della rivoluzione industriale: il costituirsi del più grande impero industriale, commerciale e coloniale della storia.

Impero che aveva preso avvio nel XVI secolo con una regina, Elisabetta I, si era affermato a seguito delle guerre vittoriose con la Spagna, con la Francia di Luigi XIV e con la Francia napoleonica, arrivando al suo massimo splendore con un'altra regina, la regina Vittoria. In queste guerre, come in tutta la storia moderna dell'Inghilterra, la potenza navale ebbe un ruolo decisivo. Un dato in proposito è significativo: dalla metà dell'800 fino alla prima guerra mondiale, il tonnellaggio della sua marina, fra navi militari e da carico, rappresentò più della metà di quello mondiale.

Sostanzialmente il brano è un'esaltazione della potenza inglese fatta da un inglese, ma l'ammirazione del Pascià appare più che giustificata. Le civiltà extra-europee, soprattutto, non potevano non rimanere stupite di un superiore apparato militare in grado di venir rapidamente trasferito con le ferrovie e le navi in ogni parte del mondo a dettare la sua legge.

A prima vista tutto ciò può apparire come una rilettura, in chiave moderna, della storia degli imperi che si sono susseguiti sulla terra.

Il Pascià, però, nota qualcosa che non sembra avere a che fare con una potenza militare e cioè le «tele stampate che coprono tutta la terra». Se, ad esempio, il brano fosse stato scritto nel XVI secolo, la nazione egemone sarebbe stata la Spagna, ma non ci sarebbe stato alcun accenno a tele stampate o ad altre merci. La Spagna era allora in grado di coprire la terra di conquistadores, di preti, di coloni, non di merci spagnole.

Ben diverso si presentava il quadro di una Inghilterra che aveva dovuto rinunciare, per sua fortuna, alle ambizioni di conquista in terra di Francia, per dedicarsi, con la scoperta dell'America, alle esplorazioni e alla conquista delle nuove terre. Da quel momento ebbe inizio la storia moderna inglese, una storia di realizzazioni, conquiste, invenzioni in tutti i campi, contrassegnata anche da una forte dose di fortuna.

Lo storico Robert Hakluyt scrisse nel 1596: «La nostra più viva aspirazione consiste nel trovare un vasto mercato nel mondo per la vendita dei manufatti di lana, prodotto naturale del nostro Regno» [3].

In questa frase c'è la chiave di lettura della storia di un popolo che, proprio attraverso lotte e contrasti interni, riuscì a darsi un assetto politico, caratterizzato da un equilibrio dinamico fra Corona, Parlamento, Squires e Lords, cioè da un pluralismo di potere. Un tale assetto permise all'Inghilterra — e alla Gran Bretagna in seguito — di conseguire, rispetto alle altre nazioni europee, un più alto grado di efficacia economica. Infatti, le risorse del paese vennero convogliate, prevalentemente, proprio alla conquista del «vasto mercato nel mondo per la vendita dei manufatti di lana» [3], senza farsi distrarre da obiettivi quali il prestigio di un monarca e della sua casata, o dalla conquista di terre in Europa.

I monarchi britannici impararono a proprie spese che il potere assoluto era possibile solo nei loro sogni, che i sudditi e le terre non erano di loro proprietà, che non potevano disporre di fondi per armare eserciti di mare e di terra se non d'accordo con le altre forze politiche e che, una volta approvata una spesa militare, il denaro occorrente andava considerato un prestito che il monarca doveva onorare in tempi brevi.

Voler vendere i tessuti di lana comportò quindi per gli imprenditori inglesi il finanziamento di una consistente flotta mercantile. Era necessario infatti andare nei porti oltremare di tutto il mondo, dove le compagnie commerciali furono in grado di offrire ai consumatori ben cinquanta varietà di panni-lana, una gamma cioè che andava dalle qualità più pregiate (le più vendute) a quelle di basso costo e che permetteva di affrontare con successo la concorrenza delle manifatture locali.

Alla base ci fu, naturalmente, una più razionale organizzazione della produzione, prevalentemente effettuata a domicilio nelle campagne, con filatoi e telai per tessere, che, con una certa imprecisione, vengono definiti «a mano». Si trattò del «putting-out system» che fece seguito al sistema di produzione artigiano e precedette quello di fabbrica.

«Il contadino del Lancashire produceva lana di ottima qualità per i telai dello Yorkshire, mentre i mercanti e marinai di Londra e di Hull erano alla ricerca di nuovi mercati per esportarla nel Levante, nel Baltico, nelle Indie orientali e occidentali» [3]. Questo agli inizi del '600. L'instaurazione di un regime di scambio, incentrato sulla naturale propensione britannica alla sovrapproduzione di panni-lana, apparve quindi, fin dal regno dei Plantageneti, come l'unico sistema per conseguire la ricchezza.

Impossessarsi di oro, argento, spezie, materie prime, sfruttando ad esempio gli indios americani, per quanto costituisse una prospettiva allettante, avrebbe richiesto l'utilizzazione di un potente esercito e quindi la distrazione dei capitali necessari dal finanziamento della proficua attività di scambio. D'altro canto, fino alla fine del '600, l'isolamento della grande isola e la protezione della Royal Navy — a parte il disastro di Medway del 1667 — non richiesero il potenziamento di un esercito all'altezza delle armate spagnole e francesi, quelle armate che si scontrarono nelle sanguinose, logoranti e costose guerre per il dominio dell'Europa.

Un hidalgo spagnolo del '600 affermò con orgoglio: «Tutti portano merci a Madrid e Madrid non porta niente a nessuno».

Senza dubbio la politica inglese fu rivolta anche allo sfruttamento coloniale. Ma nella seconda metà del '500 e nel '600 ciò avvenne in modo indiretto. Pirati e corsari, come Hawkins e Drake, prima di diventare ammiragli inglesi, trasferendo di conseguenza alla Royal Navy la nuova tattica corsara che portò all'annientamento dell'Invincibile Armata, non scambiarono merci quando abbordarono i carichi spagnoli ma si appropriarono, in definitiva, dei beni dei legittimi proprietari, gli indios americani.

Merito quindi degli inglesi — e degli olandesi — fu quello di aver capito che la produzione della ricchezza richiede minori costi, è più duratura, consegue cioè una superiore efficacia economica, quando viene basata sullo scambio merci e non sulla sola appropriazione delle risorse altrui. Il commercio a lunga distanza richiese una particolare organizzazione che venne attuata con la creazione delle «compagnie commerciali privilegiate». Anche la Francia e la Spagna si organizzarono in modo analogo, ma nel commercio estero il ruolo dello stato rimase primario ed autonomo e le compagnie commerciali vennero a far parte di quel complesso sistema di attività protette e sovvenzionate, insieme alle manifatture, sistema caratteristico della concezione mercantilistica. Le compagnie inglesi ed olandesi, invece, pur godendo necessariamente di diritti di sovranità, di privilegi e di esenzioni doganali, non vennero condizionate dall'intervento propulsivo e dall'ingerenza dei governi; esse furono una più libera espressione dei nuovi ceti imprenditoriali e finanziari, cioè dell'iniziativa privata.

Sembra paradossale, ma nel '600 e nel '700, nel periodo in cui furono attive la Compagnia delle Indie Orientali e quella dei Merchant Adventurers che si occupò della esportazione dei panni-lana nel continente europeo, l'Inghilterra fu più liberista di quando, successivamente, Adam Smith dimostrò la superiore efficacia del libero scambio.

La naturale tendenza alla sovrapproduzione dei panni-lana si tradusse quindi progressivamente nel possesso della più grande area di mercato della storia, area di dimensioni mondiali. Si accorsero così i mercanti e la classe politica inglesi che la ricchezza comportava la supremazia politica.

La formazione dell'impero britannico può venir suddivisa in due fasi: la prima portò al conseguimento di un'area di mercato prevalentemente marittima con le compagnie commerciali privilegiate, la seconda vide la sostituzione di queste ultime con la gestione diretta dei governi e la formazione dell'impero coloniale britannico, in cui la componente sfruttamento giocò un ruolo non secondario.

Nella prima fase si trattò di conquistare, a seguito delle guerre vittoriose con la Spagna di Filippo II, la Francia di Luigi XIV e l'Olanda, un'area di mercato in gran parte costituita da ... acqua di mare, dove gli scambi venivano effettuati nei porti oltremare, direttamente o indirettamente sotto controllo inglese. Un po' come i Fenici e i Greci. La penetrazione nell'interno e cioè la conquista di territori con un esercito terrestre non assunse mai proporzioni di grande rilievo. Gli Inglesi finanziarono la flotta da guerra, la Royal Navy, solo in quanto necessaria ad assicurare le rotte alle navi mercantili e lo svolgersi degli scambi nei mercati.

Nel corso del '600 iniziarono gli stanziamenti sulle coste delle Bahama, del Bangladesh, delle Barbado, del Canada, del Malabar e di Madras in India. Ad essi si aggiunsero, nel '700, quelli sulle coste orientali dell'Australia e su quelle della Malesia, dello Sri Lanka, di Trinidad.

Non viene sempre messo nel giusto risalto il ruolo essenziale delle risorse

finanziarie nella conduzione delle guerre e delle conquiste. Anche nel lungo e tormentato periodo degli Stuart, gli allevatori di pecore, i tessitori, i mercanti, i marinai britannici continuarono imperterriti a confezionare ed esportare pannilana; continuarono cioè a produrre ricchezza.

L'alto spirito civico che ne derivò, li trovò pronti a conferire i capitali risparmiati in una nuova struttura in grado di finanziare con più efficacia le spese militari strettamente necessarie ad assicurare loro l'ampliamento dell'area di mercato, la produzione di ricchezza e, guarda caso, un più elevato prestigio politico nazionale. Essi furono felici di diventare azionisti della Banca di Inghilterra — *The Bank* — istituita nel 1694, ricevendo in cambio, per tutta la vita, un congruo interesse in titoli di stato. A quei tempi, *the Bank* rappresentò la più alta espressione del processo di accumulo del capitale. I risparmiatori non di un villaggio, o di una città, o di una signoria, ma di una nazione di sette milioni di abitanti, misero a disposizione del loro governo il più ingente capitale finanziario di quei tempi, il cui impiego fu controllato dal parlamento, in cui numerosi furono i loro rappresentanti.

Le monarchie assolute europee non furono in grado di fare altrettanto e la Gran Bretagna, grazie alle sue istituzioni, che liberarono le energie imprenditoriali dei suoi abitanti, si accinse al compito di diventare un impero.

Nel 1707, l'Union Act, stipulato tra Inghilterra e Scozia, pose fine alle rovinose e dispendiose guerre tra le due nazioni, iniziate alla fine del '200 con la rivolta scozzese di William Wallace. Ne risultò un nuovo stato, la Gran Bretagna, formato da due nazioni unite da un unico sovrano e da un solo parlamento. L'Inghilterra si avvantaggiò tra l'altro degli indomiti reggimenti scozzesi e la Scozia dei mercati inglesi in espansione, in cui far confluire i propri manufatti [3].

Il periodo che va dalla rivoluzione del 1688 al trattato di Utrecht del 1713 fu denso di avvenimenti di grande importanza.

L'Europa, nel suo complesso, risultò perdente rispetto alla Gran Bretagna, in quanto quest'ultima ottenne il dominio assoluto dei mari. Tutto ciò si legge nella cronaca storica; e si legge anche che, nella competizione fra nazioni appartenenti ad una medesima area culturale, la vittoria andò alla nazione che si era dotata di un assetto politico diverso dalle altre.

Il mondo dell'epoca ne rimase sorpreso. Infatti la teoria politica dominante a quei tempi considerava il potere assoluto del re come il solo adatto a rendere sicura e prospera la nuova dimensione societaria che l'Europa aveva instaurato sulle rovine dell'assetto feudale, quella nazionale. Il potere assoluto voleva dire ordine e l'ordine era preferibile al caos.

Il senso civico e lo spirito imprenditoriale degli inglesi, attraverso il pluralismo del potere, portarono la società inglese ad usufruire di un regime di libertà politica e religiosa temuto e rifiutato anche dai pensatori più acuti dell'epoca. L'Inghilterra dimostrò invece che la libertà (o la tolleranza) non era un vago ideale, ma un fatto concreto, che produceva più ricchezza e prestigio politico di

quanto potesse venir conseguito con un diverso assetto della società. La ricchezza apparve la conseguenza e la misura del grado di libertà di un popolo.

Nella seconda metà del '700 ebbe inizio la seconda fase della formazione dell'impero britannico. Un potente esercito formato dai reggimenti inglesi e scozzesi fu in grado di conquistare il Canada e di fondare l'impero indiano. L'impero britannico arriverà in seguito al suo massimo splendore, nel corso dell'800, con la conquista del Sud Africa, di Cipro, delle isole Figi, della Guyana, del Kenia, della Nigeria, della Nuova Zelanda, della Nuova Guinea, di Singapore, di Trinidad, dell'Uganda.

LA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE: IL COTONE, IL CARBONE E LE NUOVE MACCHINE TESSILI

La conquista di vasti territori oltremare comportò un notevole incremento dell'area di mercato sotto il dominio britannico e nuove e forse insperate possibilità di scambio per i tessuti di lana.

Il mercato lanciò una sfida agli imprenditori britannici: o aumentare la loro produzione tessile e di conseguenza la loro ricchezza, o rinunciare ad una così allettante prospettiva.

La risposta a questa sfida fu la Rivoluzione Industriale.

Perché rivoluzione? Buona parte della storiografia in proposito sostiene che essa avvenne in un breve lasso di tempo e che «il cambiamento tecnologico e la crescita economica si erano prodotti sporadicamente in Europa e in Asia, ma avevano finito invariabilmente per essere bloccati da forze più potenti. Dopo il 1750 quei vincoli al cambiamento economico furono infranti» [4].

Indipendentemente dai problemi che derivano dalla prima domanda, qual è il significato della rivoluzione industriale?

Vi sono diversi aspetti e definizioni, tra i quali:

- la trasformazione di una società prevalentemente rurale, agricola e artigianale in una prevalentemente urbana, industriale e meccanizzata, il tutto accompagnato da un enorme incremento della popolazione mondiale;
- l'inizio della sostituzione dell'energia biologica con quella meccanica in tutti i settori produttivi;
- il passaggio dell'uomo da produttore di beni scambiabili in produttore di macchine a loro volta produttrici di beni scambiabili;
- la fusione fra scienza e tecnica, che fece rapidamente aumentare il controllo dell'uomo sulla natura;
- una fase della storia del capitalismo;
- la più grande discontinuità della storia, in termini di trasformazioni nelle istituzioni e nell'organizzazione e in termini di output;
- il passaggio dell'uomo-produttore all'uomo-consumatore;

- la concentrazione delle lavorazioni nelle fabbriche e la nascita della classe operaia; una nuova e complessa organizzazione della produzione e della distribuzione;
- la nascita della grande produzione e i mutamenti macroeconomici.

Alla prima domanda si può rispondere constatando che il termine rivoluzione è giustificabile se lo si considera per gli effetti che l'evento ha avuto, ma non lo è più se si considerano le cause che lo hanno determinato. In altre parole, se da tempi lontani e imprecisabili fino agli inizi dell'800 l'uomo ha viaggiato a cavallo, dopo pochi lustri è salito sul treno ed ha guidato l'automobile.

Quanto al significato della rivoluzione industriale, quelli su riportati, nel metterle in luce diversi aspetti, fanno capire che è impossibile fornirne un'unica, concisa definizione.

C'è però un'altra domanda da porsi: perché essa avvenne in Gran Bretagna?

L'ipotesi che qui si intende proporre è che fu proprio l'area di mercato sotto controllo britannico, un'area di dimensioni e consistenza mai verificatesi nella storia, basata essenzialmente sul trasporto marittimo, a fornire agli imprenditori tessili britannici l'occasione di aumentare considerevolmente la loro produzione.

Questo punto di vista merita una precisazione.

Un indice della rivoluzione industriale lo si trova nel cospicuo numero di brevetti che furono concessi, in Gran Bretagna soprattutto, ma anche in altre nazioni europee, a partire dal secolo XVII. Individuando nel mercato in espansione il fattore trainante dello sviluppo, si ammette che l'abbondanza di un fattore di produzione determina in generale, e in particolare nel nostro caso, il proliferare delle invenzioni.

Ma è anche vero il contrario. La scarsità del legname nella Gran Bretagna del '700, con il conseguente aumento di prezzo, provocò, nel settore energetico, la sua sostituzione con i carboni fossili; sostituzione che richiese un consistente numero di invenzioni. Ma ciò avvenne perché un simile impegno inventivo servì a sostituire una risorsa scarsa con una abbondante. La Gran Bretagna era (ed è) ricca di giacimenti di carboni fossili. Questi infatti diventarono la merce più esportata dopo i tessuti di cotone, nonché il combustibile più utilizzato nei focolari domestici sotto forma di coke e semicoke.

Proprio l'aspetto energetico giunge opportuno per mettere in luce una caratteristica della rivoluzione industriale, quella che la definisce come la sostituzione, nella sua fase iniziale, dell'energia biologica con l'energia inanimata dei carboni.

Il ruolo della nuova risorsa fu determinante. Il carbon fossile rese possibile l'espansione del motore a vapore di Watt. Come motore fisso esso fu impiegato nelle nuove fabbriche per azionare le macchine produttrici di beni scambiabili, soprattutto nel campo tessile. Come motore mobile provocò l'avvento della ferrovia e di conseguenza la rimozione del maggior vincolo esistente nel campo del trasporto di merci e persone, quello terrestre.

La base del suo funzionamento, il cilindro con pistone, fu trasferita nei motori a combustione interna che aprirono, tra l'altro, l'attuale era dell'automobilismo.

Ma i carboni fossili inaugurarono anche la moderna metallurgia, il cui aspetto più importante fu l'invenzione dell'acciaio.

Tutto ciò è storia tecnologica ed economica ben nota. Quello che forse è meno noto è che la fase di avvio della rivoluzione industriale non fu dovuta al carbone, alla macchina a vapore di Watt, alla ferrovia, all'acciaio. Il filatoio di Arkwright del 1769, l'invenzione che secondo alcuni Autori diede inizio alla rivoluzione industriale, fu costruito in legno e venne azionato dalla ruota idraulica [5]. Il che vuol dire che la più grande discontinuità della storia fu causata da materie prime e da fattori tecnologici conosciuti ed utilizzati fin da tempi antichissimi. Nell'energia dell'acqua e del vento, nei semi di cotone, nella lana greggia, nel legno come input e nei tessuti di cotone e di lana come prodotti non si individua cioè un qualche elemento di novità.

Forse fu necessario che i tessuti di cotone e di lana non costituissero merci nuove. Noi viviamo in un mondo in cui ogni giorno, svegliandoci, ci aspettiamo ed esigiamo che ci compaiano davanti un nuovo calcolatore, un nuovo telefono cellulare, una nuova automobile. L'innovazione è la molla dello sviluppo economico. Ma il mondo del XVIII secolo non era pronto né a produrre, né ad accettare rapidamente ed estesamente nuovi prodotti. Solo su merci di prima necessità, dovunque acquistate e di basso costo, poté fare assegnamento una lavorazione perché trionfasse la nuova tecnologia.

Ma, ci si può chiedere, un elemento di novità dovette pur esserci in un evento definito rivoluzionario. L'innovazione fu rappresentata dal filatoio di Arkwright, che, pur costruito in legno come quelli allora in uso, rappresentò un cambiamento di tecnologia, poiché da uno stesso materiale venne costruita una macchina in grado di conseguire una maggiore efficacia economica. L'elemento innovativo fu quindi la macchina, mentre gli altri fattori produttivi rimasero gli stessi. Per rendercene conto, confrontiamo un filatoio utilizzato nella lavorazione a domicilio, il castelletto irlandese ad aletta e pedale, con il filatoio di Arkwright [5]. Due aspetti fondamentali emergono dal confronto:

- la sostituzione del pedale con la ruota motrice esterna alla macchina vera e propria, ruota non azionata dall'uomo;
- la presenza di quattro fusi in luogo dell'unico fuso del filatoio a pedale, il che comportò, rispetto a quest'ultimo, una velocità di produzione più di quattro volte maggiore. Con la filatura meccanica, infatti, venne superato il valore medio di produzione di filato per fuso e per ora, che per quella a pedale era di 100 m di filato per ora.

Venne così inventata la macchina «automatica», che costituì l'aspetto innovativo del processo produttivo, non legato all'utilizzo di una nuova forma di energia, ma alla trasformazione del lavoratore a mano in manovratore di macchine.

Infatti, qualsiasi fonte di energia diversa dall'uomo, purché adatta allo scopo, sarebbe stata ben accetta. Arkwright non si pose il problema di individuare la fonte energetica. In un primo momento pensò a un cavallo, ma fu ben lieto che la sua macchina venisse azionata dall'energia dell'acqua. Il filatoio infatti venne denominato «water frame» e la ruota idraulica di Vitruvio conobbe un nuovo, anche se breve periodo di splendore [5].

L'affermarsi della nuova tecnologia per produrre quei tessuti di cotone e di lana, che già Calipso tesseva nella sua «spaziosa grotta», sembra dovuto all'aumento della loro domanda da parte sia del mercato interno britannico che di quello esterno.

Nelle economie preindustriali un aumento di produzione di un bene richiese in genere un aumento del numero dei lavoratori. Non fu questa la risposta degli imprenditori britannici alla sfida lanciata loro dal mercato. Ciò perché, evidentemente, la manodopera disponibile all'epoca non sarebbe stata sufficiente. Questo limite alla crescita economica fu tanto più sentito in quanto, nel frattempo, una nuova merce, dalle superiori prospettive di vendita rispetto ai panni-lana, venne a sconvolgere positivamente le prospettive del settore tessile britannico, i panni di cotone. Se ne parlerà in seguito.

La sfida del mercato poteva essere vinta, quindi, solo aumentando la produzione senza aumentare il numero di addetti. Condizione, però, non sufficiente, in quanto trasportare e vendere panni di cotone, ad esempio in India, rendeva necessario che fossero offerti ad un prezzo concorrenziale.

A tal scopo, confrontiamo di nuovo il filatoio a pedale con quello di Arkwright. Per quanto detto sopra relativamente all'aumento di produttività, il cambiamento di tecnologia si tradusse in una minore incidenza del numero degli addetti, cioè del costo della manodopera, e del costo di impianto (ammortamento) sull'unità di prodotto. A ciò si aggiunge che i quattro filatoi si trovavano in quattro case contadine, mentre le nuove macchine, a causa dell'impiego della ruota idraulica, vennero accentrare in fabbriche situate in prossimità dei fiumi. Si stabilirono così delle economie interne, che contribuirono a far diminuire ancor più il costo unitario dei tessuti, che di conseguenza furono immessi nei mercati interni ed esterni a prezzi concorrenziali. I profitti che ne derivarono vennero reinvestiti e il processo di sviluppo si autofinanziò.

La rivoluzione industriale, nei suoi aspetti tecnologici ed economici, non fu altro che il prodursi di quel fenomeno che va sotto il nome di «economia di scala». Tutto ciò in un contesto economico in cui un bene già saldamente affermato venne prodotto con una nuova tecnologia.

La diminuzione del prezzo di vendita stimolò ulteriormente la domanda. Si mise in moto un meccanismo di crescita che, nella manifattura britannica, non fu solo caratterizzato da un aumento del numero delle fabbriche, del numero degli addetti e del numero delle nuove macchine, ma anche e soprattutto dal fatto che, sempre prendendo ad esempio il filatoio di Arkwright, ogni macchina

fu in grado di azionare più di quattro fusi contemporaneamente, fino ad arrivare a diverse centinaia.

È bene anticipare che la nuova dimensione dell'apparato tecnologico, che inaugurò l'era della grande produzione, non poté più essere realizzata costruendo macchine di legno azionate dalle ruote idrauliche. Fu necessario ricorrere sia ad un motore in grado di erogare potenze molto più elevate che a macchine costruite con un nuovo materiale in grado di rispondere alle nuove drastiche esigenze di una lavorazione meccanica.

In sintesi si è constatato che gli output produttivi che hanno determinato il cambiamento non hanno avuto carattere di novità, non furono rappresentati cioè da nuovi prodotti, come ci si dovrebbe aspettare. Abbiamo messo in risalto il ruolo dei tessuti di lana nella formazione iniziale dell'area di mercato inglese. È necessario esaminare quello dei tessuti di cotone [6]. Gli inglesi furono in grado di apprezzarne le grandi qualità, quando la Compagnia delle Indie Orientali, alla fine del secolo XVII, importò i famosi calicot dall'India. Il successo fra i consumatori fu tale da indurre il governo britannico a vietarne, nei primi anni del '700, la vendita, nel timore di veder danneggiata la produzione laniera. Il che indusse gli imprenditori britannici ad importare il cotone per produrre in loco le cottonine, potendo fare assegnamento su una consistente domanda interna.

La Rivoluzione Industriale consisté nello sviluppo della lavorazione del cotone, favorito anche dal fatto che la fibra si dimostrò più adatta, rispetto alle altre fibre, ad essere lavorata meccanicamente. Il filatoio di Arkwright fu inventato per filare il cotone.

L'economia di scala consentì l'affermazione delle cottonine sui mercati oltremare, anche su quelli dell'India. L'azione politica di Gandhi va intesa, tra l'altro, come un invito ai suoi compatrioti a rifiutare i tessuti provenienti da Manchester, e a riprendere in mano il tradizionale arcolao.

È bene precisare che quanto detto riguarda un evento sul quale tutt'ora dibattono economisti, storici, filosofi, sociologi. In sostanza, si è messo in risalto, in questa nota, il ruolo del commercio estero come fattore più importante per lo sviluppo della tecnologia nel campo tessile. Questo punto di vista è criticato da alcuni Autori, i quali attribuiscono al mercato interno il ruolo principale.

L'economia britannica, se non si poté definire aperta a quell'epoca nel significato completo del termine, lo fu però in grado elevato. La Gran Bretagna importò beni che non poteva produrre o il cui costo di produzione era antieconomico. Era necessario esportare e lo fece inizialmente con i tessuti di lana ed in seguito con quelli di cotone, per cui un commercio estero fu necessario almeno nella misura in cui vennero richieste le merci da importare.

D'altronde gli studiosi concordano quando affermano: «i dati statistici fanno ritenere che l'importanza delle esportazioni per la manifattura nella Rivoluzione Industriale, fosse particolarmente cruciale nella sua fase adolescenziale» [4].

Un problema oggetto di dibattiti riguarda la critica che viene formulata relativamente alla tesi che la Rivoluzione Industriale necessitò di una precedente «rivoluzione agricola». Se la produzione industriale aumentò e la popolazione britannica passò da sette a quattordici milioni durante i sessanta anni del regno di Giorgio III (1760-1820), i generi alimentari si sarebbero potuti scambiare e non produrre in loco. Il che significa che: «in una economia aperta la rivoluzione industriale non si verifica *a causa*, bensì *nonostante* la crescita della produttività agricola» [4].

Non potendo entrare nel merito di tali dibattiti, ci si deve limitare a segnalarli, constatando solamente che economia aperta, aumento della popolazione, sviluppo agricolo e sviluppo industriale caratterizzarono la storia del Regno Unito, almeno a partire dal secolo XVIII.

Strettamente legato a quanto detto sopra è un altro aspetto della rivoluzione industriale. Esso riguarda l'apparente contraddizione che si evince da quanto si è detto sulle nuove macchine, e cioè la diminuzione dell'incidenza della manodopera sull'unità di prodotto (il panno di cotone). Si potrebbe così concludere che ciò comportò una diminuzione del numero di addetti nel settore tessile rispetto alla lavorazione domiciliare precedente. Ma non fu così perché, proprio a causa della diminuzione dei costi unitari, la produzione tessile, come già detto, aumentò in maniera tale da richiedere invece un aumento del numero degli addetti, addetti peraltro in possesso di un maggior livello di specializzazione. Non solo, ma lo sviluppo della produzione delle macchine diede un forte impulso all'industria metallurgica e, a partire dalla metà dell'800, con l'invenzione dell'acciaio, al processo di industrializzazione che si estese, quasi con un meccanismo esplosivo, a tutti i rami della produzione. L'uomo da produttore di beni divenne anche produttore di macchine produttrici di beni.

La macchina è una spietata forza economica. A seconda della domanda del mercato può produrre occupazione o disoccupazione. Nella Gran Bretagna dell'800 la favorevole combinazione fra mercato e macchine, sia pur fra alti e bassi, provocò aumento di occupazione e di ricchezza.

A questo punto c'è da chiedersi quando il carbon fossile, il motore a vapore, la ferrovia, l'acciaio intervennero nel processo di industrializzazione.

L'argomento è complesso, ma se ne può avere una chiave di lettura, ripercorrendo le fasi di sviluppo della macchina a vapore, a partire dalla seconda metà del '700, quando, da semplice pompa a condensazione di vapore, utilizzata per sollevare l'acqua dalle miniere, divenne il terzo motore primario dopo l'uomo e la ruota. La caldaia funzionò sotto pressione e il vapore venne immesso in un cilindro con pistone, dove, espandendosi, fu in grado di erogare potenza a un qualsiasi meccanismo predisposto ad utilizzarla.

Il nuovo motore fu perciò disponibile sessant'anni prima dell'invenzione dell'acciaio. Per la sua costruzione venne impiegata una lega ferro-carbonio prodotta

per la prima volta da Henry Cort nel 1784, a partire dalla ghisa fusa, il ferro puddellato. Si trattava di una lega costituita da ferrite, che includeva impurezze e scorie, fucinabile e con caratteristiche di resistenza meccanica superiori alla ghisa.

Con il ferro puddellato, James Watt costruì il suo motore e per questo ed altri motivi, la pressione di esercizio in caldaia non superò le tre atmosfere. Risultato notevole per quei tempi, tant'è vero che le caldaie a 3 atm vennero definite ad alta pressione [7].

Il motore di Watt si caratterizzò, tra l'altro, per il modo con cui venne utilizzato, cioè come motore fisso e mobile.

Come motore fisso si presentò subito quale pericoloso rivale della ruota idraulica e del mulino a vento. Ma la potenza erogata era di poco superiore a quella fornita dall'energia dell'acqua e del vento.

Il motore a vapore consentì di svincolare le fabbriche dalla localizzazione nelle zone dove l'acqua e il vento potevano venir vantaggiosamente sfruttati.

Quando alla fine esso ebbe partita vinta, le fabbriche si accentrarono nelle città e nacque così il proletariato urbano.

La sua efficienza inizialmente, però, non fu tale da rendere economicamente giustificabile la sua estesa utilizzazione. La ruota idraulica iniziò il suo declino a partire dalla seconda metà dell'800.

Appare perciò del tutto giustificata la constatazione di R.J. Forbes: «Nel '700 l'acqua, in Inghilterra, era la principale fonte di energia; essa azionava foliatrici, macine, seghe, mantici e frantoi di minerali. Le nuove invenzioni nel campo tessile si svilupparono in zone di colline, di valli e corsi d'acqua e i primi stabilimenti furono costruiti sulle rive dei fiumi. Era difficile per i pionieri della rivoluzione industriale pensare in termini di macchine a vapore. Finché la nuova forza motrice non divenne più economica, più sicura e largamente disponibile, il suo impiego fu limitato» [8].

Diversa sorte ebbe il motore a vapore mobile. Le basse pressioni di esercizio non impedirono l'invenzione della locomotiva e della ferrovia, grazie al basso valore dell'attrito volvente fra ruota e binario. Ma il successo fu dovuto al fatto che il motore mobile non aveva rivali validi come nel caso del motore fisso. Era abissale il divario, sotto tutti i punti di vista, con il carro trainato dai cavalli che percorreva strade dissestate, a volte simili a strade di montagna. La ferrovia iniziò quindi il suo sviluppo senza l'acciaio, ma, quando quest'ultimo fu inventato, si diffuse ovunque e rapidamente.

L'economista I. Wallerstein, citato da J. Mokyr [4], nel trattare la grande espansione dell'economia-mondo capitalistica (1995), afferma che vi sono state rivoluzioni tecnologiche nel periodo 1550-1750 e dopo il 1850, «ma decisamente non nel periodo 1750-1850» [4]. L'affermazione appare drastica fino a rasentare il paradossale, ma contiene un elemento di verità. Peraltro, anche la critica attuale, con consenso crescente, riconosce che la crescita economica nel periodo 1750-1850 «è stata più lenta di quanto si sia supposto finora» [4].

In primo luogo è necessario distinguere tra sviluppo tecnologico e crescita economica, perché, se pur strettamente legati, sono sfalsati per quanto riguarda il rispettivo andamento in funzione del tempo. Attualmente tra il momento dell'invenzione e quello in cui la stessa diventa soggetto economico e produce ricchezza, l'intervallo è molto breve. Assume così più ampio significato il termine «innovazione» che da novità tout court diventa novità i cui effetti sono quasi immediati.

Così non fu a quei tempi. Il filatoio di Arkwright, brevettato nel 1769, non produsse immediatamente effetti economici consistenti. Per cui la constatazione di una crescita economica definita lenta risponde alla realtà. Ma Wallerstein parla di rivoluzione tecnologica e non economica e ci sembra dimostrato, da quanto su esposto se pur in termini semplicistici, che il filatoio automatico, ma anche la macchina di Watt, la locomotiva a vapore, il ferro puddellato furono eventi tecnologici rivoluzionari. Altrettanto non si possono definire i loro effetti in quanto mancò, fino alla metà dell'800, il nuovo materiale indispensabile perché si verificasse anche una crescita economica rivoluzionaria, cioè l'acciaio.

L'ACCIAIO

«Prima della Rivoluzione Industriale il ferro era largamente impiegato per la fabbricazione di armi, utensili e attrezzi agricoli. Non aveva alcuna importanza come materiale da costruzione per l'edilizia, per l'architettura, per le costruzioni navali, per la costruzione di mobili e anche della maggior parte degli attrezzi e delle macchine conosciute. Per tutte queste applicazioni, il materiale di gran lunga più usato era il legno» [9].

Nel 1854 un americano dalla mente fervida, William Kelly, si isolò in una foresta del Kentucky per condurre in segreto una serie di esperimenti nel campo della metallurgia del ferro. Il suo obiettivo era preciso: produrre, per la prima volta, l'acciaio a partire dalla ghisa liquida.

Quella di Kelly sembrò un'impresa impossibile.

L'acciaio era un mito. Infatti, nessun fabbro, uomo o dio, era riuscito a produrlo come materiale con cui fabbricare arnesi, strumenti, armi, analogamente a quanto era possibile fare con il rame, il bronzo, l'ottone e il ferro fucinabile.

Ma non per questo non era conosciuto e non era stato prodotto.

L'acciaio, dai vividi e temibili lampi di luce, rivestiva come sottile strato ottenuto con un lungo processo di cementazione seguita da tempra e rinvenimento, le mitiche Durlindana, Excalibur, Notung, le spade che soltanto ad eroi come Orlando, Artù, Sigfrido era dato di impugnare. Pezzi unici, risultato di una severa selezione; solo alcune, fra le tante spade prodotte, erano in grado di spezzare tutte le altre. Non è da meravigliarsi dunque se ciò che rendeva invincibili spade di ferro dolce, altrimenti facilmente piegabili, venisse considerato un mito, inteso come qualcosa di irraggiungibile.

Kelly invece aveva i suoi buoni motivi per ritenere possibile produrre acciaio non soltanto come strato superficiale di armi e di attrezzi, o nei crogioli di B. Huntsmann della metà del '700, ma con un procedimento innovativo tale da renderlo disponibile in quantità elevate e a basso costo.

La metallurgia del ferro è molto complessa. Se osservata tenendo presenti le temperature raggiunte nel corso dei secoli nei forni di riduzione degli ossidi di ferro, si nota che all'inizio fu prodotta, allo stato solido, una lega a basso tenore di carbonio, facilmente lavorabile. Nel XIV secolo, quando la temperatura del forno raggiunse 1150 °C, si ebbe anche la ghisa liquida. Furono così prodotte due leghe di ferro, l'una con un contenuto in carbonio che non superava lo 0,1%, l'altra con il contenuto in carbonio intorno al 4%. Ma tutto ciò si cominciò a capire molto più tardi.

Nel '700 divenne chiaro che l'acciaio era una lega intermedia come contenuto in carbonio tra il ferro dolce e la ghisa, che non era possibile ottenerlo direttamente nel forno di riduzione e che, per produrlo, erano possibili due procedimenti: o diminuire il tenore di carbonio della ghisa liquida, o aggiungere carbonio al ferro dolce allo stato solido.

Kelly scelse il primo procedimento. L'idea non era certo originale perché era stata applicata da Cort per ottenere il ferro puddellato, utilizzando ossidi di ferro allo scopo di ossidare il carbonio ad ossido di carbonio, sottraendolo alla ghisa fusa. Nel corso del processo la massa metallica, però, andava progressivamente solidificandosi. Per questo motivo il ferro puddellato necessitava di una lunga e laboriosa lavorazione manuale di battitura e laminazione.

L'acciaio è liquido a temperature di circa 1500-1600 °C, difficilmente raggiungibili a quei tempi. Sembrava ovvio che in ogni caso Kelly avrebbe dovuto far uso di un combustibile. Ma l'obiezione più consistente all'idea di Kelly era che, comunque avesse operato, avrebbe ottenuto alla fine ferro dolce e non acciaio.

Dal 1851 al 1856 Kelly effettuò, come detto, i suoi esperimenti nel segreto della foresta del Kentucky. Alla fine tornò nel mondo civile e dichiarò con grande entusiasmo che aveva prodotto l'acciaio senza ricorrere ad alcun combustibile, semplicemente insufflando aria nella ghisa liquida. Aggiunse che l'idea non doveva meravigliare perché era sufficiente osservare il fenomeno da un'altra angolazione; considerare cioè la ghisa allo stato liquido non una lega metallica, ma un combustibile — rappresentato dal carbonio in essa contenuto — che con l'ossigeno dell'aria insufflata «bolliva» e si trasformava in acciaio.

I metallurgisti dell'epoca lo considerarono un visionario e la stessa moglie pensò ad uno suo squilibrio mentale. Ma Kelly aveva ragione.

«La genialità del processo di ebollizione consisteva nel fatto che la temperatura veniva elevata per effetto della rapida combustione del carbonio» [10].

William Kelly fu riconosciuto come l'inventore dell'acciaio quando ottenne il brevetto nel 1857. Nel frattempo, in Inghilterra, Henry Bessemer, un ingegnere dotato oltre che di capacità inventiva anche di un ottimo senso degli affari, stava

indipendentemente seguendo la stessa via. Egli aveva notato che nel «convertitore», l'apparecchiatura utilizzata dall'americano, il prodotto ottenuto non giungeva a fusione completa. In queste condizioni il tenore finale in carbonio non poteva venir controllato, mentre con la fusione completa sarebbe stato possibile stabilire il tempo di insufflazione dell'aria ed effettuare opportune operazioni per ottenere le composizioni desiderate e migliorare la qualità del prodotto (per es. una migliore desolforazione). L'aggiunta, inoltre, al bagno metallico di altri particolari elementi diede inizio alla fabbricazione degli acciai speciali.

Con Bessemer ebbe fine il mito dell'acciaio. Finalmente fu possibile, dopo circa tremila anni dall'inizio dell'età del ferro, versarlo in forme e stampi per ottenere i più diversi oggetti, tutti uguali per forma e caratteristiche.

È interessante risalire al motivo che spinse Bessemer ad interessarsi dell'acciaio.

La lega metallica dalla più elevata resistenza meccanica agli inizi dell'800 era, come visto, il ferro puddellato. Aveva il grave difetto di non poter venir lavorato allo stato fluido.

Per la più grande potenza mondiale il problema degli armamenti era di vitale importanza. In particolare i cannoni non potevano venir prodotti che per colata e per questo motivo venivano fabbricati in ghisa, risultando così fragili e di conseguenza pericolosi perché esplodono con relativa facilità [9]. Specialmente nelle bordate delle navi da guerra, quando si rendeva necessario effettuare il tiro rapido, il rischio di esplosioni aumentava. Si diceva allora che era più pericoloso sparare che ricevere i proiettili.

Per ironia della sorte l'acciaio inventato da un ingegnere inglese, che avrebbe dovuto rendere ancor più grande la potenza britannica, fu anche una delle cause che portarono gli Stati Uniti al rango di prima potenza mondiale.

L'evento è bene interpretabile. Il territorio britannico era poco esteso rispetto alla vastità dell'impero e inoltre la produzione agricola non era stata mai così consistente da consentire l'esportazione di derrate alimentari. Il grano ad esempio fu spesso importato e il fatto ebbe ripercussioni importanti sull'assetto politico-economico della Gran Bretagna.

Gli Stati Uniti si presentarono sulla scena mondiale con un territorio circa quaranta volte maggiore di quello del Regno Unito, con immense pianure fertili, un'abbondanza ben superiore di risorse di tutti i generi, fra le quali il petrolio, e con una popolazione che stava crescendo, su un territorio così vasto, ad un ritmo superiore rispetto a quella britannica.

In una prima fase dello sviluppo economico americano, l'agricoltura e l'allevamento ebbero un ruolo primario. Il grano e la carne vennero prodotti in misura notevolmente superiore al fabbisogno interno e furono esportati. Ma c'era un vincolo alla loro esportazione, rappresentato dall'insufficienza del trasporto terrestre realizzato con carri e con il trasferimento delle mandrie dalle zone interne alla costa orientale, che dovevano percorrere distanze anche di migliaia di chilometri.

In un frangente così cruciale, Andrew Carnegie invitò nel 1857 Bessemer nei suoi uffici di New York. Carnegie si occupava di ferrovie, ma si stava interessando anche alla produzione siderurgica [2].

Il personaggio era singolare. Apparteneva ad una famiglia di imprenditori tessili scozzesi, tradizionalmente legati alla lavorazione a mano, costretti ad emigrare, a causa della concorrenza delle nuove macchine. Malgrado le sue origini, egli non fu schiavo del denaro. Quando nel 1900 divenne l'uomo più ricco del mondo, l'unica sua preoccupazione fu di liberarsi delle sue ricchezze, impiegandole in iniziative filantropiche, nella costruzione della Carnegie Hall a New York e nel godere della conversazione dei filosofi nel suo magnifico castello in Scozia. Certamente Carnegie non badò a spese per ottenere il diritto di uso del brevetto sul convertitore Bessemer. Sorse così la più grande compagnia siderurgica del mondo, la Carnegie Steel Corporation.

Con l'acciaio Bessemer la rete ferroviaria americana ebbe un vertiginoso sviluppo e il vincolo al trasporto terrestre delle merci fu tolto. Da quel momento gli Stati Uniti divennero un unico mercato di dimensioni continentali, il più grande del mondo. La produzione di beni e il consumo interno aumentarono vertiginosamente. Le ferrovie trasportarono le derrate alimentari dall'ovest alla costa est, dove vennero imbarcate per i mercati esteri. Le navi e le ferrovie, nel percorso inverso, oltre le merci portarono la manodopera necessaria a sostenere un così elevato ritmo di sviluppo economico.

Al contrario della Gran Bretagna, gli Stati Uniti instaurarono prima un ricco e vasto mercato interno e successivamente svilupparono quello esterno.

Le considerazioni precedenti sono incentrate su quegli aspetti della storia inglese che più si prestano a fornire una sufficiente chiave di lettura della Rivoluzione Industriale.

Naturalmente, non solo tutta la storia inglese, ma anche la storia dell'Europa dovrebbero venir considerate. Si è ritenuto che fosse sufficiente allo scopo l'individuazione di quattro aspetti caratteristici della Rivoluzione Industriale: l'assetto politico e l'area di mercato britannico, le invenzioni di nuove macchine nel settore tessile e l'avvento di un nuovo materiale, l'acciaio.

Il tutto considerato come espressione originale ed esclusiva della civiltà occidentale, una civiltà che è passata, come centro propulsivo di idee e realizzazioni, dal Mediterraneo alla Gran Bretagna, agli Stati Uniti, ma come area culturale non ha fatto altro che espandersi irresistibilmente.

Proprio le nuove macchine pongono un interrogativo a cui non troviamo risposta e che viene rivolto agli economisti e agli storici.

La Rivoluzione Industriale, si è visto, è definibile anche come il passaggio dell'uomo da diretto produttore di beni a manovratore di macchine produttrici di beni.

Oggi, l'automatismo dilagante tende a fare dell'uomo un sorvegliante di apparati elettronici che muovono macchine produttrici di beni. Per cui il ruolo

dell'uomo va configurandosi come quello di ideatore e progettista di un apparato produttivo sempre più complesso, che richiede livelli crescenti di conoscenze scientifiche e di competenze tecnologiche.

L'uomo va estendendo sempre più il suo dominio sulla natura. Ma la soluzione dei problemi che la dinamica di un simile processo presenta, non fa altro che imporre altri e più numerosi problemi, la cui soluzione rende necessaria una visione più completa, che coinvolge la cultura umanistica. Il che si traduce in un invito agli scienziati e agli ingegneri a rivisitare il passato per progettare il futuro, ma soprattutto agli umanisti a dialogare con i primi.

In tempi preistorici l'uomo fabbricava i pochi beni esistenti, al limite con le sue mani; rappresentava così il soggetto economico e la macchina biologica produttiva. Quando si instaurò il mercato, i beni furono scambiati fra gli uomini in quanto macchine produttive.

Con la Rivoluzione Industriale la produzione è diventata sempre più compito delle macchine e non dell'uomo. Portando al limite una tale tendenza, l'uomo verrebbe così a rivestire solo il ruolo di causa efficiente del cosmo tecnologico.

Appaiono attuali e rivelano il loro profondo significato le parole di Seneca, riportate, non a caso, all'inizio di questo articolo: «la sapienza siede più in alto e insegna agli uomini e non alle mani. ... Le invenzioni sono del saggio, ma in quanto uomo ... la loro pratica deve essere lasciata ad umili servitori».

Ed ecco la domanda: è lecito da quanto detto sopra dedurre che lo scambio di beni debba essere considerato come se avvenisse non più fra gli uomini, ma fra le macchine?

BIBLIOGRAFIA

- [1] J. BAECHLER, *Le origini del capitalismo*, Feltrinelli (1977).
- [2] B. RUSSELL, *Storia delle idee del secolo XIX*, Mondadori (1968).
- [3] G.M. TREVELYAN, *Storia d'Inghilterra*, Garzanti (1965).
- [4] J. MOKYR, *Leggere la Rivoluzione Industriale*, Il Mulino (1977).
- [5] *Storia della Tecnologia*, vol. 4, cap. X, Boringhieri (1964).
- [6] P. MANTOUX, *La Revolution industrielle*, Genin (1959).
- [7] *Storia della Tecnologia*, vol. 4, cap. VI, Boringhieri (1964).
- [8] *Storia della Tecnologia*, vol. 4, cap. V, Boringhieri (1964).
- [9] E. SALOMONI, *Dal ferro all'acciaio*, Ed. Riuniti (1983).
- [10] *Storia della Tecnologia*, vol. 5, cap. III, Boringhieri (1964).

LEONELLO PAOLONI (*)

I progetti di Giuseppe Oddo (1865-1954) per lo sviluppo dell'industria chimica in Sicilia ()**

The Projects of Giuseppe Oddo (1865-1954) for the Development of Chemical Industry in Sicily.

Summary - Giuseppe Oddo was professor of chemistry in the universities of Cagliari, Pavia and Palermo. An objective he pursued during the whole of his career was to promote the establishing of industrial activities based on Sicilian resources. The first of his projects (1907-1910) aimed at the production of sulphuric acid from the combustion of sulphur ores too poor to be suitable for direct sulphur extraction. His second project (1918-1931) started from the discovery of ore deposits of potassium and magnesium salts near Caltanissetta (Enna), which he named «an Italian Stassfurt», and had the purpose of producing salts to be used as fertilizers in agriculture and as raw materials by the chemical industry. The last Oddo's project (1926-1936) was the production of sugar from the carob pods, once used only as an animal fodder, whose sweet pulp, made seedless and dried, contains 16 to 30% of saccharose.

These projects, worked out at a sound level of technical accuracy, failed to achieve their aims because several obstacles prevented their success during Oddo's life-time. This paper reports on their development and on the difficulties Oddo met for want of funding and/or political support. A decade after Oddo's death, the mining and the industrial production of potassium salts became a reality, but this has been interrupted since 1992, marred by the playing of Sicilian political games.

1. Nota biografica

Nato a Caltavuturo (Madonie), il 9 giugno 1865, Giuseppe Oddo è entrato nell'università di Palermo come studente del corso di laurea in chimica nel 1884. Dal novembre 1887, ancora studente, ebbe l'incarico annuale di preparatore per la cattedra di Chimica generale su proposta di Emanuele Paternò, laureandosi in chimica (pieni voti e lode) nel 1889, e poi in medicina nel 1891. Nel novembre

(*) Dipartimento di Chimica Fisica, Università di Palermo.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

dello stesso anno ottenne la libera docenza in Chimica generale. Dal gennaio al dicembre 1892 fu anche assistente incaricato alla cattedra di Chimica docimastica (tenuta per incarico da Paternò dal 1880-81 al 1891-92) dandone di fatto le lezioni negli anni 1890-91 e 1891-92. La partenza di Paternò nei primi giorni del dicembre 1892, avvenuta prima ancora che venisse emanato il decreto per il suo trasferimento all'università di Roma, ritardò fino a gennaio la delibera della Facoltà sulle domande presentate da Vincenzo Oliveri e Giuseppe Oddo per gli insegnamenti rimasti vacanti: la Chimica generale fu affidata ad Oliveri e la Chimica organica a Oddo. Dal 16 febbraio 1893, prima della nomina del successore di Paternò, Oddo ebbe l'incarico di assistente alla cattedra di Chimica generale, posto che mantenne con il nuovo titolare Alberto Peratoner, restandovi fino al 1895. Comandato a Roma dal gennaio 1896 per lavorare di nuovo con Paternò, Oddo riprese il suo posto a Palermo dall'agosto 1897 [ACS, ASUP].

L'attività di ricerca di questo primo periodo fu avviata con i lavori (1890-1891) sugli azocomposti aromatici, per i quali aveva modificato i metodi di preparazione. Pubblicò poi una serie di sei note sperimentali (1891-1896) intervenendo nella controversia sulla costituzione della canfora (considerata da Kekulé un chetone derivato dal tetraidro-para-cimene), proponendo un sistema biciclico nello stesso anno 1893 in cui la costituzione corretta veniva proposta da Julius Brecht nell'università di Aquisgrana.

Nel 1898 venne nominato, in seguito a concorso, professore straordinario di Chimica generale nell'università di Cagliari. Tra le ricerche condotte durante gli anni trascorsi in questa sede (1898-1905), oltre la continuazione degli studi su sostanze del gruppo della canfora, vanno ricordate quelle connesse all'uso dell'ossicloruro di fosforo (cloruro di fosforile, POCl_3) come solvente per crioscopia. Questo liquido incolore e molto rifrangente, che bolle a 105,1 e solidifica a 1,3 °C, è capace di sciogliere una grande varietà di sostanze che l'acqua decompone.

Va ancora ricordato che dopo la scoperta del cripton e dello xenon da parte di William Ramsay, Oddo gli scrisse (24 luglio 1902) sostenendo che essi avevano la capacità di dare combinazioni, tesi che Ramsay condivise (4 agosto 1902). La pubblicazione delle lettere scambiate in tale circostanza è tuttavia avvenuta nel 1933, dopo che Anton von Antropoff aveva annunciato la sua preparazione del cloruro di cripton, ma il loro significato storico è stato evidenziato solo in epoca recente, dopo la riconosciuta scoperta di tali composti (giugno-settembre 1962) [Paoloni 1983].

Promosso ordinario nel gennaio 1902, volendo lasciare una sede decentrata come era allora Cagliari, partecipò al concorso per professore straordinario di Chimica generale bandito nel 1905 dall'università di Pavia. Poiché ciò implicava una retrocessione nella carriera, Oddo scrisse il 25 aprile 1905 al ministro dell'Istruzione Pubblica Leonardo Bianchi criticando la politica adottata nell'assegnazione dei posti di ordinario (da un ventennio non venivano banditi concorsi a tale livello) e chiedendo che il concorso indetto fosse revocato e subito riaperto

per un posto di ordinario. La risposta fu negativa ed il 22 dicembre, appena prima di lasciare il governo, il ministro Bianchi gli offrì la possibilità di essere nominato come straordinario stabile, chiedendo tuttavia una decisione immediata. L'accettazione di Oddo giunse il giorno dopo, ma il decreto venne emesso il 31 dicembre 1905 dal ministro Errico De Marinis, dopo la soluzione della crisi governativa. Il ministro Paolo Boselli (in carica dall'8 febbraio 1906 nel primo governo di Sidney Sonnino) gli accordò uno stipendio di £ 3500, maggiorato cioè con l'assegno *ad personam* di £ 500 annue. L'insediamento di Oddo a Pavia, decorrente dal 1 gennaio 1906, fu tuttavia burrascoso poiché Oddo protestò per le condizioni del Laboratorio ed a fine febbraio chiuse l'Istituto motivando la decisione «per mancanza di mezzi e di personale» e coinvolgendo gli studenti nella protesta. Per superare questa situazione Boselli, dopo la riapertura avvenuta il 16 marzo, elevò la dotazione annua da 4000 a 6000 lire, assegnò al laboratorio un posto di inserviente, ma per evitare che ciò apparisse come un cedimento, fece decorrere i provvedimenti dal luglio, inviando al rettore una nota di deplorazione diretta a Oddo per il comportamento tenuto. Questa crisi nei suoi rapporti con il ministero si concluse nel novembre 1906, quando Luigi Rava (ministro nel governo Giolitti) lo riportò al grado di ordinario [ACS].

Negli stessi mesi Oddo aveva concentrato il proprio interesse di ricerca sull'impiego dei minerali solfiferi siciliani per la fabbricazione industriale dell'acido solforico, incoraggiato da Francesco Cocco-Ortu, ministro di Agricoltura, Industria e Commercio, per realizzare il progetto di produrre acido solforico in Sicilia dalla combustione diretta del minerale di zolfo più povero [Oddo 1932]. Di questo impegno negli anni 1907-1910 diremo in dettaglio nel seguito.

Nel novembre 1909 Oddo chiese di essere autorizzato a risiedere a Milano, recandosi a Pavia quotidianamente con un abbonamento ferroviario a tariffa ridotta, autorizzazione che venne rinnovata durante tutta la permanenza nella sede. Tra le altre ricerche condotte a Pavia dal 1911 in avanti sono importanti quelle che differenziavano gli alcaloidi estratti dalle solanacee, le solanine, presenti nella patata da quelle del pomodoro. Nel settembre del 1912 Oddo partecipò al Congresso Internazionale di Chimica Applicata che si tenne a Washington ed a New York, intervenendo nella discussione sulla revisione dei pesi atomici, di cui si era occupato nel 1899. Nel 1914, studiando l'abbondanza naturale degli elementi osservò che gli elementi più abbondanti, ossigeno e silicio, hanno un 'peso atomico' multiplo di 4. Questo risultato, da lui denominato «legge del 4», fu ottenuto su base diversa anche da William D. Harkins a Chicago, ed è citato ancora oggi come legge di Oddo-Harkins [Oddo 1914, 1920, 1925, 1948 pp. 71-74, pp. 905-911].

Dopo l'entrata in guerra dell'Italia e l'impiego di gas asfissianti e urticanti (iprite) da parte delle armate tedesche, Oddo preparò una relazione che il 31 agosto 1915 consegnò a Roma al ministro della Guerra generale Vittorio Zupelli, con una serie di proposte per mezzi di difesa e di offesa. Nell'ultima parte essa

esaminava anche le carriere dei componenti la Commissione ministeriale per i gas (Alberto Peratoner, Giacomo Ciamician, Emanuele Paternò, Leone Pesci, Arnaldo Piutti) e ne criticava la scelta, ritenendoli di scarsa affidabilità sulla base dei rapporti familiari e/o di amicizia che alcuni di loro avevano con cittadini tedeschi. Concludeva suggerendo una revisione di tali nomine poiché il governo poteva disporre, tra il personale universitario e quello del ministero di Agricoltura, Industria e Commercio, di circa un centinaio di chimici italiani [ACS].

Le misure del peso molecolare dell'acqua allo stato di vapore saturo tra -20 e 270 °C, gli studi sul ruolo della sua ionizzazione nei fenomeni atmosferici, sullo stato monomero e dimero dell'acqua disciolta in alcune anidridi ed in altri solventi (1915-1916), concludono le ricerche del periodo pavese.

Il trasferimento di Oddo a Palermo è avvenuto con una modalità singolare. Il 7 settembre 1917 Oddo informò il Preside della Facoltà che insieme a Giorgio Errera avevano deciso, per motivi di famiglia, lo scambio delle rispettive sedi e richiese che la loro decisione fosse sottoposta alla approvazione della Facoltà. Errera aveva scritto negli stessi termini al Preside della Facoltà di Palermo, che il 27 ottobre approvò la proposta. Dopo una seconda delibera, assunta dalla Facoltà di Palermo il 15 novembre a causa di un rilievo formale del ministero, i decreti di trasferimento furono emanati con decorrenza dal 1 dicembre 1917 [ACS, ASUP].

L'accordo intervenuto tra i due andava incontro anche al desiderio di Errera di lasciare Palermo dove era stato vittima di una brutale aggressione la notte del 14 febbraio 1915, mentre rincasava. Il fatto è così descritto nella nota inviata dal rettore Gaetano Mario Columba al ministro della Pubblica Istruzione Pasquale Grippo: «fu aggredito e ferito al viso. Non si esclude che le ragioni del fatto debbano ricercarsi nell'esercizio del suo ufficio di insegnante e di direttore di un Istituto universitario; ma le indagini dell'autorità competente non hanno trovato alcun elemento per una accusa sicura». Le indagini della polizia condussero a sospettare di un falegname che, dopo aver terminato i lavori a lui commissionati nei locali del nuovo edificio dell'Istituto di Chimica in via Archirafi, aveva continuato ad occuparne quattro vani con i suoi banconi, per lavorarvi in proprio. Errera, dopo aver accordato varie proroghe, gli aveva fatto intimare lo sgombero dei locali entro il 20 febbraio. Il sospettato si era reso latitante e la polizia non era riuscita a raccogliere prove [Errera ACS, ASUP].

Queste circostanze erano indicative della situazione che Oddo avrebbe affrontato, anche se al momento del suo arrivo i locali degli edifici nella Via Archirafi erano utilizzati come ospedale militare.

Giunto a Palermo nel dicembre 1917, Oddo era intervenuto direttamente per lo sfruttamento industriale di un giacimento di sali solubili di sodio, magnesio e potassio nel territorio di Calascibetta [Oddo 1940]. La sequenza dei fatti, di cui diremo più oltre, induce a supporre che la realizzazione di tale progetto sia stata una delle ragioni del suo accordo con Errera.

Da queste notizie sulla carriera di Oddo, e sulle idee innovative che l'avevano sostenuta, emergono chiare le motivazioni sia del suo desiderio di ritornare a Palermo, sia del consenso della Facoltà. A lui venne affidata la lezione inaugurale dell'anno accademico da poco iniziato, una solenne consuetudine interrotta durante la guerra e ripresa l'11 dicembre 1918, appena un mese dopo la vittoria. Il tema che Oddo scelse era di notevole attualità: «La chimica nella guerra e nel dopo guerra» [Oddo 1919].

Abbiamo già detto che quando Oddo giunse a Palermo l'edificio di Via Archirafi destinato ad ospitare l'Istituto di Chimica, con una parte della struttura muraria eretta sin dal 1909, era adibito ad ospedale militare. Oddo non voleva trasferirvisi perché il posto gli appariva mal scelto, in una zona allora ai margini della città e quasi priva di mezzi di comunicazione. Poiché sul terreno, adiacente all'Orto Botanico, erano stati già costruiti gli edifici degli istituti di Zoologia e di Anatomia Comparata, egli propose di destinare l'edificio disponibile alla Geologia e Mineralogia, in modo da riunire nella Via Archirafi tutti gli istituti afferenti alle scienze naturali. Eletto Preside della Facoltà, propose che gli edifici da destinare agli istituti di Chimica, di Fisica e di Matematica fossero costruiti in una zona più centrale, chiedendo al governo i fondi per un ampio progetto di edifici universitari. Il governo presieduto da Vittorio Emanuele Orlando (1919) stanziò 6.500.000, e l'università affidò la elaborazione del progetto ad una Commissione edilizia. Un anno e mezzo dopo (1921), quando questa presentò il progetto, la svalutazione aveva reso del tutto inadeguato lo stanziamento, che il governo decise di sopprimere [ASUP].

L'amministrazione universitaria doveva risolvere molti problemi in condizioni politiche mutate dopo la formazione del 'Governo Nazionale' presieduto da Benito Mussolini (novembre 1922): le aule disponibili erano inadeguate a fronte dell'afflusso dei reduci e dell'incremento nel numero degli studenti, tra i quali era fortemente accresciuta la componente femminile; le pressioni di coloro che dovevano trasferirsi nei locali della sede centrale che i chimici avrebbero lasciato; la necessità di utilizzare ciò che era stato predisposto da anni, con grande dispendio di tempo e denaro. Il concorso di queste circostanze impose ai chimici di accettare la sede di Via Archirafi.

Nel maggio 1923, dopo un contrasto in se banale tra l'aiuto Emanuele Oliveri-Mandalà e l'assistente Giuseppe Comella per l'attribuzione delle aule dove tenere i rispettivi corsi, il primo entrò in aperto conflitto con Oddo il quale ne chiese la destituzione. Tra i motivi di fondo di tale conflitto era anche l'aperta opposizione di Oddo al nuovo regime politico, al quale invece l'aiuto aveva aderito. Il ricorso di costui determinò una ispezione, disposta dal ministro Giovanni Gentile nel dicembre 1923, ed il caso prese una piega politica per l'intervento del rettore Francesco Ercole. Il ministro rifiutò di destituire l'aiuto e la vicenda si concluse nell'aprile 1924 con uno smacco per Oddo, biasimato dal ministro per mancanza di serenità nei riguardi del suo collaboratore [Oliveri-Mandalà ACS, ASUP].

La programmazione, la progettazione e l'avvio dei lavori di trasformazione dei nuovi locali vide trascorrere gli anni dal 1925 al 1927. Le operazioni di trasferimento misero in conflitto le esigenze dei professori della Facoltà di Legge, sostenute dal preside Antonio Longo (ordinario di Diritto amministrativo), che intendevano risistemare ed occupare gli spazi lasciati dai chimici, e quelle di questi ultimi che erano nella materiale impossibilità di insediarsi nei nuovi locali senza che vi fossero installati almeno gli arredi destinati alle attività didattiche, la cui costruzione era stata affidata alla ditta di Pavia che li aveva forniti ai laboratori di Oddo in quella università nel 1906-1908. Prevalse la tesi di Longo, e Oddo fu obbligato ad imballare apparecchi, libri, prodotti e tutti i materiali dei laboratori, ed a trasportare le relative casse nei nuovi locali mentre erano in corso i lavori. Questo fatto provocò vari danni: il loro ingombro ritardò il montaggio degli arredi, mentre, essendo impossibile una adeguata sorveglianza, alcune casse vennero manomesse, con rottura di alcuni apparecchi e furto di materiali.

Il rivestimento in piombo dei canali di scarico nelle 'sale analitiche' degli studenti fu completato nel marzo 1927; la installazione dei banchi di lavoro e delle cappe, iniziata nel settembre, fu completata dopo circa un anno: i corsi sperimentali e gli esami di stato furono perciò svolti in locali provvisoriamente adattati allo scopo. Nell'agosto 1928 la sistemazione della biblioteca era completa, e restava soltanto da redigerne il catalogo topografico. L'8 ottobre 1928, in vista dell'imminente inizio del nuovo anno accademico, il primo che si tenne interamente nella nuova sede, Oddo inviò al direttore dei lavori un «elenco delle opere che restano da fare», lungo ben cinque pagine.

Le proteste di Oddo per la lentezza dei lavori e le accuse di connivenza con l'appaltatore da lui formulate a carico del direttore amministrativo, rimasero senza effetto. Offeso per il fatto e per il linguaggio in cui Oddo aveva formulato le accuse, il direttore amministrativo, sostenuto dal rettore Francesco Ercole, chiese che tutti i carteggi fossero inviati al ministro Pietro Fedele. Nel luglio 1928 tali carteggi passarono al successore Giuseppe Belluzzo, che dispose una indagine. Il risultato fu una lettera del ministro (13 marzo 1929) che biasimava Oddo «per il contegno poco riguardoso tenuto nel carteggio con il Rettore» e con il direttore amministrativo [Oddo, ACS].

A conclusione di queste amare vicende, per la prima volta dopo quasi 70 anni, i chimici dell'università disponevano di un edificio progettato con criteri adeguati alle necessità del loro lavoro didattico e di ricerca, convenientemente attrezzato, costruito in una zona salubre della città. La concezione tecnica e la realizzazione della sede (nella quale i chimici lavorano ancora oggi) è soprattutto il risultato della competenza e dell'impegno assiduo di Oddo.

Durante gli anni di pausa imposti alla ricerca sperimentale dal trasloco in Via Archirafi, Oddo si dedicò alla stesura dei libri di testo destinati ai suoi corsi e ad alcuni lavori di carattere teorico. Gli studi sui pesi atomici degli elementi compiuti durante un ventennio, seguendo gli sviluppi delle conoscenze sulla

struttura degli atomi e rielaborando la classificazione periodica proposta nel 1920, si concretizzarono nella proposta di una nuova classificazione periodica degli elementi, sulla quale Oddo basò la stesura del *Trattato di chimica generale e inorganica* pubblicato nel 1925, cui aggiunse nel 1930 il *Trattato di chimica organica*. Nel 1931 la seconda edizione di quello di chimica inorganica, di maggior mole rispetto alla prima per lo sviluppo dato alla parte teorica, riproponeva la sua teoria sulla disintegrazione spontanea degli atomi (fondata sulla «legge del 4») come origine della radioattività.

La prima importante serie di lavori sperimentali, condotta in parte nei laboratori provvisori della nuova sede (1926-1927), riguarda la natura dell'acido solforico, studiata sia attraverso l'anidride e le sue varie combinazioni, sia mediante misure del peso molecolare di tali combinazioni per via crioscopica su soluzioni in ossicloruro di fosforo POCl_3 , ed in altri solventi. Negli anni successivi Oddo riprese le sue ricerche sulle solanine (1929-1934), mentre dal filone delle ricerche sugli aza-eugenoli derivò quello sui diazo-composti (1928-1935). I loro risultati hanno accresciuto le nostre conoscenze su un ampio gruppo di sostanze naturali e sui loro derivati sintetici [Oliveri-Mandalà 1955].

Accanto agli interessi scientifici, all'attività didattica ed ai problemi nel settore dello zolfo siciliano di cui è stato detto, Oddo considerò altri temi di carattere tecnico e industriale. Nel 1927 brevettò un filtro per maschere antigas. Negli stessi anni condusse una sperimentazione per l'estrazione del saccarosio dalle carrube, tema anche di una conferenza tenuta a Parigi, il 13 giugno 1928, su invito della *Société de Chimie industrielle* [Oddo 1928]. Nel 1933-1935 estese la sperimentazione a diverse varietà di carrube del bacino Mediterraneo, un progetto che verrà esaminato diffusamente più avanti [Oddo 1936].

Il provvedimento legislativo del ministro Cesare M. De Vecchi di Val Cismon che riduceva i limiti di età, stabilendo il collocamento a riposo dei professori al termine dell'anno accademico di compimento del 70° anno di età, aveva sul piano nazionale anche l'obiettivo di eliminare l'influenza dei docenti di formazione liberale, ormai un piccolo gruppo. A Palermo esso riguardò sei professori ordinari di varie facoltà, ma Oddo, colpito nel pieno della sua attività, lo visse come una persecuzione personale: lasciò la cattedra amareggiato, anche perché l'inatteso e forzato abbandono avveniva prima che qualcuno dei suoi collaboratori fosse qualificato a succedergli. Certamente fu anche informato sui contatti personali del Direttore amministrativo, incaricato dal Rettore, con Emanuele Oliveri-Mandalà che aspirava a trasferirsi da Messina a Palermo. Rifiutando ogni formalità di saluto, il 27 luglio 1935 donò alla biblioteca dell'Istituto una raccolta elegantemente legata e dedicata dei propri discorsi universitari (1898-1928), e non mise più piede nell'Istituto.

Il collocamento a riposo non interruppe la sua attività: Oddo attrezzò un laboratorio nella propria abitazione e continuò a lavorare ed curare la ripubblicazione di alcuni suoi scritti, tra cui la monografia sul giacimento di sali solubili nel territorio di Calascibetta [Oddo 1940].

Dopo le vicende della guerra e la fine del regime fascista ebbe l'occasione di assumere nuovi impegni professionali. Nel novembre 1943, la sub-commissione 'Educazione' del Governo Militare Alleato (AMGOT-HQ, *Educational Adviser* il tenente colonnello George Robert Gayre, università di Oxford), incaricò Oddo dell'insegnamento e della direzione dell'Istituto di Chimica applicata della Facoltà di Ingegneria, essendo vacante la cattedra per la morte di Pietro Leone, avvenuta nel bombardamento aereo del 30 giugno 1943. In tale veste, chiamato a far parte del "Comitato di studi tecnici per il potenziamento economico della Sicilia nel quadro dell'avvenire nazionale", Oddo contribuì a varie iniziative di politica economica assunte in quello che veniva ritenuto un momento storico favorevole. Nel luglio 1945, relatore invitato al "Convegno minerario" promosso dal Banco di Sicilia, illustrò ai convenuti, tra cui tre ministri, il valore delle risorse regionali. Nello stesso anno il ministero della Pubblica Istruzione lo confermò negli incarichi di insegnamento e direzione attribuitigli dallo AMGOT, ma rifiutò di riammetterlo in servizio poiché aveva superato il limite dei 75 anni di età.

Nel 1946 egli riunì in un libro le relazioni, gli scritti ed i discorsi che esprimevano le speranze di questa breve stagione. Il suo incarico cessò nel 1948 [ASUP], lo stesso anno in cui pubblicò a proprie spese la terza edizione del suo *Trattato di chimica generale e inorganica*, nel quale l'ordine espositivo rimase quello della sua classificazione periodica, e nella appendice ripropose, in polemica con i fisici nucleari, la propria teoria della radioattività che poneva la «legge del 4» come cardine della «disintegrazione atomica». Questa fatica fu priva di risultati non solo per il suo allontanamento definitivo dall'insegnamento, ma soprattutto per le mutate condizioni della didattica nell'Istituto di Chimica. Morì a Palermo il 5 novembre 1954, avendo avuto nella chimica palermitana un ruolo paragonabile a quello di Cannizzaro nel secolo precedente.

2. Il progetto (1907-1910) per la produzione di acido solforico

Nel luglio 1907 Oddo si recò dal ministro di Agricoltura, Industria e Commercio Francesco Cocco-Ortu (governo Giolitti), sostenendo la possibilità di selezionare i minerali solfiferi della Sicilia adatti alla preparazione dell'acido solforico e la convenienza di costruire forni adatti a consentire la simultanea produzione di zolfo fuso e di acido solforico. Il ministro, sulla base della richiesta di Oddo, fece trasportare 40 tonnellate di minerale dalla miniera di Trabonella (Caltanissetta) nella fabbrica annessa al Regio Dinamitificio Militare di Fontana Liri (Frosinone), dove Oddo stesso si recò a lavorare dal 28 agosto al 3 settembre 1907. Una quantità simile di minerale fu lavorata nella fabbrica di Torre de' Passeri (Pescara).

Nel primo rapporto, inviato al ministro il 7 ottobre 1907, dopo l'esperimento produttivo compiuto, Oddo sosteneva la possibilità e la convenienza di

costruire forni per la produzione simultanea di zolfo fuso e di acido solforico dai minerali poveri, fatto che avrebbe consentito di «mettere direttamente in commercio (...) il minerale di zolfo ricco, quale si ricava dalle miniere» [Oddo 1932, p. 1-2]. Nello stesso anno si documentò sulle miniere della Campania, della Toscana, delle Marche e della Romagna, visitò in Sicilia miniere e porti dai quali riteneva possibile esportare la futura produzione. Nel settembre 1909 preparò per lo stesso ministro una seconda relazione, con alcuni dettagli progettuali degli impianti (basati su brevetti che Oddo aveva depositato nel frattempo), recando a sostegno delle proprie tesi gli studi sulla natura dei giacimenti solfiferi e sulla struttura del minerale di zolfo. Per determinarne rapidamente il tenore in zolfo ai fini commerciali, Oddo aveva anche elaborato un metodo che usava un apposito 'solfimetro', costruito e messo in vendita dal rappresentante romano della ditta Martin Wallach [Oddo 1932, pp. 107-123].

L'autore era pienamente conscio del fatto che questa iniziativa si era avviata in una prospettiva politicamente significativa a seguito dei mutamenti avvenuti da qualche tempo nella vita economica e politica siciliana. Lo sviluppo industriale della Sicilia era stato il tema del discorso che Michele Capitò, ordinario di Idraulica e direttore della Scuola d'Applicazione degli Ingegneri, aveva tenuto il 31 maggio 1902 ai 357 sindaci dei comuni siciliani convenuti a Palermo per l'inaugurazione dell'Esposizione Agricola. I cambiamenti che Capitò aveva richiesto erano stati introdotti: la Scuola d'Applicazione, resa autonoma, dal 1904 era stata equiparata anche nell'ordinamento ad una Facoltà ed il suo direttore entrava di diritto nel Consiglio Accademico dell'università. Un ulteriore passo verso la concretizzazione del programma delineato da Capitò era stato compiuto nell'aprile 1907 con la stipula della convenzione tra il ministero della Pubblica Istruzione, il ministero del Tesoro, l'università ed il municipio di Palermo per la istituzione della Sezione Industriale presso la Scuola d'Applicazione. La convenzione veniva riconosciuta e resa esecutiva con la legge 14 luglio 1907, n. 571. Tre mesi dopo era approvato il nuovo ruolo organico della Scuola che prevedeva complessivamente 8 direttori di Gabinetto e 16 assistenti, un applicato amministrativo, 6 inservienti ed un portinaio. In esso l'innovazione più rilevante era l'aggiunta di due cattedre di chimica all'unico corso di Chimica docimastica, fatto che ampliava notevolmente le prospettive della formazione professionale [Paoloni 1997].

Le due relazioni di Oddo da Pavia si collocavano in questo contesto palermitano. L'iniziativa ministeriale, centrata sull'impiego dello zolfo siciliano per la fabbricazione industriale dell'acido solforico, si proponeva di avviare a soluzione la crisi della produzione solfifera siciliana, causata dalla concorrenza che veniva fatta dall'acido ottenuto per combustione delle piriti. È opportuno tratteggiare sommariamente questa crisi, gravissima nei bacini minerari dell'ennese e dell'agrigentino, per comprendere il significato delle proposte che Oddo aveva avanzato in sede governativa.

Nei decenni 1880-1900 si era avuto in Sicilia un forte intervento di capitalisti inglesi, con investimenti coordinati per migliorare l'esercizio delle miniere, le modalità di raffinazione dello zolfo, il suo trasporto alle stazioni ferroviarie più prossime ed ai porti di imbarco. Tale intervento aveva registrato un sostanziale fallimento sia per la concorrenza del processo introdotto in Louisiana da Herman Frasch nella produzione commerciale dello zolfo puro (da 7000 tonnellate nel 1901 a 200.000 nel 1905), sia per l'impiego quasi generale delle piriti nella fabbricazione dell'acido solforico. La ridotta domanda di zolfo siciliano aveva causato la chiusura di molte miniere ed il calo della produzione in quelle rimaste attive. La disoccupazione dei minatori, che accresceva gli abusi della proprietà rispetto alle condizioni contrattuali degli zolfatari, aveva avuto il suo apice negli anni 1903-1906, con conflitti e scioperi (ben 36 nel 1906). Il governo Giolitti era intervenuto con la legge 15 luglio 1906 che istituiva un 'Consorzio Obbligatorio' tra i produttori. A questo spettava di regolare la produzione e la vendita, realizzare e gestire le opere, dichiarate di pubblica utilità, connesse al trasporto dello zolfo dalla miniera alla stazione e da questa al porto di imbarco. La crisi solfifera influenzò notevolmente le vicende politiche nelle province coinvolte e vide il prevalere dei gruppi sociali economicamente più forti: favorì alleanze tra gruppi politici locali più conservatori nelle elezioni amministrative, accrebbe le difficoltà nelle prospettive di costituire una federazione tra le organizzazioni dei lavoratori.

L'innovazione tecnologica proposta da Oddo non ebbe seguito, né in Sicilia né altrove. Le sue relazioni del 1907 e 1909 furono ripubblicate a Palermo nel 1932, insieme ad altri suoi scritti (1922-1923) sullo stesso tema, a cura del 'Consorzio Obbligatorio per l'Industria Solfifera Siciliana' che ne sosteneva le proposte venticinque anni dopo!

Lo storico Giuseppe Barone ha sottolineato come sia prevalsa (e non solo allora!) la capacità dei partiti municipali di vanificare gli interventi governativi [Barone 1989]. Oggi possiamo affermare che la possibilità di far evolvere la produzione mineraria siciliana verso l'impresa industriale nel 1880-1900, quando ancora poteva avere una sua prospettiva, venne rifiutata dai partiti dominanti e dai notabili, poiché il consentirla implicava un 'rischio' sociale: trasformare il contadino-minatore, appena uscito dalla servitù del feudo, nell'operaio di una industria moderna ed in fase di espansione. Dal loro canto i minatori non presero il vantaggio di 'spersonalizzare' i rapporti di lavoro attraverso una propria organizzazione rappresentativa e restarono, nel loro insieme, indifferenti alla prospettiva di modificare le forme tradizionali della loro subordinazione.

3. Il progetto (1918-1928) della "Stassfurt italiana"

Abbiamo già accennato che, giungendo a Palermo, Oddo era intervenuto nel territorio di Calascibetta per avviare lo sfruttamento industriale di un giaci-

mento di sali solubili di sodio, magnesio e potassio. Documenti e notizie inerenti a questa vicenda sono stati raccolti da lui stesso nel volumetto che pubblicò nell'aprile 1940, oltre vent'anni più tardi, con la relazione presentata «all'unico concorso per l'autarchia economica nazionale, svoltosi nel 1936, nel quale, tra 140 concorrenti risultai secondo» [Oddo 1940]. Nel 1957 il titolo di questo scritto, *Una "Stassfurt" Italiana*, era ricordato in un convegno a Palermo [Moncada 1957], e citato da un geologo del Centro Sperimentale Regionale che concludeva così la sua nota sull'argomento: «(...) una nuova ricchezza mineraria, suscettibile di grande sviluppo e che potrà influenzare positivamente l'economia della Regione». La produzione dei sali potassici è diventata una realtà industriale, anche se la gestione dei giacimenti è un tema della vicenda economica siciliana dibattuto sui giornali ancora oggi (1993-1996).

Nella prefazione Oddo ricorda i contatti con il geologo Mariano Gemmellaro, libero docente nell'università di Palermo, dal quale aveva saputo che durante l'anno 1917 i proprietari dei terreni sulla riva destra del fiume Morello, si erano uniti in sindacato minerario per la ricerca e lo sfruttamento di giacimenti. La loro esistenza era ipotizzata, in base ai risultati delle analisi chimiche effettuate sulle acque sorgive e sui minerali raccolti nella contrada Sambuco-Casazze (provincia di Enna), dalle relazioni tecniche oltre che del Gemmellaro stesso, del chimico Stefano Fachini (direttore della Scuola-Laboratorio degli olii e dei grassi annessa all'Istituto Tecnico Superiore [poi Politecnico] di Milano) e dell'ingegnere Luigi Frongia. Dopo l'arrivo di Oddo a Palermo essi avevano costituito, con decorrenza dal 1 gennaio 1918, la società SOLDIT ("Solfati d'Italia") con capitale di 125.000 lire (poi aumentato a £ 500.000) e sede in Milano, ottenendo la concessione ministeriale per la coltivazione dei giacimenti sui quali basare la produzione dei sali di potassio, di magnesio e dei loro derivati destinati ad impiego industriale. Oddo, nominato consulente della stessa società, eseguì nel 1918-1919 numerose analisi su campioni di minerali, concludendo che i sali del giacimento erano identici a quelli estratti dal famoso bacino minerario tedesco di Stassfurt (Harz settentrionale). L'iniziativa, avviata nel 1918-1921 con un discreto successo iniziale sul progetto in buona parte elaborato da Oddo, era poi naufragata nel 1928 per cattiva gestione sia industriale che commerciale.

Partecipare al concorso del 1936 significava per Oddo riproporre un progetto che gli avrebbe consentito passare dalla recente condizione di pensionato a quella di consulente centrale di un programma industriale di notevole utilità per il proprio paese. Il momento era politicamente importante poiché proprio in quell'anno era cambiata la condizione della politica interna ed estera: il governo italiano aveva scelto l'*autarchia* come risposta alle sanzioni economiche, deliberate dalla Società delle Nazioni. Esse imponevano ai paesi membri un divieto di commercio con l'Italia come rappresaglia per l'occupazione militare dell'Etiopia e l'annessione del suo territorio all'impero coloniale italiano. L'esclusione dalla bilancia commerciale internazionale vincolava l'importazione di materie prime in

Italia al loro pagamento in oro anziché mediante utilizzo dei crediti in valuta estera ottenibili dall'esportazione dei prodotti nazionali. Mussolini ebbe in quel periodo il massimo consenso del paese: il 18 novembre 1935 la maggioranza dei cittadini si era privata di oggetti d'oro, "donati alla patria" per ridurre il danno arrecato dal provvedimento punitivo. La relazione della commissione giudicatrice del concorso «per l'autarchia economica nazionale», al quale Oddo aveva partecipato, era stata solennemente pubblicata nel primo anniversario di tale evento, il 18 novembre 1936.

La riproposizione del progetto era stata portata all'attenzione personale del ministro dell'Agricoltura e Foreste, Edmondo Rossoni, che aveva sollecitato il ministero delle Corporazioni affinché incaricasse degli opportuni accertamenti il Consiglio Nazionale delle Ricerche, presieduto dal generale Pietro Badoglio. Nell'attesa del loro esito nel febbraio 1938 veniva costituita una nuova società tra lo stesso Oddo ed i proprietari dei terreni, la SAPPI, che chiese ed ottenne la concessione mineraria per la ricerca e la coltivazione dei giacimenti nella stessa contrada Sambuco-Casazze. Nel settembre 1938 il ministero delle Corporazioni nominava i commissari (Michele Taricco, professore presso il CNR, e Roberto Gualtieri, ingegnere dell'Ufficio minerario di Caltanissetta) che insieme con Oddo compirono sopralluoghi ed esami analitici nelle miniere della contrada abbandonate della SOLDIT. Il 30 maggio 1939 il Segretario generale del CNR informava Oddo di aver «(...) segnalato alle competenti Amministrazioni l'interesse industriale e autarchico della valorizzazione del giacimento salino di Calascibetta».

La relazione di Oddo, entrando nel dettaglio degli aspetti gestionali ai quali imputava il fallimento dell'impresa avviata dalla SOLDIT, poneva di fatto le premesse per il suo diretto coinvolgimento. Egli raccontava come, ignorando i suoi suggerimenti (preparare le mescole in base all'analisi chimica dei minerali estratti), ai compratori venisse spesso spedito un prodotto di composizione variabile, e quindi inutilizzabile perché ottenuto [Oddo 1940, p. 22]

fidandosi della scelta a vista d'occhio, che, per un minerale di tal natura è troppo fallace, non essendo facile distinguere tra loro sali tutti bianchi, spesso quasi ugualmente cristallizzati, che danno miscele isomorfe. Furono pertanto commessi errori e qualcuno grave, che (...) fecero sorgere un grave dissidio tra i due Gerenti, (...) che non si riuscì a comporre, e portò all'arresto dei lavori in miniera, alla perdita di parte di quel mercato (quello dei vetrai) e alla nomina in novembre 1921 di un sequestrario giudiziale.

Dopo l'intervento di un finanziere inglese (John T. Trehwella ed eredi) e di alcuni investitori italiani (Pasquale Giampietro, Celestino Chiarovano) la produzione era stata ripresa, ma l'iniziativa era stata travolta dalla crisi economica. La SOLDIT aveva accumulato passività così forti che nel giugno 1931 l'amministratore Franz Trehwella l'aveva posta in liquidazione rinunciando alla concessione, chiudendo le gallerie e consegnandone le chiavi ai proprietari dei terreni. La crisi era stata accentuata dalla concorrenza del processo per preparare allu-

mina e sali potassici partendo dalla leucite, proposto da Gian Alberto Blanc (professore di mineralogia a Roma) che, forte di un ampio consenso politico, aveva visto sorgere un grande impianto a Civitavecchia.

La relazione di Oddo, sotto il profilo tecnico-scientifico, rivendicava la prima interpretazione globale della formazione dei giacimenti di zolfo, sale ed idrocarburi presenti in questa zona dell'isola. L'invaso delle acque marine che vi avevano costituito «un grande lago, come il Mar Morto» [Oddo 1940, p. 19], fu suddiviso in due parti quando per

(...) azione della massa ignea interna della terra, un altro grande fenomeno sopraggiunse, cioè il sollevamento del suolo secondo una linea obliqua (...) che partendo dall'Etna arriva direttamente a Cattolica [Eraclea] e continua più oltre sotto il mare, passando presso il punto in cui emerse nel 1831 l'Isola Giulia o Ferdinanda, arrivando fino a Pantelleria.

Avvenne pertanto che le acque del lago marino a sud di quel sollevamento ricaddero in mare, lasciando come residuo i depositi già formati di gesso, sostanze organiche e tripoli, che continuarono il lavoro suddetto della formazione dello zolfo e degli idrocarburi; invece quelle a nord di esso trovarono un'alta e poderosa linea di sbarramento nelle Madonie e loro speroni, e continuarono a concentrarsi formando prima i grandi depositi di cloruro sodico, le cui saline oggi in vista tracciano con grande precisione a sud quella zona di sollevamento; e poscia, terminando di concentrarsi, dando il deposito di kieserite di Casazze-Sambuco e finalmente quello di carnallite di Capra-Schifano, dei quali ci occupiamo.

I processi genetici fondamentali che Oddo aveva esaminato erano i seguenti:

— la riduzione a solfuro del solfato di calcio, depositato come anidrite, produceva anidride carbonica per reazione con il carbonio delle sostanze organiche, residue dalla flora locale sommersa e dai resti degli animali marini;

— il solfuro di calcio, trasformato in carbonato per azione dell'anidride carbonica, generava idrogeno solforato;

— l'idrogeno solforato in soluzione acquosa, nelle condizioni di temperatura ed alta pressione realizzate in profondità, reagiva con il carbonio organico producendo zolfo, metano ed etilene;

— metano ed etilene, nelle condizioni in cui erano prodotti, si combinavano formando idrocarburi saturi ed insaturi.

Lo sfruttamento successivo delle miniere fu condizionato dalle vicende della guerra e dalla politica del dopoguerra. Nel giugno 1944 l'agronomo Gaetano Sabatini, proprietario di alcuni terreni ed uno dei concessionari della miniera Casazze-Sambuco che aveva collaborato con Oddo sin dalla sua scoperta, pubblicò un opuscolo dal titolo *L'ora delle concimazioni potassiche*, del quale Oddo scrisse la prefazione. Questa era conclusa con l'auspicio che segue: «(...) se i nostri terreni, oggi impoveriti, ritorneranno ad essere i granai d'Italia, dando maggiore contributo alla rinascita della nostra Patria, benedirò i venticinque anni di lavoro paziente spesi in ricerche (...)». Considerando il seguito che esso ebbe [De Stefani 1957], gli sviluppi successivi [Roda 1970] e la storia più recente, accennata nella conclusione di questa nota, anche oggi è difficile essere ottimisti.

4. La produzione di saccarosio dalle carrube (1928-1936)

La prima notizia sull'origine di questo progetto è stata data da Oddo nella conferenza tenuta a Parigi, per invito della *Société de Chimie Industrielle*, il 13 giugno 1928. Egli riferiva che da sette anni, su consiglio del barone V. Signorini, Presidente della deputazione provinciale di Palermo, lavorava per riuscire a cristallizzare il saccarosio estratto dalle carrube, una difficoltà che Marcelin Berthelot aveva segnalato sin dal 1859 e che da allora nessuno aveva più esaminato, al punto che «partout on lit que le sucre des caroubes est incristallisable». Le ricerche condotte da Oddo insieme ai collaboratori Riccardo Maisano e Vincenzo de Fonzo avevano permesso di stabilire che l'estratto zuccherino ottenibile dalle carrube lasciava cristallizzare il saccarosio sia da alcol etilico che da alcol metilico. Il trasferimento di questo risultato al livello industriale era stato avviato con due tipi di sperimentazione: — un estrattore in lamiera, caricato con circa 5 kg di carrube private dei semi, tagliate a fette e seccate, nel quale il vapore dell'alcol bollente veniva condensato a ciclo continuo; — un sistema di otto diffusori, caricati con circa 6 kg dello stesso materiale, nel quale il solvente circolava a riflusso in controcorrente. Ambedue i procedimenti avevano funzionato, con qualche vantaggio pratico nel caso del metanolo come solvente.

Alla fine degli anni 1920 la produzione di carrube nei principali paesi del bacino Mediterraneo era di almeno 250 mila tonnellate (indagine fatta dall'allora vice-direttore dell'Orto Botanico di Palermo, professor Francesco Bruno, su richiesta di Oddo), di cui circa metà in Spagna ed un quarto in Italia. Della quota italiana, 40 mila tonnellate erano raccolte in Sicilia ed il resto in Sardegna e nel meridione [Oddo 1928], e la loro principale destinazione, connessa all'appetibilità ed al valore nutritivo del prodotto, era l'alimentazione degli equini da tiro. La diffusione dei motori a scoppio, riducendo il ruolo della trazione animale, aveva messo in crisi gli allevamenti equini e le produzioni agricole connesse. La proposta di Oddo intendeva non tanto trovare un diverso impiego per le carrube, ma piuttosto accrescerne la produzione evidenziando i vantaggi della loro trasformazione in materia prima industriale. Dopo aver esposto i dati sopra citati, Oddo concludeva che già dalla corrente produzione di carrube nel bacino del Mediterraneo si potevano ricavare da 20 a 30 mila tonnellate di saccarosio e che l'estrazione con etanolo poteva essere applicata anche alla polpa delle barbabietole essiccata e conservata durante il corso dell'anno, in modo da evitare che l'uso degli impianti fosse limitato ai due-tre mesi estivi in cui si fa la raccolta della bietola.

Il 19 ottobre del 1935, pochi giorni prima della decorrenza del collocamento a riposo, Oddo inviò alla redazione degli *Annali di Chimica Applicata* un blocco di sei note, che egli poneva in continuazione a quella del 1928, nelle quali dava conto delle attività svolte per la realizzazione del progetto produttivo. La direzione della rivista distribuì tali note nei primi tre fascicoli dell'anno 1936 dove esse riassumono, in circa 40 pagine, il lavoro compiuto nel laboratorio, nel-

l'impianto pilota operante a Palma de Mallorca sin dal gennaio 1930, ed i rapporti stabiliti dal 1932 in avanti con rappresentanti diplomatici e con tecnici, italiani e stranieri, nelle colonie, in diversi paesi del Mediterraneo ed in Perù.

La prima di queste sei note esponeva i risultati ottenuti dall'impianto pilota di Palma de Mallorca, capace di lavorare giornalmente circa due tonnellate di carrube. Dalla documentazione pubblicata, corredata da fotografie riferibili all'ottobre 1934, risulta che 700 kg di carrube possono dare 135 kg di zucchero grezzo, 97 kg di semi, 160 kg di melasso e 325 kg di residui (la loro somma, 717 kg, comprende l'acqua di lavorazione rimasta nel melasso e nei residui) [Oddo 1936, pp. 7-10].

I dati sul contenuto di saccarosio delle carrube registrati nella letteratura erano discordanti e sembravano suggerire una forte dipendenza dalla regione geografica: si andava da poco più del 10% per quelle raccolte in Grecia al 31-32% per quelle raccolte in Algeria e nel sud della Spagna. Le tre note successive erano perciò dedicate alla verifica dei metodi di analisi per mettere a punto una procedura uniforme e controllabile; alla descrizione delle modalità di collezione dei campioni; alla esposizione dei relativi risultati. I 46 campioni esaminati (di cui 43 giunti in laboratorio tra il 6 gennaio ed il 12 giugno 1933) provenivano dal Portogallo (Algarve), dalla Spagna (Malaga, Valencia, Barcellona), dalle Baleari (Ibiza), dal Marocco (Tetuan), dall'Algeria (Algeri), dalla Tripolitania (Tripoli), dalla Cirenaica (Cirene, Derna, Barce), dalla Grecia (Salonico, Retimme), da Creta (Canea, San Nicolas), da Rodi, da Coe, da Cipro (Limasol), dall'Egitto (Alessandria), dalla Siria (Beirut), dalla Palestina (Haifa e Beitgemal), dall'Anatolia (Istanbul). I campioni italiani erano provenienti da Bari e dalla Sicilia (Trapani, Paceco, Caltavuturo, Modica, Stanzilao, Pozzillo, Ragusa, Comiso) [Oddo 1936, pp. 56-62]. I 7 campioni di specie selvatiche avevano un contenuto in saccarosio riferito alla carruba intera mediamente più basso, anche se la più povera, proveniente da Derna, raggiungeva il 13,3-13,8%. Negli altri esso oscillava dal 16,5 al 25,9%. La quantità di saccarosio estraibile era quindi in tutti i casi superiore a quella delle barbabietole e della canna. Nella polpa secca privata dei semi, il materiale che veniva effettivamente lavorato, tali valori salivano di 2-4 unità, circostanza che influiva favorevolmente sui costi del processo industriale [Oddo 1936, pp. 66-67]. Nei dati pubblicati tuttavia non è esplicitamente indicato il costo dell'essiccamento.

La produzione di etanolo per fermentazione del melasso e del "mosto" di carrube è il tema trattato dalla sesta nota. Mentre una diluizione era sufficiente a portare il melasso alla concentrazione degli zuccheri totali intorno al 16-18%, ottimale per la fermentazione, il "mosto" era ottenibile estraendo con acqua potabile la polpa privata dei semi e polverizzata. Le esperienze di estrazione condotte in laboratorio avevano operato con acqua a 30 ed a 75-90 °C, fino ad ottenere un mosto che contenesse circa il 4% di glucosio ed il 14% di saccarosio, la differenza essendo solo nei tempi di contatto. La fermentazione, condotta a 28-30 °C, aveva una resa in etanolo tra 10,8 e 11,9%, simile cioè a

quella delle altre materie prime. Le esperienze industriali sull'impianto pilota operante a Palma de Mallorca, condotte sin dal marzo 1932, davano risultati conformi [Oddo 1936, pp. 75-77].

L'ultima nota sull'argomento era suddivisa in due parti. La prima dimostrava che lo zucchero estratto dalle carrube era saccarosio sulla base dei dati analitici, del peso molecolare, del potere rotatorio e delle proprietà del suo ottoacetil-derivato. La seconda parte trattava dello zucchero estratto dai frutti di una pianta selvatica diffusa nel Perù, denominata *algarrobo*, il termine spagnolo che identifica il carrubo, di cui esisteva un esemplare nell'Orto Botanico di Palermo. Campioni della pianta e dei suoi frutti erano stati richiesti (gennaio 1932) ed ottenuti attraverso la Legazione italiana a Lima, ed il botanico Nicola E. Esposto, direttore della locale Scuola di Agricoltura vi aveva allegato una relazione che così la descrive [Oddo 1936, p. 91]:

Sotto il nome generico di Algarrobo nel Perù si conoscono varie specie di alberi (forse 4 o 5), tutti appartenenti alla gran famiglia delle Leguminose, sottofamiglia Mimosoidee e al genere *Prosopis*. (...) Gli Algarrobos sono alberi di clima caldo e di tipo arenicolo xerofilo, che quando crescono in condizioni favorevoli possono passare di 10 metri di altura; sono assai frondosi ed hanno le ramificazioni principali che a volte cominciano nella base del tronco o ad uno o due metri sopra il suolo, ed hanno la cima per lo più appiattita. Quando crescono in località sfavorevoli, soprattutto dove soffia costantemente molto vento, acquistano la forma d'arbusto coi rami distesi sopra il suolo. (...)

Un ufficiale addetto alla stessa Legazione, il capitano Giuseppe Fontana, aveva inviato nel dicembre 1933 un'altra relazione [Oddo 1936, p. 92], con notizie sull'uso del frutto nel Perù:

Questo albero produce una quantità enorme di baccelli. I baccelli sono assai dolci e costituiscono un alimento di classe superiore per il bestiame di qualunque classe, che ne è ghiottissimo. Nel nord del Perù tutte le capre, allevate all'aperto, vivono per parecchi mesi di questi baccelli caduti dagli alberi, diventandone così elemento di diffusione dei semi e che forniscono la spiegazione delle grandi ed importanti foreste di questa sola specie, che si trovano in tutta la costa del Perù, con alberi a volta plurisecolari, di enorme sviluppo, non essendo difficile trovarne di oltre un metro e mezzo di diametro.

(...) A mio giudizio la migliore qualità che avrebbe la coltivazione di questi alberi in Tripolitania e Cirenaica deve ricercarsi nella loro proprietà specialissima di formare un efficacissimo e semplicissimo rimedio contro il flagello delle sabbie mobili trasportate dai venti. Nel deserto tra Pisco e Ica, nel Dipartimento di Ica, dove regna giornalmente un vento abbastanza forte e regolare proveniente dal Pacifico, questi alberi costituiscono il miglior rimedio contro tale flagello. Collo spesso fogliame fermano le sabbie che si accumulano, costruendo così delle vere ed importanti barriere, alcune di oltre dieci metri di altezza, in cima alle quali spuntano pochi rami verdi che vi stanno quasi completamente sepolti, senza alcun intervento, coltivazione o irrigazione da parte dell'uomo. (...)

Dai risultati delle analisi compiute su due campioni di baccelli il contenuto di saccarosio estraibile risultava del 20,5%, accompagnato da 1-2% di glucosio.

Questo notevole complesso di risultati sembra essere rimasto privo di applicazioni.

5. Considerazioni conclusive

Concludere questa indagine storica significa, a distanza di mezzo secolo, fare un bilancio del seguito che hanno avuto le ricerche e le iniziative di Oddo nel campo dell'industria chimica in Sicilia.

Lo zolfo oggi offerto sui mercati ha una duplice origine: — quello estratto, allo stato di grande purezza, dai giacimenti della Louisiana e del Texas mediante fusione e pompaggio alla superficie con vapore surriscaldato (processo Frasch e sue varianti); — quello ottenuto dalla desolforazione del petrolio, le cui frazioni di maggior valore aggiunto sono destinate alla combustione ed alla lubrificazione. La illusione di poter riportare sui mercati lo zolfo siciliano o prodotti da esso derivati, che ha ispirato politici e studiosi dal 1925 al 1961, è caduta in modo definitivo. Il volumetto in cui Oddo ripubblicò nel 1932 le relazioni e le memorie nelle quali aveva studiato (dal 1907 in poi) gli aspetti tecnici del tema, si inserisce in tale contesto. L'analisi storica più recente, condotta da Francesco Renda, conclude così: «Ormai è proprio il caso di dire: c'era una volta l'industria zolfifera. Ciò che ne rimane non autorizza certo alla speranza che la stessa industria possa rinascere» [Renda 1989, p. 40]. Resta il dato storico, traccia lasciata nella cultura, mentre nei luoghi della vicenda esso è anche un reperto archeologico che ne tramanda la memoria.

Il discorso non è molto diverso per il progetto di estrarre il saccarosio dalle carrube, un tema che Oddo riprese nel settembre del 1944, considerando favorevoli le circostanze politiche del dopoguerra siciliano. Nei decenni successivi la produzione agricola siciliana è radicalmente cambiata ed il suo contributo al prodotto interno lordo (PIL) dell'isola ha oscillato nell'ultimo ventennio tra il 7 ed il 10%. Il 20% circa della produzione agricola vendibile proviene dal comparto agrumario tradizionale, cui si aggiunge un contributo equivalente dal comparto zootecnico [Calabrò 1997]. Il resto si ripartisce tra tutti gli altri comparti, nei quali le carrube per se sono una voce statisticamente inesistente. È possibile che esse contribuiscano ancora alla produzione industriale di mangimi, cioè ad una componente del settore agro-alimentare. Questo settore costituisce circa un decimo delle esportazioni industriali della Sicilia [Busetta 1997], mentre l'intera produzione industriale nello stesso ventennio, ha contribuito al 23-25% del PIL regionale totale, originante per il resto dai servizi [Calabrò 1997].

Le miniere di sali potassici nel versante a nord di Enna, descritte da Oddo, sono state chiuse perché industrialmente esaurite [De Stefani 1957]. La parte meridionale del grande giacimento da lui identificato, è stata acquisita per diversi canali dall'Ente Minerario Siciliano, costituito nel 1963. Attraverso le miniere di Pasquasia, attive dal 1980, la produzione siciliana ha continuato ad essere presente sul mercato dei sali potassici. Un tecnico del settore, da me consultato, ha confermato la validità dello studio di Oddo, i vantaggi connessi alla collocazione geologica dei giacimenti, l'eccellente qualità dei prodotti. Nel 1986

una legge ha imposto la bonifica dei terreni dai residui e la canalizzazione al mare dei reflui industriali, già scaricati nel fiume Salso. L'azienda concessionaria ha ritenuto che spettasse all'Ente Minerario Siciliano, titolare della proprietà, provvedere alle opere necessarie. Poiché ciò non è avvenuto, i concessionari hanno ridotto e poi cessato la produzione nel luglio 1992. Perdurando questa situazione, l'Assessore all'Industria della Regione nel luglio 1995 ha decretato la decadenza della ditta dalla concessione.

BIBLIOGRAFIA

- BARONE G.: «Notabili e partiti a Caltanissetta da Crispi a Mussolini», in G. Barone & C. Torrisi (a cura di): *Economia e società nell'area dello zolfo (secoli XIX-XX)*, Caltanissetta-Roma 1989, pp. 271-330.
- BUSETTA P. (Coordinatore): «Orizzonte congiunturale. 6° Rapporto. Appendice statistica», *Orizzonte Sicilia*, vol. 28 (1997), n. 52, pp. 53-78.
- CALABRÒ M.: «La Sicilia e la derivata terziaria», *Orizzonte Sicilia*, vol. 28 (1997), n. 52, pp. 40-47.
- DE STEFANI T.: «I sali potassici della Sicilia», *L'Industria Mineraria*, vol. 8 (1957), pp. 149-150.
- MAMELI E.: «Giuseppe Oddo», *La Chimica e l'Industria*, vol. 37 (1955), pp. 220-223.
- MONCADA C.: «I sali potassici; problemi e prospettive», *La Chimica e l'Industria*, vol. 39 (1957), n. 2, p. 132.
- ODDO G.: *Discorsi pronunziati durante la permanenza nelle R. Università di Cagliari, Pavia e Palermo*. Raccolta dei testi originali 1898-1928 legati in volume. Dono autografo, 27 luglio 1935, conservato nella Biblioteca di Chimica in Palermo (inv. n. 3627).
- ODDO G.: «Sul peso molecolare di alcuni elementi e d'alcuni loro derivati», *Gazzetta Chimica Italiana*, vol. 29 (1899), parte II, pp. 343-353.
- ODDO G.: «Zur Geschichte der Konstitutionfrage des Kamphers», *Berichte des deutschen chemischen Gesellschaft*, vol. 37 (1904), pp. 511-515.
- ODDO G.: «Sulla mesoidria», *Gazzetta Chimica Italiana*, vol. 37 (1907), parte I, pp. 83-105; vol. 51 (1922), parte II, pp. 42-56.
- ODDO G.: «La struttura molecolare degli atomi radioattivi», *Gazzetta Chimica Italiana*, vol. 44 (1914), parte I, pp. 219-235.
- ODDO G.: *La chimica nella guerra e nel dopoguerra*. R. Sandron Editore, Palermo 1919.
- ODDO G.: «Nuova classificazione periodica degli elementi», *Gazzetta Chimica Italiana*, vol. 50 (1920), parte II, pp. 213-245; vol. 55 (1925), parte I, pp. 149-174.
- ODDO G.: *Trattato di chimica inorganica*, pp. 865 («La classificazione periodica» pp. 89-97), Palermo 1925; II edizione, Palermo 1931.
- ODDO G.: «L'extraction du saccharose des caroubes», *Chimie et Industrie*, vol. 20 (1928), pp. 207-218.
- ODDO G.: *Trattato di chimica organica*, pp. 920, Palermo 1930.
- ODDO G.: *Impiego del minerale di zolfo di Sicilia per la preparazione dell'acido solforico*. Palermo, 1932.
- ODDO G.: «Estrazione industriale del saccarosio dalle carrube. Nota II», *Annali di Chimica Applicata*, vol. 26 (1936), pp. 3-10.
- ODDO G., ALGERINO A., RIBON E.: «Estrazione industriale del saccarosio dalle carrube. Nota III. Analisi delle carrube di tutto il bacino del Mediterraneo e adiacenze», *Annali di Chimica Applicata*, vol. 26 (1936), pp. 11-19; «Nota IV. Studio sulle carrube di tutto il bacino del Mediterraneo e adiacenze: descrizione dei campioni», pp. 56-65; «Nota V. Risultati ottenuti nell'analisi chimica», pp. 65-69.
- ODDO G.: «Nota VI. Fermentazione alcoolica del mosto e del melasso di carrube», *Annali di Chimica Applicata*, vol. 26 (1936), pp. 70-78.
- ODDO G., ALGERINO A.: «Estrazione industriale del saccarosio dalle carrube. Nota VII. Identità dello zucchero cristallizzato estratto dalle carrube e dalla algarroba del Perù col saccarosio della canna da zucchero e della barbabietola», *Annali di Chimica Applicata*, vol. 26 (1936), pp. 89-95.

- ODDO G.: *Una Stassfurt italiana*, pp. 45, Palermo 1940.
- ODDO G.: *Alcuni problemi di chimica industriale e mineraria in Sicilia*, pp. 126, Palermo 1946.
- ODDO G.: *Trattato di chimica generale e inorganica*, pp. 944, III edizione, Palermo 1948.
- OLIVERI-MANDALÀ E.: «Giuseppe Oddo. Commemorazione letta a Palermo il 1 febbraio 1955», *Gazzetta Chimica Italiana*, vol. 85 (1955), pp. 469-489.
- PAOLONI L.: «The Noble Gas Compunds: The views of William Ramsay and Giuseppe Oddo in 1902», *Journal of Chemical Education*, vol. 60 (1983), p. 758.
- PAOLONI L.: *La storia dei chimici nell'università di Palermo: 1787-1960*, Quaderni della Facoltà di Scienze MFN, n. 7, Palermo 1997, in corso di stampa.
- RENDA F.: «L'industria mineraria siciliana ieri e oggi», in G. Barone & C. Torrisi (a cura di): *Economia e società nell'area dello zolfo (secoli XIX-XX)*, Caltanissetta-Roma 1989, pp. 13-41.
- RENDA F.: *Storia della Sicilia dal 1870 al 1970*, vol. II, Palermo 1990.
- RODA C.: «Salgemma, sali potassici e zolfo in Italia», *Bollettino dell'Accademia Gioenia di Scienze Naturali in Catania*, Serie IV, vol. 10 (1970), pp. 385-395.
- SABATINI G.: *L'ora delle concimazioni Potassiche*, Palermo 1944.

FONTI ARCHIVISTICHE

(Sigle dei riferimenti)

- ACS: Archivio Centrale dello Stato, Roma, Ministero della Pubblica Istruzione, Direzione Generale dell'Istruzione Superiore, fascicoli del personale docente.
- ASUP: Archivio Storico dell'Università di Palermo, fascicoli del personale docente.

LUIGI CERRUTI (*)

La difficile ricerca della 'cortina'.

Struttura chimica e attività fisiologica, 1928-1954 (**)

Summary - In 1928 F. Hartman named 'cortin' the hormone secreted by the adrenal cortex. The name was echoing the insulin name, by then the most important and useful outcome of the research on the endocrine glands, and it was wishing the new substance a fortunate fate. However nobody could foresee how long was the way which led from the gland extracts used in Addison's disease therapy in the late 1920s to cortison, the wonder drug of the late 1940s. In effect the isolation and the identification of the active principle of the adrenal cortex presented many problems, from the chemical and physiological points of view, and 'the way to cortison' was not only long, but also not at all straight. In this paper it is shown that the research lines of organic chemists, biochemists and physiologists faced several obstacles: the number of more or less 'active' substances found in the extracts; the objective complexity of the physiological activity of the adrenal cortex; the multifarious array of bioassays employed in testing the activity of the isolated substances. In the biochemical field, E.C. Kendall's contribute is contrasted with that by T. Reichstein, while in the field of endocrinology it is analysed the uncertain situation of the scientific community as it was shown in 1937, at the Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology. Finally, the attention is on the first correlation of molecular structure towards physiological activity, based on the distinction between gluco- and mineralcorticoids. In this connection, it is to be emphasised that the ontologically ambiguous reference to 'cortin' remained in scientific literature for many years after the confirmation that adrenal cortex extracts contained several active substances. The narrative ends up with the isolation of aldosterone in the first 1950s, through the joint efforts of Tait, Simpson, Reichstein and Wettstein.

Paper conclusions stress three points. The embittered competition forbade any collaboration among the 'cortin hunters' on a crucial question: what was the physiopathological meaning of the numerous (cruel) tests on animals. The two leading groups gave a different contribution to the solution of the 'cortin' problem: Kendall's team improved the knowledge about the structure/activity relationship, and Reichstein's laboratory mastered the chemical side of research (isolation procedures and molecular structure determination). At last, the personal research styles of the two protagonists were strikingly different: Kendall's style was excited, careless and even imprudent; Reichstein's style was powerful, learned, cautious and even too circumspect in the theoretical conclusions. Both the scientists won the Nobel Prize; thus it is clear that the Nobel Prize is not a question of style.

(*) Dipartimento di Chimica Generale ed Organica Applicata, Università di Torino.
E-mail: LCerruti@silver.ch.unito.it

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

Fin dalla seconda metà del secolo XIX gli scienziati impegnati nello studio delle secrezioni endocrine hanno costituito una comunità assai composita, e per questo piuttosto interessante. Utilizzando le denominazioni professionali a noi contemporanee vi si ritrovano biochimici, chimici organici, fisiologi, endocrinologi, clinici. Alla fine degli anni 1920 per la prima volta vennero somministrati a malati del morbo di Addison estratti corticosurrenali in grado di mantenerli in vita. Fu l'inizio di una corsa al riconoscimento e all'isolamento dell'ormone secreto dalle cortecce surrenaliche, chiamato 'cortina' nel 1928, in chiara assonanza con l'insulina (bovina) che pochi anni prima si era dimostrata in grado di contrastare l'insufficienza cronica dei diabetici. In realtà nulla era noto sull'attività fisiologica della 'cortina', ed anzi si poteva dubitare della sua stessa esistenza, in quanto si sapeva solo che l'organo che — forse — la produceva era indispensabile a mantenere in vita gli esseri umani e gli animali.

Diverse linee di ricerca confluirono nello studio della 'cortina'. In questa comunicazione in primo luogo analizzeremo le indagini dei biochimici e dei chimici organici impegnati nell'isolamento dei principi attivi (si dimostreranno essere parecchi), nella determinazione della loro struttura ed infine nella correlazione delle strutture molecolari con gli effetti fisiologici delle sostanze. In secondo luogo vedremo come questa 'correlazione' sarà estremamente difficile per tutto il periodo studiato, sia per l'intrinseca complessità dell'attività fisiologica degli ormoni corticosurrenali, sia per la moltitudine quasi idiosincratca di saggi biologici proposti da biochimici e fisiologi durante la più che decennale caccia alla 'cortina'. Per l'area di indagine propria dei biochimici il lavoro di Kendall sarà messo in contrasto con quello di Reichstein; per l'area più legata all'endocrinologia seguiremo l'incerta situazione emersa al Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology del 1937, e si vedrà come solo nei primi anni '40 vennero fatte le prime correlazioni struttura-attività affidabili, basate sulla distinzione fra glucocorticoidi e mineralocorticoidi. Per quanto riguarda questi ultimi, infine, noteremo come solo fra il 1953 e il 1954 gli sforzi congiunti dei laboratori della Middlesex Hospital Medical School, della CIBA e dell'Università di Basilea, portarono all'isolamento dell'aldosterone e alla determinazione della sua struttura.

Gli estratti corticosurrenali e la 'cortina' stessa hanno la loro lontana origine nelle ricerche di un medico inglese di nome Thomas Addison. Nel 1855 egli pubblicò un'importante monografia in cui descriveva i sintomi di 11 pazienti colpiti da una particolare malattia di esito sempre infausto, pazienti la cui autopsia aveva rivelato gravi disordini nelle ghiandole surrenaliche. Fra i sintomi i più rilevanti erano una particolare colorazione bronzea della pelle, anemia ed una generale debolezza muscolare.¹ La monografia fu immediatamente apprezzata.

¹ T. ADDISON, *On the Constitutional and Local Effects of Disease of the Supra-Renal Capsules*, London: Highley, 1855.

zata come un importante contributo alla letteratura medica, anche se il 'morbo di Addison' tardò ad essere accettato come sindrome connessa ad una specifica malattia delle surreni.² In ogni caso all'attenzione del mondo medico era stata portata per la prima volta una prova che le ghiandole surrenaliche avevano una funzione essenziale, vitale, nell'economia dell'organismo, ed una conferma sperimentale giunse nell'agosto 1856, quando Charles Brown-Séquard, un medico anglo-francese, presentò all'Accademia delle Scienze di Parigi una memoria in cui affermava che le surreni erano necessarie per la sopravvivenza di parecchie specie animali (gatti, cani, cavie, conigli e topi), in quanto tutti gli esemplari a cui erano state estirpate chirurgicamente le ghiandole erano invariabilmente e rapidamente morti.³ Alla nota di Brown-Séquard seguirono altre ricerche, in parte avverse ai suoi risultati;⁴ nei decenni successivi si ammise che le surreni erano indispensabili per l'organismo, anche se a proposito della loro funzione i fisiologi potevano far solo congetture. Brown-Séquard era convinto che esse depurassero l'organismo da qualche pigmento tossico, il cui accumulo mortale portava alla colorazione della pelle segnalata da Addison — e alla morte.⁵ Nel 1895 un primo chiarimento venne da G. Oliver e E.A. Schäfer, due ricercatori inglesi che individuarono l'attività vasocostrittrice della ghiandola; essa è dovuta al secreto midollare, il cui principio attivo, l'adrenalina, fu cristallizzato nel 1901 e sintetizzato nel 1904. Solo nel 1910, quando il concetto di ormone si andava consolidando, A. Biedl dimostò che la funzione indispensabile per la vita è svolta esclusivamente dalla corteccia,⁶ una 'parte' delle surreni che è istologicamente diversa dalla 'parte' midollare. In effetti si tratta di ghiandole distinte, che solo l'evoluzione ha portato ad una stretta contiguità.

I tentativi di ottenere estratti surrenalici utili per la terapia del morbo di Addison iniziarono con lo stesso Brown-Séquard nel 1889, con risultati insoddisfacenti.⁷ Anche negli anni successivi, la sorte dei numerosi tentativi, in generale condotti con estratti ottenuti con solventi acquosi, non fu diversa, e nel 1897 un rapporto stilato negli Stati Uniti nel periodo di fioritura dell'opoterapia⁸ regi-

² M.J. AMINOFF, *Brown-Séquard. A Visionary of Science*, New York, Raven Press, 1993, p. 162.

³ E. BROWN-SÉQUARD, «Recherches expérimentales sur la physiologie et la pathologie des capsules surrénales», *C.R.*, 43, pp. 422-425 (1856).

⁴ Venivano utilizzati ratti, animali che possono presentare ghiandole surrenaliche accessorie. Queste particolarità anatomiche vennero chiarite più tardi, tuttavia la questione della completezza dell'asportazione completa dei tessuti ghiandolari interessati rimase aperta ancora alla fine degli anni 1930.

⁵ M.J. AMINOFF, *Brown-Séquard. A Visionary of Science*, cit., p. 163.

⁶ R. DEBRÉ, G. DESBUQUOIS, «La médecine», in: R. Taton (a cura di), *Histoire générale des sciences*, t. III, *La science contemporaine*, vol. II, *Le XXe siècle*, Paris, PUF, 1983, pp. 799-894, cit. alla p. 831.

⁷ M.J. AMINOFF, *Brown-Séquard. A Visionary of Science*, cit., p. 168.

⁸ Sulla storia dell'opoterapia, ovvero sull'uso terapeutico di estratti di tessuti animali, sono interessanti alcuni contributi 'in tempo reale': L. HOPF, «Zur Geschichte der Organthe-

strava 36 esperimenti, condotti a partire dal 1892 e sempre con esiti incerti e temporanei. La scoperta di Biedl non migliorò la situazione, in quanto l'attenzione di fisiologi e terapeuti era completamente puntata sull'adrenalina. Solo nella seconda metà degli anni '20, il clamore suscitato dall'isolamento dell'insulina e dalla terapia del diabete rianimò la ricerca sulla corteccia surrenalica: Frank Hartman annunciò nel 1927 la messa a punto di un metodo di estrazione che eliminava ogni residuo pericoloso di adrenalina, e nel 1928 chiamò *cortin* l'ormone secreto dalla corteccia; nel 1929 Joseph J. Pfiffner e Wilbur W. Swingle presentarono il primo metodo pratico di preparazione di un concentrato in grado di mantenere in vita indefinitamente gatti privati delle surreni.⁹

Da questi estratti, fisiologicamente attivi e abbastanza concentrati, a più di venti anni dalla dimostrazione di Biedl dell'importanza del secreto corticosurrenalico, prese avvio la ricerca biochimica. Prima però di passare ad esaminare le tappe principali di questa ricerca va messo in rilievo un ostacolo epistemologico in gran parte inavvertito dai ricercatori dell'epoca. Nel 1964 Harold L. Mason (che qui citeremo più volte come biochimico della Mayo Clinic) ha sottolineato che quasi tutti assunsero che la corteccia producesse un solo, singolo, ormone; era una ipotesi basata su quanto si conosceva per il pancreas, la tiroide e la parte midollare delle stesse surreni.¹⁰ Va comunque segnalato che in un campo battuto come quello della ricerca biochimica sugli ormoni non potevano mancare voci diverse: nel 1933 E. Schmitz e J. Kühnau annunciarono di aver isolato ben tre composti dotati di attività fisiologica diversa;¹¹ il contenuto dell'articolo fu ripreso con un certo rilievo da B. Harrow e C.P. Sherwin in un loro volume sulla chimica degli ormoni, pubblicato a Baltimora nel 1934. Il paragrafo dedicato alla nota di Schmitz e Kühnau era intitolato «Più di un ormone?»,¹² ma il suggerimento dei due ricercatori tedeschi si basava su una base sperimentale del tutto inadeguata, ed infatti nel suo primo lavoro sugli ormoni corticosurrenalici Reichstein liquidò il lavoro di Schmitz e Kühnau mettendo in dubbio che i composti isolati da loro avessero qualcosa a che fare con l'ormone che si

rapie. Eine medicinisch-kulturgeschichtliche Studie», *Janus*, 3, 226-242 (1898); *ib.*, 4, 14-21, 64-69, 304-312 (1899); H. GRASSET, «Le renouveau médical. Secrétions internes et organothérapie», *Janus*, 5, 381-390 (1900); Grasset critica aspramente il termine 'opoterapia' in quanto si riferirebbe ad un modo improprio di estrazione. Il termine fu coniato dal medico francese Louis Landouzy nel 1898; v. G. COSMACINI, G. GAUDENZI, R. SATOLLI, *Dizionario di storia della salute*, Torino: Einaudi, 1996.

⁹ V.C. MEDVEI, *A History of Endocrinology*, Lancaster: MTP, 1982, p. 476.

¹⁰ H.L. MASON, «Only the Best Is Good Enough», *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 24, 1214-1218 (1964).

¹¹ E. SCHMITZ, J. KÜHNAU, «Über die innere Sekretion der Nebennierenrinde», *Biochem. Zeit.*, 259, 301-319 (1933).

¹² B. HARROW, C.P. SHERWIN, *The Chemistry of the Hormones*, Baltimore, Williams & Wilkins, 1934, p. 142.

Tab. I - E.C. Kendal: oscillazioni sul Composto E.

Modalità della comunicazione	Data	Formula bruta	Indicazioni strutturali	Fonte	'Informatore'****
ASBC*, New York	29-31 III '34	C ₂₀ H ₃₀ O ₅	una 'formula strutturale'	rif. 15	
<i>Proc. Mayo Clinic</i>	25 IV '34		un gruppo aldeidico, forme dimeriche e monomeriche	rif. 16	
ASBC*, Detroit	10-13 IV '35	C ₂₁ H ₃₄ O ₅	α-β-triidrossialdeide	rif. 17	Wintersteiner e Pfiffner
Atlantic City	11 IV '35	C ₂₁ H ₃₄ O ₅	3 ossidrili, un gruppo aldeidico e un legame etereo	rif. 25	P. Laquer
ACS**, Division of Organic Chemistry, S. Francisco	19-23 VIII '35	C ₂₁ H ₃₄ O ₅	3 ossidrili, un gruppo aldeidico e un legame etereo	rif. 18, 25	O. Wintersteiner K. Miescher
ASBC*, Washington	III '36	C ₂₁ H ₃₀ O ₅	3 ossidrili, due carbonili	rif. 23	Wintersteiner e Pfiffner
<i>Proc. Mayo Clinic</i>	27 V '36	C ₂₁ H ₂₈ O ₅	3 ossidrili, due carbonili	rif. 23	
<i>J. Biol. Chem.</i>	ric. 13 VII '36 pubbl. IX '36	C ₂₁ H ₂₈ O ₅	3 ossidrili, due carbonili due doppi legami	rif. 29	

* American Society of Biological Chemists

** American Chemical Society

*** Fonti di informazioni per T. Reichstein

stava ricercando.¹³ Vedremo come l'ostacolo della semplificazione *una ghiandola-un ormone* fu avvertito e rimosso solo dopo un decennio di indagini fisiologiche, patologiche e biochimiche.

L'inizio della ricerca biochimica può essere fatto risalire al 1933 quando diversi gruppi di ricercatori americani iniziarono la caccia all'ormone della corteccia surrenalica. Qui seguirò da vicino solo le indagini condotte nel laboratorio biochimico di Edward C. Kendall,¹⁴ operante nella famosa Mayo Clinic di

¹³ T. REICHSTEIN, «Über Cortin, das Hormon der Nebennieren-rinde. I. Mitteilung», *Helv. Chim. Acta*, 19, 29-63 (1936), p. 31.

¹⁴ L'opera di riferimento più immediato per l'opera di Kendall è la sua autobiografia: E.C. KENDALL, *Cortisone*, New York, Scribner, 1971. Approfondirò altrove i problemi psicologici che trapelano dal titolo scelto per la propria autobiografia dal biochimico americano; ora sottolineo solo il fatto che il volume non ha alcun sottotitolo, e che nell'impostazione grafica del frontespizio la parola 'Cortisone' sembra indicare l'autore, e il nome 'Edward C. Kendall' sembra essere il titolo del libro.

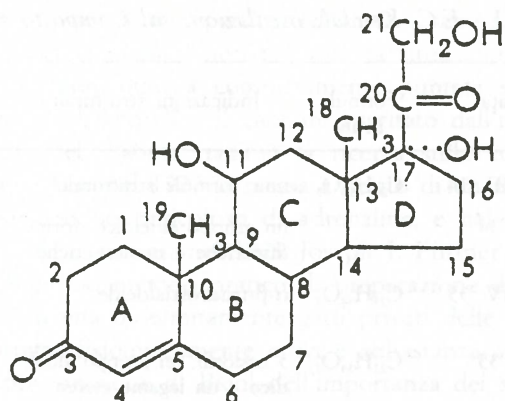


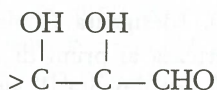
Fig. 1. Formula del cortisolo con la numerazione convenzionale degli atomi di carbonio. La nomenclatura adottata da Reichstein e da tutti successivi autori — prima della scoperta del cortisone — è riferita al *corticosterone*, di formula identica al cortisolo, eccetto che per l'assenza dell'ossidril in 17. I prodotti che risultarono attivi furono designati: *desossi-corticosterone* (privo di ossigeno in 11 e 17; Sostanza Q di Reichstein); *corticosterone* (ossidril in 11; Sostanza H, Composto B di Kendall); *11-deidro-corticosterone* (chetone in 11; Composto A); *17-idrossi-desossicorticosterone* (ossidril in 17; Sostanza S); *17-idrossi-corticosterone* (ossidril in 11 e 17; Sostanza M, Composto F: cortisolo); *17-idrossi-11-deidro-corticosterone* (chetone in 11, ossidril in 17; Sostanza Fa., Composto E: cortisone).

Rochester, Minnesota. Si tratta di una scelta ovvia se ci si basa sul 'senno di poi', e si pensa all'enorme risonanza che avrà, quindici anni dopo, l'annuncio fatto dalla Mayo Clinic dell'attività terapeutica del cortisone; tuttavia essa è giustificata da ben altre considerazioni. Basta infatti un'occhiata alla Tab. I, dove ho raccolto le varie congetture emesse fra il marzo 1934 e il luglio 1936 dal gruppo di Kendall, proprio a proposito di quel Composto E destinato a diventare il ben più celebre cortisone (per le strutture di riferimento v. Fig. 1).

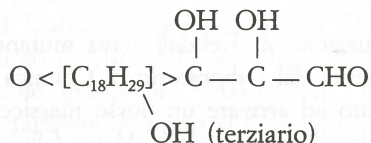
Il primo annuncio dell'isolamento di quello che di lì a poco sarà il Composto E venne dato al Convegno dell'American Society of Biological Chemists (ASBC) tenuto a New York nel marzo 1934. Il titolo della comunicazione sembra non lasciar dubbi sull'importanza della scoperta: «La natura chimica e l'azione fisiologica dell'ormone della corteccia surrenalica», e nemmeno nel riassunto pubblicato sul *Journal of Biological Chemistry* vi sono esitazioni. Nelle prime tre righe si legge: «L'ormone della corteccia surrenalica che è essenziale per la vita è stato separato in forma cristallina. La sua formula empirica è $C_{20}H_{30}O_5$. È stata assegnata una formula strutturale».¹⁵ Nell'aprile successivo la comunicazione

¹⁵ E.C. KENDALL, H.L. MASON, B.F. MCKENZIE, C.S. MYERS, G.A. KOELSCH, «The Chemical Nature and Physiological Action of the Hormone of the Suprarenal Cortex», *J. Biol. Chem.*, 105, xlv-xlvi (1934).

veniva riproposta alla Mayo Clinic, ma della struttura 'assegnata' si diceva soltanto che era presente un gruppo aldeidico, e che la sostanza si presentava in due 'forme', distinte dalla diversa solubilità in acqua.¹⁶ Nella primavera e nell'estate del 1935 Kendall discute la struttura della 'cortina' a Detroit, Atlantic City e San Francisco. È diventato più prudente, non a proposito del fatto cruciale di aver scoperto la cortina, quanto piuttosto sulla struttura da attribuire all'ormone. La formula bruta ha 'guadagnato' un atomo di carbonio e quattro atomi di idrogeno, diventando $C_{21}H_{34}O_5$. Inoltre i ricercatori della Mayo Clinic insistono (erroneamente) sul gruppo aldeidico; in aprile precisano la presenza in alfa e beta di due ossidrili, secondo la formula:



«Il composto è quindi un derivato della gliceraldeide». La distillazione aveva dato un idrocarburo di alto peso molecolare «apparentemente con tre anelli a sei membri completamente saturi». In agosto, al Congresso annuale dell'American Chemical Society (ACS) 'precisano' ulteriormente i dati strutturali secondo la formula:



Il quinto atomo di ossigeno veniva descritto come partecipe di un gruppo etero inerte.¹⁸ Come sottolinea Miescher l'unico dato positivo — ovvero successivamente confermato — di questa proposta strutturale è la probabile presenza di una catena laterale di due atomi di carbonio, ricca di ossigeno. Nel 1936 la situazione conoscitiva del *team* di Kendall cambia rapidamente e radicalmente, sia per contributi propri, sia per la forte interazione con altri gruppi.

Al Convegno di Washington della ASBC, nel marzo 1936, i chimici della Mayo Clinic annunciano di aver isolato nove composti distinti dalla corteccia

¹⁶ E.C. KENDALL, H.L. MASON, B.F. MCKENZIE, C.S. MYERS, G.A. KOELSCH, «The Chemical Nature and Physiological Action of the Hormone of the Suprarenal Cortex», *Proc. Staff Meet. Mayo Clinic.*, 9, 245 (1934).

¹⁷ E.C. KENDALL, H.L. MASON, B.F. MCKENZIE, C.S. MYERS, «The chemical nature of cortin», *J. Biol. Chem.*, 109, 1 (1935).

¹⁸ K. MIESCHER, «Die Chemie der Nebennierenrindenhormone. Ihre Entwicklung in den letzten vier Jahren», *Angew. Chem.*, 51, 551-557 (1938), p. 552.

surrenalica, come composti 'originali',¹⁹ e come derivati e composti di degradazione. In questa comunicazione al Composto E viene ancora assegnata la formula $C_{21}H_{30}O_5$, ma allo stesso Convegno sono presenti O. Wintersteiner e J.J. PfiFFner del Dipartimento di Chimica Biologica della Columbia University. Pure il loro gruppo lavorava da anni sulla separazione dagli estratti della corteccia surrenalica di composti cristallini, e tuttavia, contrariamente a Kendall, non erano riusciti ad ottenere sostanze fisiologicamente attive,²⁰ almeno per quanto era rilevabile con il test messo a punto nel laboratorio biologico di Princeton.²¹ La messe di nuovi composti isolati era aumentata, però anche a Washington Wintersteiner e PfiFFner non possono annunciare nessun riscontro di attività fisiologica; in ogni caso sono ormai convinti dell'identità chimico-fisica di una loro sostanza di formula $C_{21}H_{28}O_5$ (designata Composto F) con il Composto E di Kendall. Essi ne hanno la certezza ai primi di aprile, in quanto dopo l'incontro di Washington il «dr. Kendall gentilmente [li aveva] riforniti di un campione del suo Composto E, allora ancora etichettato $C_{21}H_{30}O_5$ », e la sostanza di Kendall, mescolata con quella del gruppo della Columbia, non ne aveva abbassato il punto di fusione. Wintersteiner e PfiFFner comunicarono l'importante risultato a Kendall il 4 aprile; alla fine del maggio successivo il *team* della Mayo Clinic 'riscrive' la formula del Composto E, divenuto ora $C_{21}H_{28}O_5$,²² mantenendo le stesse indicazioni strutturali (v. Tab. I) e senza citare lo scambio di informazioni con i biochimici della Columbia.²³

Ma come ho detto la situazione di Kendall stava mutando radicalmente in quanto dall'Europa, e precisamente dal Laboratorio di Chimica Organica del Politecnico di Zurigo, era cominciato ad arrivare un flusso massiccio di articoli scritti da Tadeus Reichstein,²⁴ così che il gruppo della Mayo Clinic non sembra aver

¹⁹ Nel 1964 Harold Mason, che aveva collaborato con Kendall fin dal 1931, affermò: «Tra l'altro possiamo notare che gran parte del cortisone ottenuto dalle nostre surrenali bovine era probabilmente un prodotto *post mortem* derivato dal cortisolo, il vero ormone»; v.: H.L. MASON, *op. cit.*, rif. 10. Il testo riporta un discorso di Mason nella veste di Presidente dell'americana Endocrine Society.

²⁰ O. WINTERSTEINER, J.J. PFIFFNER, «Chemical Studies on the Adrenal Cortex. II. Isolation of Several Physiologically Inactive Crystalline Compounds from Active Extracts», *J. Biol. Chem.*, 111, 599-612 (1935).

²¹ J.J. PFIFFNER, W.W. SWINGLE, H.M. VARS, «The Cortical Hormone Requirement of the Adrenalectomized Dog, with Special Reference to a Method of Assay», *J. Biol. Chem.*, 104, 701-716 (1934).

²² E.C. KENDALL, H.L. MASON, C.S. MYERS, *Proc. Staff Meet. Mayo Clinic.*, 11, 351 (1936); cito dal rif. 23, p. 296.

²³ O. WINTERSTEINER, J.J. PFIFFNER, «Chemical Studies on the Adrenal Cortex. III. Isolation of Two New Physiologically Inactive Compounds», *J. Biol. Chem.*, 116, 290-305 (1936); nota n. 8, p. 296.

²⁴ Reichstein vinse il premio Nobel 1950 per la medicina o la fisiologia, insieme a Kendall e al reumatologo P.S. Hench, così si ritrovano suoi ritratti biografici in molti repertori. Il

tempo per le 'buone maniere' accademiche. Nel primo articolo, pubblicato nel gennaio del 1936, Reichstein aveva caratterizzato sette composti cristallini da lui isolati dalla corteccia surrenalica, nessuno dei quali però aveva presentato un'attività fisiologica simile a quella della cortina.²⁵ Uno di essi (un dichetone) aveva una formula bruta vicina a quella dell'ormone sessuale maschile; il chimico svizzero ne aveva così inviato un campione a E. Laqueur, lo studioso olandese che nel 1935 aveva coronato le sue lunghe ricerche sugli ormoni isolando e caratterizzando il testosterone. Laqueur rispose che mentre il test dell'estro del topo era risultato negativo, quello della crescita della cresta del cappone aveva indicato una sostanza molto attiva. Così nella sua seconda memoria, giunta alla redazione dell'*Helvetica Chimica Acta* il 2 febbraio 1936, e pubblicata a metà marzo, Reichstein mette a segno un colpo magistrale. Anzi due: aveva isolato la quarta sostanza conosciuta con questo tipo di attività ormonale, e — più importante — aveva ottenuto la chiave interpretativa per la struttura dei composti che costituivano la 'serie' (*Reihe*) della cortina.²⁶ Infatti dopo un mese e mezzo, mentre i biochimici americani erano riuniti a Washington, Reichstein inviava all'*Helvetica Chimica Acta* una nota che sarà pubblicata all'inizio di maggio. In essa confermava per i derivati corticosurrenalici lo scheletro fondamentale del pregnano, in quanto attraverso opportune ossidazioni aveva ricondotto tre delle sostanze isolate ad un unico chetone, attivo nel test della cresta del cappone.²⁷ Come si vede i risultati di Reichstein erano eccellenti, e la competizione si era fatta assai accanita. In luglio i due gruppi statunitensi inviano al *Journal of Biological Chemistry* due articoli piuttosto interessanti (anche dal punto di vista della sociologia della scienza).

Il primo articolo giunge in redazione il 13 luglio, proviene dalla Mayo Clinic, ed è completamente dedicato al Composto E. Fin dal momento della scoperta questa sostanza biologicamente attiva aveva letteralmente affascinato Kendall, e, in ogni passo del lungo cammino che porterà all'inatteso trionfo del cortisone, il biochimico americano cercherà di difendere anche al di là del lecito la priorità di ogni informazione riguardante questo composto. All'interesse iniziale si era aggiunto un fatto nuovo, e cioè l'intensa *attività fisiologica* dimostrata dal

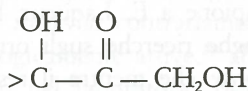
più accurato mi sembra essere quello dato da: J.R. PHILIPS, «Tadeus Reichstein», in F.N. Magili (a cura di), *The Nobel Prize Winners. Physiology or Medicine*, Pasadena: Salem Press, 1991, pp. 617-623.

²⁵ T. REICHSTEIN, «Über Cortin, das Hormon der Nebennieren-rinde. I. Mitteilung», *op. cit.*, rif. 13. I test fisiologici erano stati realizzati da P. de Frémery presso la ditta olandese Organon. Su tutta la questione controversa dei test fisiologici tornerò più oltre.

²⁶ T. REICHSTEIN, «Adrenosteron». Über die Bestandteile der Nebennierenrinde. II. Vorläufige Mitteilung», *Helv. Chim. Acta*, 19, 223-225 (1936). Oltre al già citato testosterone isolato direttamente dalle gonadi, nell'urina erano stati individuati da Butenandt nel 1933 l'androsterone e il trans-deidro-androsterone, v. nota 4 della comunicazione di Reichstein.

²⁷ T. REICHSTEIN, «Über die Bestandteile der Nebennierenrinde. IV. Mitteilung», *Helv. Chim. Acta*, 19, 402-412 (1936). In realtà il 'dichetone' che per più di un anno agiterà le menti dei biochimici impegnati sui composti corticosurrenalici risulterà essere un trichetone (v. oltre).

Composto E in un nuovo test, ora disponibile alla Mayo Clinic e messo a punto da D.J. Ingle. In effetti, per quanto riguarda la *struttura* del Composto E, la nota di Kendall non contiene nulla di giusto che non sia già contenuto nell'articolo di Reichstein di maggio, e cioè la struttura dello scheletro tipo pregnano e la catena laterale corretta:²⁸



A questi dati però i ricercatori della Mayo Clinic aggiungono due indicazioni che risulteranno errate. Un uso piuttosto acritico della reazione di Grignard li porta ad assumere la presenza di tre ossidrili e di (meno di) due carbonili,²⁹ invece dei due ossidrili e dei tre carbonili effettivi.³⁰ Il secondo errore discende dal primo: i due atomi di idrogeno impegnati nell'inesistente gruppo >CHOH vengono sottratti allo scheletro, che così, secondo gli autori statunitensi, ha due doppi legami invece di uno solo.³¹ Sulla via già battuta da Reichstein, Kendall riesce comunque ad ottenere dal Composto E un chetone attivo nel test di stimolazione della crescita della cresta del capone. I debiti conoscitivi di Kendall nei confronti di Reichstein sono evidenti, ma non così per l'autore statunitense che scrive soddisfatto: «La trasformazione di un composto che ha l'azione qualitativa della cortina in una sostanza che ha un'attività fisiologica simile a quella dell'androsterone collega definitivamente la cortina con il sistema di anelli dello sterolo». A questo punto sono citati i due lavori di Reichstein pubblicati a febbraio e maggio,³² e i chimici americani fanno finta di leggere male il tedesco: «Egli [Reichstein] ha anche degradato un altro composto (*another compound*) trovato nella ghiandola ad un chetone che ha una simile attività». In realtà Reichstein aveva addirittura evidenziato nel testo il riferimento ai tre composti che davano il medesimo chetone fisiologicamente attivo: «*La stretta affinità delle sostanze A, C e D è così dimostrata*».³³ Ma a Kendall preme

²⁸ Ib., pp. 403 e 406.

²⁹ H.L. MASON, C.S. MYERS, E.C. KENDALL, «Chemical Studies of the Suprarenal Cortex. II. The identification of a substance which possesses the qualitative action of cortin; its conversion into a diketone closely related to androstenedione», *J. Biol. Chem.*, 116, 267-276 (1936), alla p. 269.

³⁰ Per un'analisi delle cause dell'errore analitico compiuto dal gruppo della Mayo Clinic si veda: T. REICHSTEIN, «Chemie des Cortins und seiner Begleitstoffe», in: L. Ruzicka, W. Stepp (a cura di), *Ergebnisse der Vitamin- und Hormonforschung*, vol. 1, Leipzig: Akademische V., 1938, pp. 334-370, alla p. 358.

³¹ Rif. 29, p. 270. L'uso incauto della reazione di Grignard è l'unica 'conferma', puramente analitica, del secondo doppio legame anche nei derivati del Composto E ottenuti da Kendall.

³² Sono rispettivamente i rif. 26 e 27, già discussi precedentemente.

³³ Rif. 27, p. 404.

solo il poter trarre una conclusione pretestuosa, o meglio *unfair*: «Questa particolare azione fisiologica fornisce una forte evidenza presuntiva per la presenza del sistema di anelli dello sterolo, ma, dato che nessuno dei composti descritti da Reichstein possiede un'attività simile a quella della cortina, i risultati non forniscono un'evidenza che colleghi la cortina con un simile sistema di anelli».³⁴

Il secondo articolo per noi rilevante che giunse al *Journal of Biological Chemistry* nel luglio 1936 aveva come autori Wintersteiner e Pfiffner. I due biochimici della Columbia University erano divisi da quelli della Mayo Clinic non solo dalla scortesia della mancata citazione a proposito della correzione della formula bruta del Composto E, ma in modo meno personale e più argomentabile sono separati anche da fatti ed interpretazioni divergenti.³⁵ Le 'scoperte' della Mayo Clinic sono ridimensionate: «Le formule strutturali elaborate dagli operatori della Mayo Clinic per il loro Composto E e il dichetone androgenico da esso derivato sono totalmente analoghe alle formule proposte per primo da Reichstein per i suoi composti».³⁶ La critica di Wintersteiner e Pfiffner diventa molto circostanziata a proposito del secondo doppio legame proposto da Kendall, la cui realtà respingono decisamente, mentre il contrasto risulta addirittura insanabile a proposito dell'attività fisiologica del Composto E di Kendall, perché il test di sopravvivenza dei cani adrenoprivi da loro utilizzato si ostina a dare risultati negativi.

I due articoli che abbiamo appena finito di scorrere apparvero sul fascicolo di novembre del *Journal of Biological Chemistry*. A quella data stavano per diventare definitivi i progressi compiuti da Reichstein per la determinazione della struttura dei composti corticosurrenali.

Il contributo di Tadeus Reichstein alla ricerca sugli ormoni corticosurrenali aveva avuto infatti un salto di qualità improvviso con l'utilizzo di una nuova tecnica di isolamento e separazione di aldeidi e chetoni, messa a punto e brevettata in Francia nel 1935 da A. Girard e G. Sandulescu.³⁷ Nel primo lavoro in cui usa il nuovo reattivo (datato 29 agosto 1936) Reichstein fin dalle prime righe ringrazia Girard per avergli comunicato le modalità di applicazione, e permesso

³⁴ Rif. 29, pp. 268-269.

³⁵ Quasi per contrasto i due autori sono invece completamente dalla parte di Reichstein per quanto riguarda la scoperta della connessione dei composti corticosurrenali con gli ormoni sessuali maschili («un'osservazione molto importante», cit. dal testo principale). Senza alcun tentativo di rivendicazione Wintersteiner e Pfiffner scrivono, in nota: «Anche noi avevamo ottenuto questo chetone qualche tempo prima della pubblicazione dei risultati di Reichstein». Va pure ricordato che avevano richiesto e ottenuto da Reichstein dei campioni, che in un paio di casi erano risultati coincidenti con quelli isolati da loro; rif. 23, p. 291.

³⁶ Rif. 23, p. 296.

³⁷ A. GIRARD, G. SANDULESCU, «Sur une nouvelle série de réactifs du groupe carbonyle», *Helv. Chim. Acta*, 19, 1095-1107 (1936); è il testo, datato da Parigi, di una comunicazione fatta alla Società Chimica Svizzera il 28 agosto 1936.

l'uso del reattivo prima della pubblicazione dei risultati.³⁸ Con questo nuovo metodo di separazione il chimico svizzero ripercorre l'intero cammino che porta dagli estratti ai composti cristalli, e, come si legge già nel titolo, aggiunge nuove sostanze alla sua notevole collezione. In questo caso la più rilevante è quella denominata *Substanz Fa.*; per tutte le caratteristiche chimico-fisiche essa coincide con il Composto E di Kendall, ma per l'aspetto cruciale dell'attività fisiologica ancora una volta Reichstein resta deluso, e in aperta contraddizione con i risultati della Mayo Clinic. La contraddizione era tanto più netta quanto più i test fisiologici impiegati dalle due parti dell'Atlantico parevano simili; infatti sia il test di Everse e de Frémery (usato dalla Organon), sia il test di Ingle (usato dalla Mayo Clinic) si basavano sulla stimolazione elettrica del muscolo della coscia del ratto. Le modalità di esecuzione erano estremamente diverse: poche contrazioni in successione nel primo caso, un affaticamento fino ad esaurimento nel secondo;³⁹ tuttavia solo con grande riluttanza i fisiologi e i biochimici si convinsero che questi test — come parecchi altri — dovevano essere correlati in *grado diverso* ad attività fisiologicamente diverse. Nella situazione conoscitiva del 1936 Reichstein non poteva che accettare il responso della Organon a cui inviava i suoi campioni cristallini,⁴⁰ così la sua Sostanza F.a. rimase inattiva; in ogni caso l'identificazione chimico-fisica era sicura e portava ad una critica recisa della struttura proposta da Kendall, in particolare sull'esistenza e l'eventuale posizione del secondo doppio legame: «Il secondo doppio legame è estremamente improbabile, e in quella posizione sicuramente falso (*sicher falsch*)».⁴¹

Malgrado l'arricchimento continuo della collezione di sostanze corticosurrenali Reichstein rimase in attesa di scoprire sostanze attive (*a là* Everse e de Frémery) fino alla fine di novembre del 1936, quando, in una comunicazione firmata anche da Laqueur e de Frémery, venne annunciata all'Accademia Reale delle Scienze in Amsterdam la scoperta di una nuova sostanza, il corticosterone, molto attivo nel test di sopravvivenza del cane e — per fortuna degli autori — anche nel test preliminare di Frémery.⁴² La ricerca su questo composto diventa imme-

³⁸ T. REICHSTEIN, «Über Bestandteile der Nebennierenrinde. VI. Trennungsmethoden, sowie Isolierung der Substanzen F.a. H und J», *Helv. Chim. Acta*, 19, 1107-1126 (1936).

³⁹ Gli stessi tecnici della Organon si sono chiesti più tardi se il test Everse-de Frémery, impiegato solo nel laboratorio olandese, 'misurasse' effettivamente qualcosa. Anche Ingle fu l'unico ad usare il suo test. Per una critica acuta di tutta la situazione conoscitiva trattata in questa mia comunicazione si veda: S.A. SZPILFOGEL, «Adrenocortical steroids and their synthetic analogues», in: M.J. Parnham, J. Bruinvels (a cura di), *Discoveries in Pharmacology, vol. 2: Haemodynamics, Hormones & Inflammation*, Amsterdam, Elsevier, 1984, pp. 253-284.

⁴⁰ Uno dei vantaggi del test Everse-de Frémery era l'uso di dosi estremamente ridotte delle sostanze da valutare.

⁴¹ Rif. 38, p. 1114.

⁴² Rif. 18, p. 554.

diatamente frenetica anche alla Mayo Clinic, e presto giunge dal gruppo di Kendall una rivendicazione di priorità, facilmente respinta da Reichstein nell'ampio lavoro si caratterizza la struttura e le proprietà chimico-fisiche della nuova sostanza — la più attiva nei test di sopravvivenza fra quelle ricavate fino ad allora dalla corteccia surrenalica.⁴³ Intanto, in collaborazione con Marguerite Steiger, il chimico svizzero aveva iniziato una serie di ricerche sulle possibili vie sintetiche per giungere ai composti corticosurrenali in modo più economico e con quantità — eventualmente — utilizzabili a scopo terapeutico.⁴⁴ Il primo lavoro per noi importante pubblicato con la nuova collaboratrice fu inviato all'*Helvetica Chimica Acta* ai primi di giugno del 1937; esso era dedicato interamente al problema della natura chimica e della posizione strutturale dell'«ultimo atomo di ossigeno», come recita in modo un po' troppo criptico il titolo dell'articolo.⁴⁵ È opportuno soffermarci su questo contributo, anche perché è esemplare dal punto di vista dell'epistemologia dei chimici. In precedenza Reichstein aveva lavorato eseguendo demolizione ossidativa della catena laterale della Sostanza A, e aveva ottenuto un composto identificato come «monochetone con punto di fusione 236°»; una successiva ossidazione più energica aveva portato al 'dichetone', lasciando nell'ombra la natura del terzo atomo di ossigeno, la cui presenza era accertata mediante la composizione. Ora Steiger e Reichstein studiano il 'monochetone' con maggiore attenzione: un'acetilazione leggera (*leicht*) blocca un ossidrile e permette un'ossidazione in *due* tempi, mentre una forte acetilazione blocca *due* ossidrili, quello nella nota posizione 3 ed uno ancora in posizione incognita. Così dal monochetone, in effetti, si giunge ad un trichetone. Questa nuova deduzione strutturale fornisce ai due chimici uno spunto formidabile, in quanto il trichetone non dà alcuna reazione degli alfa o dei beta dichetoni, e, poiché la posizione di due gruppi CO è accertata (in 3 e 17), il fatto che le posizioni alfa e beta rispetto ad essi non siano occupate permette di eliminare parecchie possibilità, mentre altre sono scartate per via dell'accertata reattività dei rispettivi gruppi ossidrilici o chetonici; infine in un caso si sarebbe dovuto ottenere un composto già noto. L'unica posizione rimasta è quella in C₁₁, posizione a cui Steiger e

⁴³ T. REICHSTEIN, «Über Bestandteile der Nebennieren-Rinde. X. Zur Kenntnis des Cortico-sterons», *Helv. Chim. Acta*, 20, 953-969 (1937); la discussione dei contributi della Mayo Clinic è alle pp. 958-960. Il Composto B di Kendall corrisponde effettivamente al corticosterone, ma al momento del primo isolamento era stato descritto con un punto di fusione inferiore di ben 40° a quello ottenuto dal chimico svizzero, così come assai diversi erano stati i dati analitici e di potere rotatorio. Reichstein sottolinea che Kendall aveva proposto la posizione del 'terzo ossigeno' in C₁₁ nell'aprile 1937, ma senza nessuna ulteriore prova sperimentale.

⁴⁴ Non deve stupire che Reichstein si inoltrasse su questa strada *prima* di che fosse certa la struttura dei composti corticosurrenali. Egli, infatti, era riuscito a sintetizzare la vitamina C (e a brevettare la sintesi) prima che la struttura fosse definitivamente accertata.

⁴⁵ MARGUERITE STEIGER, T. REICHSTEIN, «Über Bestandteile der Nebennieren-Rinde. IX. (Die Funktion des letzten Sauerstoffatoms)», *Helv. Chim. Acta*, 20, 817-827 (1937).

Reichstein assegnano il «terzo atomo di ossigeno» e che diventerà famosa fra i chimici organici per la sua scarsa reattività.⁴⁶

In realtà la ricerca di Steiger e Reichstein aveva già colto un successo ancor maggiore, a livello scientifico e pratico, con la sintesi del desossicortico-sterone. Annunciata fin dall'aprile 1937, su di essa venne subito richiesta «una serie di brevetti», per poi essere descritta ampiamente in una nota inviata il 1° agosto 1937 all'*Helvetica Chimica Acta*.⁴⁷ Dimostratosi estremamente attivo, per molti anni a venire questo composto fu l'unico ad essere messo in commercio come medicinale (specie nella forma acetilata, DOCA), e ad essere quindi disponibile in quantità anche per la ricerca. Quando il desossicorticosterone è sintetizzato Reichstein ha ormai a disposizione una piccola famiglia di composti fisiologicamente attivi: il corticosterone, due suoi derivati (il desossi — e il deidro —), e due sostanze denominate M ed F.a. (quest'ultime corrispondenti ai Composti F ed E di Kendall, ora noti come cortisolo e cortisone). Su questo insieme di cinque sostanze le deduzioni che riguardano il rapporto fra struttura molecolare sono essenzialmente due. La prima, dovuta al gruppo della Mayo Clinic è che la presenza del doppio legame fra C₄ e C₅ è una condizione necessaria per l'attività fisiologica; la seconda deduzione invece riguarda l'ossigeno in C₁₁. Il fatto che il composto più attivo, il desossicorticosterone, non ha un atomo di ossigeno in C₁₁ dimostra che quest'aspetto strutturale non è significativo per quanto riguarda il criterio cruciale di mantenere in vita gli animali adenoprivi.⁴⁸

Oramai la caccia ai composti cristallizzabili dagli estratti corticosurrenali stava per dare i suoi ultimi frutti significativi. Nell'agosto 1938 Reichstein e J. von Euw caratterizzavano ancora nuovi composti, e la sostanza denominata Q risultava essere identica al desossicorticosterone, già sintetizzato come *composto modello* un anno prima! Nello stesso lavoro i due ricercatori rintracciarono l'ultimo dei composti attivi, ma la sua identificazione come nuova sostanza (la S della serie) richiese ancora qualche verifica.⁴⁹ Alla fine del 1939, in gran parte per merito del laboratorio di Reichstein, tutti e sei i composti attivi presenti negli estratti corticosurrenali erano stati isolati e caratterizzati a livello chimico. Due problemi rimanevano aperti. Il primo, essenzialmente chimico riguardava la

⁴⁶ *Ib.*, p. 820.

⁴⁷ M. STEIGER, T. REICHSTEIN, «Desoxy-cortico-steron (21-Oxy-progesteron) aus 5-3-Oxy-ätio-cholen-säure», *Helv. Chim. Acta*, 20, 1164-1165 (1937).

⁴⁸ *Ib.*, p. 1170.

⁴⁹ T. REICHSTEIN, J. v. EUW, «Über Bestandteile der Nebennierenrinde. XX. Isolierung der Substanzen Q (Desoxy-corticosterin) und R sowie weitere Stoffe», *Helv. Chim. Acta*, 21, 1197-1210 (1938); cfr. L.F. FIESER, M. FIESER, *Natural Products Related to Phenanthrene*, New York: Reinhold, 1949, p. 424. Il lavoro in collaborazione con von Euw arrivò in redazione il 23 agosto, la nota con la caratterizzazione della Sostanza S vi giunse il 28 settembre: T. REICHSTEIN, «Über Bestandteile der Nebennierenrinde. XXI. Die Konstitution der Substanzen R und S», *Helv. Chim. Acta*, 21, 1490-1497 (1938).

frazione amorfa che dopo innumerevoli tentativi di separazione non aveva mai dato composti ben definiti, pur essendo estremamente attiva a livello fisiologico. Il secondo problema era posto dalla mancanza di accordo fra i fisiologi e fra i biochimici sull'effettiva funzione metabolica dei corticosurrenali; è evidente che questa incertezza bloccava qualsiasi serio tentativo di definire la correlazione struttura/attività.

Le difficoltà della ricerca fisiologica non erano state certo minori di quelle incontrate dai biochimici più direttamente interessati all'isolamento e alla caratterizzazione della cortina. Per comprendere meglio la questione è opportuno ricordare che la corteccia surrenalica è l'organo omeostatico per eccellenza; la sua attività si ripercuote su numerose altre funzioni dell'organismo, dal bilancio elettrolitico Na/K, regolato dai reni, al complesso catabolismo delle proteine, e il suo secreto è connesso con quello di altre ghiandole endocrine, in primo luogo il lobo anteriore dell'ipofisi. Ad un certo punto della nostra storia i glucocorticoidi occuperanno il centro dell'attenzione dei biochimici; per comprendere meglio le loro incertezze mi sembra opportuno ricordare che la regolazione e l'azione dei glucocorticoidi può essere così schematizzata: lo stress e il ritmo circadiano influenzano l'ipotalamo che rilasciando un ormone specifico (il CRH) agisce sull'adenoipofisi; questa a sua volta invia un ormone (l'ACTH) alle surreni che secernono i glucocorticoidi. Questi steroidi determinano un aumento del glicogeno epatico e della concentrazione ematica del glucosio, fenomeni dovuti alla perdita di aminoacidi dai muscoli, alla mobilitazione di acidi grassi liberi nelle cellule adipose e, infine all'intervento del fegato (deaminazione di aminoacidi e gluconeogenesi). Il quadro è completato da un feedback negativo delle surreni sull'adenoipofisi e sull'ipotalamo.⁵⁰

A Cold Spring Harbor, nell'estate 1937 si tenne un Simposio di Biologia Quantitativa i cui atti sono un documento privilegiato per comprendere l'ampiezza del dibattito fra biochimici e endocrinologi. Il Laboratorio Biologico di Cold Spring Harbor organizzava annualmente dei seminari dedicati ai problemi più attuali delle discipline biologiche di confine, e il Simposio del 1937 fu appunto dedicato alle ricerche sulle ghiandole endocrine. Già seguendo le ricerche di Kendall abbiamo visto le numerose occasioni di incontro che la comunità biochimica offriva ai suoi membri, e non c'è dubbio che il lavoro degli endocrinologi statunitensi fosse favorito da una rete di rapporti professionali estesa ed efficiente. Un esempio che coglie il meglio delle possibilità offerte da questa rete è dato dai ringraziamenti che Robert Gaunt, del Dipartimento di Biologia, New York University, pone all'inizio del suo contributo dedicato alla «relazione

⁵⁰ R. ECKERT, *Fisiologia animale*, Bologna: Zanichelli, 1985, p. 387.

adreno-pituitaria». L'elenco comprende molte delle maggiori imprese farmaceutiche americane che avevano mandato ormoni cristallizzati ed estratti ormonali al laboratorio di Gaunt: la Parke, Davis & Co., la E.R. Squibb and Sons, la Upjohn Co., la Schering Corporation; a questi 'fornitori' industriali va ancora aggiunto J.B. Collip, del dipartimento di biochimica della McGill University.⁵¹

Al Simposio del 1937, oltre a quella di Gaunt, furono presentate almeno altre otto comunicazioni riguardanti direttamente l'attività fisiologica della corteccia surrenalica. Per quanto riguarda il punto centrale della discussione, e cioè la funzione fisiologica vitale svolta dalle corteccia surrenalica, il quadro complessivo emerso dalla riunione di Cold Spring Harbor era estremamente vario, allo stesso tempo deludente ed eccitante. Infatti il disaccordo più totale regnava fra tutti i biochimici e i fisiologi intervenuti: ciascuno di essi dava una sua propria versione dell'attività corticosurrenalica, spesso negando ogni possibile compromesso con le tesi altrui. W.W. Swingle, del Dipartimento di Biologia di Princeton, sviluppa ad esempio un'amplissima argomentazione sperimentale a favore della tesi che «L'ormone corticale è interessato al mantenimento della distribuzione dell'acqua e degli elettroliti fra i due grandi contenitori di fluidi del corpo — i compartimenti intra- ed extra-cellulari».⁵² Una posizione contigua è espressa da G.H. Harrop, dei laboratori di ricerca della Squibb: «L'azione dell'ormone corticale nel causare spostamenti nei fluidi e negli elettroliti fra i vari compartimenti del corpo non è ancora chiara», tuttavia «la regolazione dell'escrezione del sodio è un'importante funzione della corteccia surrenalica», mentre «l'effetto sul metabolismo del potassio della rimozione dell'influenza della corteccia surrenalica non è affatto così marcata nell'uomo come lo è nel cane»; così tutta l'attenzione dell'autore è concentrata «sugli effetti dell'ormone corticale sul metabolismo del sodio».⁵³ Il giudizio negativo a proposito del potassio è dato in contrasto con la proposta di ricercatori della Mayo Clinic (fra cui Kendall) di una dieta a basso contenuto di potassio per i malati del morbo di Addison. E infatti nella comunicazione di Kendall troviamo non solo un esplicito riferimento alle ricerche sulle diete citate da Harrop, ma anche un'ampia trattazione del significato dell'accentuata presenza del potassio negli 'Addisoniani'; l'esito di questa presenza è essenzialmente tossico. Dato che il morbo di Addison si può con-

⁵¹ R. GAUNT, «The Adrenal-pituitary Relationship», *Cold Spring Harbor Symposia Quant. Biol.*, 5, pp. 395-404 (1937).

⁵² W.W. SWINGLE, «Experimental Studies on the Function of the Adrenal Cortex», *Cold Spring Harbor Symposia Quant. Biol.*, 5, pp. 327-343 (1937); cit. alla p. 340. Abbiamo già incontrato Swingle come autore di un test di sopravvivenza dei cani adrenoprivi; cfr. rif. 21.

⁵³ G.A. HARROP, «The Influence of the Adrenal Cortical Hormone and Related Compounds upon the Electrolyte and Water Balance», *Cold Spring Harbor Symposia Quant. Biol.*, 5, pp. 375-380 (1937); cit. alla p. 375.

trollare con diete ad alto contenuto di sodio e basso contenuto di potassio, la conclusione di Kendall è netta: «L'influenza della cortina sul metabolismo animale può essere brevemente riassunta nell'affermazione che la cortina protegge l'animale da rapide fluttuazioni nella concentrazione degli ioni sodio, cloruro e potassio».⁵⁴ Ancora più 'concentrato' sulla funzione tossica del potassio è R.L. Zwemer, del Dipartimento di Anatomia della Columbia University. Egli prende in considerazione anche i disturbi al metabolismo degli zuccheri negli animali adenoprivi, ma solo per relativizzare la loro importanza: «ulteriore lavoro sperimentale ha mostrato tuttavia che né zucchero scarso né sodio scarso sono di primario significato critico, dal momento che livelli egualmente bassi possono essere ottenuti con altri mezzi, senza riprodurre la sindrome dell'insufficienza surrenalica».⁵⁵ Piuttosto, scrive Zwemer: «fra tutti i disturbi dell'insufficienza surrenalica, la regolazione inadeguata del potassio è la più critica per il benessere del corpo nel suo insieme».⁵⁶

Se Swingle, Harrop, Kendall e Zwemer puntano tutto sull'equilibrio fisiologico degli elettroliti, una posizione diversa, più complessa e più perplessa compare in altri autori. In particolare assumono questo atteggiamento due veterani della ricerca sulla cortina: Frank Hartman (Dipartimento di Fisiologia, Ohio University), che nel 1928 ne aveva proposto il nome, e Arthur Grollman (Dipartimento di Farmacologia, Johns Hopkins Medical School), che fin dal 1933 aveva affermato di averla isolata.⁵⁷ La relazione di Hartman inizia con una affermazione rilevante: al momento dei primi estratti corticosurrenalici attivi «si assumeva che la cortina fosse il solo ormone prodotto. Noi ora abbiamo l'evidenza che sono formati diversi ormoni (*several hormones*), ma è troppo presto per dire se uno o più ormoni sono vitali».⁵⁸ Hartman discute in successione le relazioni della cortina con gli elettroliti e con lo spostamento (*shift*) dei fluidi corporei, con il sistema nervoso, con il metabolismo (stress, carboidrati, consumo dell'ossigeno), e con la funzione di alcune vitamine. Le sue conclusioni riprendono l'osservazione iniziale, con una posizione che evidenzia le difficoltà incontrate nell'assegnare una pluralità di funzioni fisiologiche ad una singola sostanza chimica ben definita: «C'è un ormone vitale, la cortina. Questo mantiene il bilan-

⁵⁴ E.C. KENDALL, «A Chemical and Physiological Investigation of the Suprarenal Cortex», *Cold Spring Harbor Symposia Quant. Biol.*, 5, pp. 299-312 (1937); cit. alla p. 307.

⁵⁵ R.L. ZWEMER, «Electrolyte and Sugar Determinations as Indicators of Adrenal Influence on Normal Cell Activity», *Cold Spring Harbor Symposia Quant. Biol.*, 5, pp. 323-326 (1937), cit. alla p. 324. Nel contesto di questa mia nota non posso soffermarmi sulle difficoltà epistemologiche che trapelano dall'affermazione di Zwemer.

⁵⁶ *Ib.*, p. 324.

⁵⁷ A. GROLLMAN, W.M. FIROR, «Studies on the Adrenal. III. The Preparation of an Active Extract of the Hormone of the Adrenal Cortex», *J. Biol. Chem.*, 100, 429-439 (1933).

⁵⁸ F.A. HARTMAN, «The Hormones of the Adrenal Cortex», *Cold Spring Harbor Symposia Quant. Biol.*, 5, pp. 289-298 (1937), p. 289; si noti la novità e l'incertezza di questa affermazione.

cio elettrolitico e sembra anche essere rischiesto dal sistema nervoso. [...] La corteccia gioca un ruolo nel metabolismo dei carboidrati e dei grassi. Sebbene in questo la cortina sembri essere necessaria, c'è l'indicazione di un fattore addizionale», ed infine: «Il numero degli ormoni nella corteccia non può essere assestato (*settled*) definitivamente finché ciascuno [di essi] non sia isolato e la sua azione fisiologica determinata».⁵⁹

Il contributo di Grollman inizia con un'analisi critica dei test fisiologici, concludendo — in modo non sorprendente — che il saggio da lui adottato su giovani ratti «dà risultati consistenti e affidabili». Il senso della critica risale ad un atteggiamento olistico. In particolare Grollman attacca subito i saggi con cui vengono condotti «gli studi chimici dei prodotti cristallini isolati dagli estratti». Questi test si basano su una singola manifestazione dell'insufficienza surrenalica, come la capacità di lavoro di un muscolo o la concentrazione nel sangue di azoto non proteico: «Tuttavia, gli animali reagiscono in una tale molteplicità di modi ad una insufficienza indotta da adrenalectomia che può sempre essere messo in dubbio se una qualsiasi specifica manifestazione possa essere presa come criterio di funzione surrenalica».⁶⁰ Il riferimento alla «capacità di lavoro di un muscolo» accomuna nella critica sia il gruppo di Kendall sia quello di Reichstein, anche se, come diventerà chiaro negli anni successivi, i due test 'misuravano' prestazioni diverse dell'organismo. In ogni caso, dopo aver ripresentato il 'suo' ormone, ora ben cristallizzato, Grollman diventa più pesante quando confronta i propri risultati con quelle *equipes* che fino ad allora avevano dominato il settore biochimico della ricerca. In un'analisi non priva di contraddizioni interne il farmacologo della prestigiosa Johns Hopkins non promuove nessuno dei tre gruppi in questione, e in rapida successione confuta i risultati di Kendall, Wintersteiner e Pfiffner, e Reichstein.⁶¹ Complessivamente il discorso di Grollman accetta molti degli effetti metabolici dei composti corticosurrenali riscontrati dagli altri autori, ma la sua tesi è ben riassunta nel titolo di una sezione dell'articolo: «la natura unitaria dell'ormone corticale surrenalico», sezione in cui si ribadisce: «Altri pretendono di aver dimostrato la necessità di assumere l'elaborazione di diversi ormoni (*several hormones*) da parte della corteccia. I nostri esperimenti ci hanno portato a concludere che la corteccia surrenalica, così come esiste normalmente negli adulti, elabora solo un ormone che basta a mantenere tutte le normali funzioni dell'organismo».⁶²

Al 'polo' opposto rispetto ai contributi di chi sosteneva il mantenimento del-

⁵⁹ *Ib.*, p. 294.

⁶⁰ A. GROLLMAN, «Physiological and Chemical Studies on the Adrenal Cortical Hormone», *Cold Spring Harbor Symposia Quant. Biol.*, 5, pp. 313-322 (1937), p. 313.

⁶¹ Nel caso di Kendall, stranamente, Grollman cita una 'vecchia' formula per il Composto E, e precisamente $C_{21}H_{30}O_5$; cfr. *ib.*, p. 317.

⁶² *Ib.*, p. 318.

l'equilibrio elettrolitico come funzione vitale della corteccia surrenalica si collocarono due relazioni, quella di Long e quella di Britton e Silvette. All'incontro di Cold Spring Harbor C.N.H. Long rappresentava il laboratorio di chimica fisiologica della School of Medicine di Yale; nella sua comunicazione mette in relazione l'attività del lobo anteriore della ghiandola pituitaria con quella della corteccia surrenalica. Noi ora sappiamo che si tratta di una questione cruciale, così (dal nostro tempo) vediamo che Long è molto vicino ad una descrizione della retroazione della corteccia surrenalica: «Ora come ora è impossibile decidere se la relazione fra la pituitaria anteriore e la corteccia surrenalica, così come si evidenzia nei loro effetti sul metabolismo dei carboidrati e dei grassi, sia dovuta alla liberazione di qualche ormone dalla corteccia sotto l'azione stimolante della pituitaria anteriore, o se la presenza di una quantità adeguata di un ormone corticale è necessaria per far sì che il fattore della pituitaria anteriore produca alterazioni nel metabolismo dei tessuti». ⁶³ È nel contesto di questa complicata fenomenologia che Long prende chiaramente posizione in favore dell'osservazione di Britton — confermata da proprie ricerche — che «in animali adenoprivi si possono osservare nette diminuzioni nei livelli dello zucchero nel sangue e dei depositi di glicogeno del fegato e dei muscoli», concludendo che «la corteccia surrenalica deve esercitare, almeno in alcune circostanze, un notevole effetto sul metabolismo dei carboidrati e possibilmente dei grassi e delle proteine». ⁶⁴

Nell'incontro di Cold Spring Harbor all'ampia relazione di Long seguì quella stringatissima di S.W. Britton e H. Silvette, del Laboratorio fisiologico della School of Medicine, Università della Virginia. Fin dal 1930 Britton aveva sostenuto che vi erano molte indicazioni che la corteccia fosse «interessata nel deposito e nell'utilizzazione dei carboidrati». Gli anni trascorsi da allora hanno solo confermato le prime ricerche, in particolare e in tempi recenti attraverso l'estensione delle osservazioni anche ad animali insoliti nella pratica di laboratorio come la marmotta e l'opossum; di qui la conclusione netta: «Un considerevole insieme di evidenze indica quindi il profondo coinvolgimento della corteccia surrenalica [...] nella regolazione del metabolismo dei carboidrati nel corpo». ⁶⁵

Risulta chiaro anche da una lettura affrettata che il disaccordo fra i ricercatori era quasi completo, con notevoli divisioni anche all'interno della 'fazione' più consistente, quella che accentrava l'attenzione sul metabolismo degli elettroliti e che comprendeva un Kendall privo, come suo solito, di qualsiasi dubbio. Prima di seguire le vicende che portarono all'abbandono del concetto stesso di

⁶³ C.N.H. LONG, «Studies on the "Diabetogenic" Action of the Anterior Pituitary», *Cold Spring Harbor Symposia Quant. Biol.*, 5, pp. 344-356 (1937), cit. alla p. 349.

⁶⁴ *Ib.*, p. 346.

⁶⁵ S.W. BRITTON, H. SILVETTE, «Adrenal Cortex and Carbohydrate Metabolism», *Cold Spring Harbor Symposia Quant. Biol.*, 5, pp. 357-361 (1937), cit. alla p. 359; tutte le indicazioni delle pagine dei contributi presentati a questo simposio includono la discussione. Il testo della nota di Britton e Silvette occupa meno di due pagine e mezza.

'cortina' va ancora notato che, fra i molti interventi citati, quello di Kendall fu l'unico a tentare una correlazione fra la struttura dei composti corteccia surrenalica e l'attività fisiologica. Da questo punto di vista, per noi fondamentale, emergono nella relazione di Kendall due fatti significativi. Il primo fatto è che il biochimico della Mayo Clinic non ha alcun sospetto sulla funzione fisiologica del (poi) famoso ossigeno su C_{11} , in quanto sono correlati con l'attività corticosurrenalica principalmente il doppio legame nell'anello A e in subordine la catena laterale.⁶⁶ Il secondo fatto è di tutt'altra natura, e rientra nell'«egotismo» scientifico di Kendall che nella dettagliata descrizione delle ricerche sulla struttura dei composti corticosurrenalici riesce a parlare soltanto di se stesso e a ignorare completamente il contributo di Reichstein. Il ricercatore svizzero è citato marginalmente un paio di volte, a proposito dell'attività fisiologica dei composti e della possibilità di una loro sintesi di laboratorio; sulle sue ricerche strutturali nulla viene detto.

L'eclissi della 'cortina' fu il risultato di un processo conoscitivo lungo, contorto e collettivo. Infatti si dovette abbandonare il concetto stesso di cortina e di una *singola* funzione vitale collegata a questo ormone (virtuale) e alla corteccia surrenalica (reale). Per avere almeno un'idea di questo percorso possiamo seguire la letteratura pertinente apparsa su *Endocrinology*, il giornale che ospitò gran parte del dibattito, vivissimo, fra i ricercatori americani.

Nel giugno 1938 Kendall tenne una conferenza alla Association for the Study of Internal Secretions sul tema generale dell'influenza delle ghiandole a secrezione interna sul metabolismo. Ad un anno di distanza può citare puntualmente gli atti dell'incontro di Cold Spring Harbor; dal confronto con gli altri autori egli deriva questa conclusione: «Il cosiddetto ormone del sale e dell'acqua e il principio attivo che causa la formazione del glicogeno [...] sono identici». Ancora più chiaramente Kendall stabilisce che «NaCl e cortina influenzano i medesimi processi metabolici».⁶⁷ Il testo venne pubblicato nel giugno dell'anno successivo su *Endocrinology*. Intanto nell'aprile 1939, meno di due anni dopo il Simposio di Cold Spring Harbor, l'American Chemical Society, ovvero la sua Division of Medical Chemistry, aveva organizzato un incontro sulle ghiandole endocrine. Fra le sette comunicazioni che furono pubblicate ancora su *Endocrinology*, nel fascicolo di settembre, due riguardano il nostro tema e dimostrano come si fosse ancora in una posizione di stallo: Mason, il principale collaboratore di Kendall, discute a lungo le strutture dei composti corticosurrenalici, ma non riesce a trarre alcuna conclusione nuova in funzione dell'attività fisiologica;⁶⁸ Grollman spende

⁶⁶ Rif. 54, pp. 309-310.

⁶⁷ E.C. KENDALL, «The Influence of Some of the Ductless Glands on Metabolic Processes», *Endocrinology*, 24, 799-805 (1939); cit. alle pp. 804-805.

⁶⁸ H.L. MASON, «Chemistry of the Adrenal Cortical Hormone», *Endocrinology*, 25, 405-412 (1939).

l'intero intervento ad esprimere dubbi, a partire da quello più radicale: che sia mai stato isolato «il vero ormone» della corteccia surrenalica.⁶⁹

La svolta verso una comprensione più differenziata e profonda dell'attività dei singoli ormoni corticosurrenalici avvenne nel 1940. In un monumentale saggio, pubblicato in febbraio, Long e collaboratori discutono il rapporto della corteccia surrenalica con il metabolismo dei carboidrati. Essi affermano che ogni teoria della funzione corticosurrenalica deve tenere in considerazione sia il bilancio elettrolitico, sia il metabolismo dei carboidrati; gli esperimenti rimuovono la necessità di assumere fattori separati per le due funzioni essenziali; «certi steroidi della corteccia surrenalica che sono in grado di mantenere in vita con un bilancio elettrolitico normale animali adenoprivi influenzano anche il metabolismo dei carboidrati di animali parzialmente privati del pancreas. [...] non tutti gli steroidi corticali capaci di mantenere in vita animali adenoprivi sono di eguale potenza nel loro effetto sul metabolismo dei carboidrati».⁷⁰ In agosto è il turno di Ingle, ora alla University of Pennsylvania, di confrontare in modo netto il desossicorticosterone di Reichstein con il Composto E di Kendall.⁷¹ Nella nota il significato fisiologico del test Everse-de Fémery («una procedura intensiva (*acute*)») viene chiaramente distinto dal test dell'autore, inteso a creare forme severe e prolungate di stress. L'attività sul metabolismo dei carboidrati del Composto E è *quantitativamente* più marcata di quella del desossicorticosterone, per cui Ingle conclude affermando la possibilità che «la corteccia surrenalica secerni due o più ormoni e che non vi sia nessuna attività predominante (*prepotent*) della ghiandola»: «è improbabile che ciascuna delle molte funzioni ora studiate possa avere associato un ormone esclusivo per quella funzione». Ingle termina invitando ad «una penetrante analisi del metabolismo».⁷² Ormai l'ostacolo epistemologico della teoria dominante (*una ghiandola — un ormone*) era rimosso, e su questa via si inoltrarono anche (quasi) tutti i ricercatori impegnati sulle corteccia surrenalica.

Nel luglio 1942 Reichstein e C.W. Shoppee chiudevano ed inviavano alle stampe un'ampia rassegna sugli «Ormoni della corteccia surrenalica». Il plurale del titolo era chiaramente programmatico; gli autori elaborano tutti i dati derivati dai test fisiologici sui sei composti attivi e sulla 'frazione amorfa', li correlano in funzione del contenuto di ossigeno e pubblicano una tavola il cui stile

⁶⁹ A. GROLLMAN, «The Rôle of the Adrenal Glands in the Animal Economy», *Endocrinology*, 25, 413-416 (1939).

⁷⁰ C.N.H. LONG, B. KATZIN, E.G. FRY, «The Adrenal Cortex and Carbohydrate Metabolism», *Endocrinology*, 26, 309-344 (1940), cit. alla p. 333.

⁷¹ Come nei casi già citati di altri autori Ingle si pone al centro di una rete di rapporti: con la Mayo Clinic (ringrazia Mason e Kendall, in quest'ordine); con Reichstein, ora a Basilea; con la CIBA, NJ; con la Roche-Organon, NJ.

⁷² D.J. INGLE, «The Effect of Two Cortin-like Compounds upon the Body Weight and Work Performance of Adrenalectomized Rats», *Endocrinology*, 27, 297-304 (1940).

rimarrà invariato fino ai nostri giorni. Da essa risulta nettamente la partizione fra mineralocorticoidi e glucocorticoidi (i nomi verranno dopo), e nel testo viene sottolineata la correlazione fra il metabolismo dei carboidrati e «la presenza di un atomo di ossigeno in C₁₁». Il problema della 'frazione amorfa', attivissima sul bilancio elettrolitico, rimane aperto, e gli autori sottolineano che fino a quando anche questo aspetto non sarà risolto sarà «una questione di scelta personale» il riferirsi a «l'ormone» o a «parecchi ormoni corticosurrenalici». La prima scelta è quella ancora fatta da Hartman e Grollman, «la seconda è quella di Kendall e degli autori».⁷³ Con questo insolito accordo fra i due protagonisti, Reichstein e Kendall, si conclude la vicenda scientifica della cortina, anche se il nome, con un riferimento ontologico sempre più ambiguo, rimarrà ancora in uso per molto tempo.

L'isolamento e la caratterizzazione dell'aldosterone, l'ormone contenuto nella frazione amorfa, furono portati a termine solo dopo che due ricercatori inglesi ebbero trovato una nuova chiave sperimentale per aprire l'accesso alla misteriosa 'frazione'. James Tait e Sylvia Simpson lavoravano al Middlesex Hospital di Londra, e pur non avendo particolari fondi di ricerca avevano accesso a isotopi radioattivi di sodio e potassio. Decisero così di studiare l'effetto di frazioni di un estratto corticosurrenalico commerciale sul bilancio elettrolitico di ratti adenoprivi. Il rapporto fra gli isotopi radioattivi nelle urine dei ratti fornì un metodo di controllo assai sensibile, mentre l'uso della cromatografia su carta — introdotta da poco — permise l'isolamento dagli estratti della frazione più attiva, senza dover intervenire chimicamente. Iniziata nel 1948, dopo tre anni la ricerca dei due scienziati inglesi giunse fino ad una forte concentrazione dell'«elettrocortina», l'ormone responsabile della ritenzione del sodio e dell'acqua.⁷⁴ A questo punto gli interessi di Tait e Simpson si incontrarono con quelli di Reichstein (e della CIBA); il 23 luglio 1953 inglesi e svizzeri poterono annunciare l'avvenuta cristallizzazione del nuovo ormone,⁷⁵ e il 15 febbraio 1954 all'ormone, ribattezzato aldosterone, venne assegnata la struttura molecolare.⁷⁶ Queste due smilze note non potevano certamente soddisfare il desiderio di completezza degli scien-

⁷³ T. REICHSTEIN, C.W. SHOPPEE, «The Hormones of the Adrenal Cortex», *Vitamines and Hormones*, 1, 345-413 (1943).

⁷⁴ W. SNEADER, *Drug Discovery: the Evolution of Modern Medicines*, Chichester: Wiley, 1985, p. 223.

⁷⁵ S.A. SIMPSON, J.F. TAIT, A. WETTSTEIN, R. NEHER, J. v. EUW, T. REICHSTEIN, «Isolierung eines neuen kristallisierten Hormons aus Nebennieren mit besonders hoher Wirksamkeit auf den Mineralstoffwechsel», *Experientia*, 9, 333-335 (1953). La nota fu pubblicata in novembre.

⁷⁶ S.A. SIMPSON, J.F. TAIT, A. WETTSTEIN, R. NEHER, J. v. EUW, O. SCHINDLER, T. REICHSTEIN, «Konstitution des Aldosterons, des neuen Mineralcorticoids», *Experientia*, 10, 132-133 (1954). La nota fu pubblicata a marzo.

ziati impegnati nell'impresa, anche perché erano state impiegate le tecniche di laboratorio allora più all'avanguardia dalla cromatografia preparativa alla spettroscopia infrarossa, così alla fine di aprile due grossi articoli furono inviati — ancora una volta — all'*Helvetica Chimica Acta*; essi costituivano la 91^a e 92^a *Mitteilung* della serie inaugurata da Reichstein diciotto anni prima.⁷⁷

Qualche conclusione può essere tratta anche da un racconto incompleto⁷⁸ come quello qui presentato. Se consideriamo in primo luogo l'aspetto critico dei test fisiologici, è evidente quanto negativamente abbia pesato sull'intera vicenda la competizione esasperata fra i gruppi di ricerca. Solo dopo anni di aspri confronti si cominciò ad accettare che la diversa verità altrui era compatibile con la propria. Non fu fatto nessun tentativo di collaborazione, anche fra laboratori accademici, per confrontare l'efficacia e il *senso degli esperimenti sugli animali*. Se poi spostiamo l'attenzione sui contributi, più strettamente biochimici, di Reichstein, di Kendall, e dei loro collaboratori è innegabile il vantaggio per la Mayo Clinic rappresentato dall'aver 'in casa' un ricercatore come Ingle. Sul rapporto fra struttura e attività il contributo degli americani è probabilmente maggiore di quello degli svizzeri e olandesi, tuttavia Reichstein ha dominato la ricerca per quanto riguarda le procedure di isolamento e di determinazione delle strutture molecolari. Se poi confrontiamo gli *stili di ricerca personali* di Reichstein e di Kendall otteniamo un risultato interessante: lo stile dell'americano è concitato, inaccurato e persino un po' avventato; quello di Reichstein è uno stile potente, colto, cauto e fin troppo prudente nelle conclusioni teoriche. Sapendo che entrambi furono premiati a Stoccolma si potrebbe dire che *il Nobel non è una questione di stile*.

⁷⁷ S.A. SIMPSON, J.F. TAIT, A. WETTSTEIN, R. NEHER, J.V. EUW, O. SCHINDLER, T. REICHSTEIN, «Aldostern. Isolierung und Eigenschaften. Über Bestandteile der Nebennierenrinde und verwandte Stoffe. 91. Mitteilung», *Helv. Chim. Acta*, 37, 1163-1200 (1954); S.A. SIMPSON, J.F. TAIT, A. WETTSTEIN, R. NEHER, J. v. EUW, O. SCHINDLER, T. REICHSTEIN, «Die Konstitution des Aldosterons. Über Bestandteile der Nebennierenrinde und verwandte Stoffe. 92. Mitteilung», *Helv. Chim. Acta*, 37, 1200-1223 (1954).

⁷⁸ Questioni di spazio non mi hanno permesso di seguire più in dettaglio i programmi di ricerca dei due protagonisti, Reichstein e Kendall, e nemmeno ho considerato il contributo di altri gruppi come quello di G.F. Cartland e M.H. Kuizenga, dei Laboratori di ricerca della Upjohn. In sede di rimpianti mi spiace non aver potuto dare il dovuto risalto alle tecniche sperimentali. Ad es., nel 1938 Reichstein e von Euw descrivevano dettagliatamente le loro procedure di separazione in una sezione intitolata *Chromatographie*; v. rif. 49, pp. 1202-1204.

ROBERTO BADIELLO (*) - ALBERTO BRECCIA (*)

Il costituirsi della Chimica delle Radiazioni come disciplina ()**

The Making of Radiation Chemistry as a Discipline.

Summary - Radiation Chemistry is concerned with the interaction of energetic charged particles (electrons, protons, alfa and other heavy particles) and high-energy photons (X rays and gamma rays) with matter.

In this communication the development of Radiation Chemistry is described from the early period when chemical changes were observed in solutions, in which radioactive substances were present, to the photochemical approach to the reactions induced by X rays.

During the Second World War the first nuclear reactor was built, as part of the Manhattan project, and a new era in Radiation Chemistry started. The availability of radioactive isotopes, the construction of accelerators and the needs of atomic energy developments, i.e. in reactor coolants and moderators, resulted in the making of Radiation Chemistry as a discipline. Mass spectrometry showed the existence of ion-molecule reactions while electron spin resonance and pulse radiolysis techniques enabled radicals and other short-lived species to be observed and identified giving evidence on the role of free radicals, ions and excited states in radiation chemical reactions. In this contest particular attention is devoted to the development of Radiation Chemistry in Italy with the establishment of the first Radiation Chemistry groups of research in the years 1960-70. Radiation Chemistry is still a rapidly developing field and the discoveries that are being made are not only of theoretical importance but also contribute to advances in many other fields and more industrial processes utilizing radiation are established.

1. INTRODUZIONE

La Chimica delle Radiazioni è quel capitolo della Chimica Fisica che studia le variazioni chimiche indotte dalle radiazioni ad alta energia, tipo le radiazioni alfa, beta, gamma i raggi X, gli elettroni accelerati, i protoni, i neutroni veloci, gli ioni pesanti in genere, quali ad esempio quelli di elio, i deuteroni ed i fram-

(*) Unità Complessa di Scienze Chimiche, Radiochimiche e Metallurgiche, Università degli Studi di Bologna.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

menti di fissione, etc. Poiché tali radiazioni ad alta energia causano ionizzazione del mezzo attraversato, esse sono chiamate anche radiazioni ionizzanti secondo la definizione dell'ICRU [1].

La Radiochimica, che talvolta è confusa con la Chimica delle Radiazioni, studia invece la chimica degli elementi radioattivi e dei loro composti, i metodi di misura della radioattività e l'impiego dei traccianti radioattivi. La Chimica Nucleare, infine, tratta le trasformazioni nucleari (chimica dell'atomo caldo, analisi per attivazione, effetto Mössbauer) con particolare riguardo ai prodotti di fissione ed agli elementi transuranici.

I principi ed i concetti della Chimica delle Radiazioni hanno, invece, caratteristiche in parte comuni, con un'altra disciplina chimico-fisica, la Fotochimica, che, come è noto, studia le reazioni chimiche prodotte in un mezzo dall'assorbimento di radiazioni visibili ed ultraviolette.

Anche in questo caso la fenomenologia chimica osservata trae origine dalle molecole eccitate ed eventualmente dagli ioni prodotti, purtuttavia vi sono sostanziali differenze fra le due discipline.

La più importante è che, nel campo della Chimica delle Radiazioni, contrariamente a ciò che avviene in Fotochimica, l'energia della radiazione incidente è di gran lunga in eccesso sia rispetto alle energie di legame che rispetto ai potenziali di ionizzazione ed eccitazione di ogni molecola costituente il mezzo. Ciò significa che la frazione della energia totale depositata in ciascuno dei vari componenti di un sistema complesso dipende non dalle loro proprietà molecolari ma piuttosto dalla loro abbondanza relativa. In prima approssimazione, questa ripartizione dell'energia è governata dalla frazione elettronica relativa di ciascun componente almeno per le molecole degli elementi più leggeri. È questa non selettività dell'assorbimento di energia che ha fatto credere, soprattutto in passato, che i fenomeni della Chimica delle Radiazioni siano difficili da interpretare. Di fatto è vero il contrario perché il principio della non selettività dell'assorbimento di energia è ora sfruttato sistematicamente con un appropriato progetto sperimentale, per studiare, come vedremo, sofisticate reazioni nel campo della Chimica Inorganica, Organica e Biologica.

In Fotochimica, invece, l'assorbimento di energia è quantizzato, cioè un quanto di luce ad una certa lunghezza d'onda subisce una interazione di risonanza con una molecola di un particolare componente la miscela per eccitare un solo elettrone in uno o pochi stadi energetici fra i molti possibili.

La divisione fra le due discipline non è netta, come non lo è la divisione fra radiazioni ionizzanti e non ionizzanti [1] perché una determinata radiazione può essere ionizzante in un mezzo e non in un altro, quindi la scelta di un adatto limite di energia, al di sotto del quale una radiazione può essere considerata non ionizzante, dipende dalle circostanze. In Radiobiologia per esempio si è assunto che l'uomo di riferimento di peso 70 kg consista di 15 elementi presenti in quantità di almeno 1 g o più con energie di ionizzazione variabili da 4,3 eV per K e 17,4 eV per F [2]. In questo caso un valore medio dell'energia di

ionizzazione, pesata secondo la quantità di questi elementi nell'uomo, è 12,9 eV corrispondenti ad una lunghezza d'onda di 96 nm (ultravioletto sotto vuoto).

Sebbene le ricerche di Chimica delle Radiazioni siano aumentate significativamente negli ultimi decenni, il campo non è certamente nuovo. Gli effetti delle scariche elettriche sui gas furono studiate a metà dell'800 e reazioni naturali indotte dalle radiazioni sono avvenute fin dalla nascita dell'universo. Una delle teorie sull'origine della vita si basa sull'azione dei raggi cosmici sulle soluzioni acquose che milioni di anni fa occupavano parte della superficie terrestre: le reazioni radioindotte avrebbero prodotto, a partire da molecole semplici, molecole sempre più grandi e complesse, alcune delle quali con proprietà tali da iniziare processi vitali.

La Chimica delle Radiazioni costituisce un importante campo di ricerca sia di carattere fondamentale che applicato. Lo sviluppo commerciale dell'energia nucleare richiede una profonda conoscenza degli effetti delle radiazioni sulla materia. I reattori nucleari di potenza, per esempio, devono essere costruiti con materiali che presentino stabilità fisica e chimica sotto irradiazione, altrimenti si deteriorerebbero rapidamente una volta operanti. Inoltre le radiazioni ad alta energia, come sottoprodotti dell'industria nucleare, possono avere impieghi pratici come sorgenti di energia in scala industriale per processi come la polimerizzazione di monomeri nell'industria della plastica, la degenerazione controllata ed il «crosslinking» dei polimeri, la idrobromurazione dell'etilene ad etilbromuro, etc.

Gli effetti biologici delle radiazioni sono stati e sono ampiamente studiati con i metodi e le tecniche della Chimica delle Radiazioni perché i sistemi biologici possono essere considerati complessi sistemi chimici. In questo modo la Radiobiologia può superare il suo aspetto fenomenologico e descrittivo fondandosi sui meccanismi di reazione messi in luce dalla Chimica delle Radiazioni nello studio di sistemi chimici modello più semplici. Questi studi sono importanti per l'impiego medico delle radiazioni ionizzanti e per il trattamento di persone esposte anche nel caso di incidenti e/o guerre nucleari.

La ricerca di base in Chimica delle Radiazioni è fondamentale e necessaria anche per una migliore comprensione dei fenomeni che stanno alla base delle applicazioni biomediche e tecnologiche delle radiazioni. Scopo principale degli studi di base è quello di identificare le varie specie formate nei vari sistemi e di capire i processi chimico-fisici dai quali esse provengono e le successive reazioni chimiche. Ciò implica studi cinetici e di meccanismi di reazione. Lo schema semplificato delle reazioni in Chimica delle Radiazioni è mostrato nella Fig. 1.

2. LE PRIME ESPERIENZE IN CHIMICA DELLE RADIAZIONI

Lo studio dei fenomeni di interazione fra la materia e le radiazioni elettromagnetiche è stato di grande importanza a cavallo fra l'800 e il 900 nella evoluzione della teoria quantistica nell'ambito dello sviluppo della fisica nel nostro secolo [3].

Le prime osservazioni sugli effetti delle radiazioni riguardavano l'annerimento



Fig. 1 - Schema di reazioni in Chimica delle Radiazioni.

delle emulsioni fotografiche osservate con i raggi X da Roentgen nel 1895 e con la radioattività naturale da Becquerel nel 1896. Questi furono seguiti dagli studi di M.me Curie che portarono alla scoperta ed all'isolamento del polonio e del radio nel 1898 [3].

La scoperta di questi elementi e l'isolamento del radio in grandi quantità, da parte di Pierre e Maria Curie, risultarono fattori importanti per le prime applicazioni biomediche e per le prime osservazioni di radiolisi perché si resero disponibili sorgenti relativamente potenti di radiazioni ionizzanti. Le prime applicazioni diagnostiche (tubercolosi) e terapeutiche (tumori della pelle) dei raggi X seguirono di poco la loro scoperta. Nel 1910 fu descritto a Vienna il trattamento di un cancro al seno mediante raggi X.

Per quanto concerne gli studi chimici la stessa M.me Curie osservò che le radiazioni provenienti da preparati di radio decomponevano l'acqua e pochi anni dopo la scoperta del radio, Giesel [4] riportò le osservazioni di Runge e Bödlander sulla liberazione di idrogeno ed ossigeno da soluzioni acquose di bromuro di radio. Fu probabilmente Ramsay [5] il primo a condurre sistematicamente una serie di esperimenti connessi all'azione chimica del radio e del radon,

tanto che lo stesso, assieme a Cameron [6], suggerì che l'azione delle radiazioni sull'acqua era simile alla decomposizione elettrolitica.

Debierne [7] riportò i risultati delle sue misure sulla decomposizione dell'acqua fissando l'attenzione sulle cause del fenomeno.

Fu la stessa M.me Curie a proporre che l'effetto primario delle radiazioni sulle sostanze chimiche si esplicasse attraverso la formazione di ioni e che questi fossero i precursori delle successive variazioni chimiche [8].

Era stato notato fin dall'inizio che sia i raggi X che le radiazioni nucleari provenienti dall'uranio provocavano la conducibilità dell'aria e misurando la velocità di scarica di un elettroscopio carico era possibile stimare l'intensità della radiazione.

La relazione fra l'azione chimica e la ionizzazione nei gas fu posta su basi quantitative da Lind [9] che studiò la formazione di ozono in ossigeno sotto l'azione dei raggi X e fu capace di misurare per la prima volta sia la ionizzazione prodotta che la quantità di variazioni chimiche. Furono trovate rese di circa 0,5 molecole di ozono per coppia di ioni prodotti. Dati raccolti da Lind mostrarono che la ionizzazione e la resa chimica sono strettamente legate e le rese sono generalmente proporzionali alla ionizzazione prodotta. Dalle fondamentali ricerche di Lind sui gas risultò che, per irradiazione sufficientemente prolungata dei sistemi, si può giungere a miscele, in vari rapporti quantitativi, di tutti i composti possibili dalla combinazione degli atomi presenti.

In questo primo periodo storico della Chimica delle Radiazioni, gli studi in fase gassosa erano i preferiti perché i metodi di analisi erano poco sensibili, richiedevano grandi quantità di materiale e la conversione di una apprezzabile proporzione di questo materiale di partenza a prodotti. Ciò è più facile da ottenere con i gas che contengono poche molecole rispetto agli stati condensati. Inoltre il radio era la sorgente di radiazioni più usata a quel tempo e la bassa penetrazione delle radiazioni alfa nei liquidi e nei solidi impediva, o perlomeno limitava, esperienze allo stato condensato. Infatti per produrre sufficienti prodotti da analizzare allo stato liquido e solido era necessario condurre irradiazioni per mesi o addirittura per anni.

3. LA CHIMICA DELLE RADIAZIONI FRA LE DUE GUERRE

Gli anni che seguirono la prima Guerra Mondiale furono fecondi per gli studi di Fotochimica. Non sorprende il fatto che numerosi chimici pensassero di usare, oltre alle radiazioni ultraviolette (UV) anche i fotoni ad alta energia, prodotti dagli apparecchi Roentgen, per indurre reazioni chimiche.

Fu così che la Fotochimica estese, in qualche modo, il proprio interesse ed area di ricerca al campo delle radiazioni più energetiche. Gli studi di Fricke e collaboratori [8] negli anni Trenta richiamarono l'attenzione sulle differenze essenziali fra i processi indotti, soprattutto in acqua e nelle soluzioni acquose,

dai due tipi di radiazioni. Nel caso delle radiazioni UV si ha azione diretta sulle molecole, ma nel caso di raggi X si ha un effetto indiretto: essi «attivano» le molecole di acqua e queste portano agli effetti chimici osservati attraverso reazioni con gli ioni o le molecole presenti.

La disponibilità, in quegli anni, di intense sorgenti a raggi X per uso medico ed industriale rivoluzionò le tecniche di irradiazione rendendo più semplice il lavoro dei ricercatori rispetto alle precedenti esperienze con il radio. Un grande impulso allo studio della radiolisi dell'acqua venne in quegli anni anche dai biochimici con le loro ricerche sull'azione inattivante delle radiazioni nelle proteine. Proprio partendo da uno studio sull'emoglobina, una proteina che contiene ferro nella forma di ione ferroso [10], Fricke arrivò alla conclusione che l'ossidazione di Fe^{2+} a Fe^{3+} è un effetto indiretto, dovuto all'azione di molecole di acqua «attive». Mediante calibrazione con una camera ad ionizzazione fu allora messa a punto quella soluzione, nota come dosimetro di Fricke [11] ancora oggi usata nella dosimetria chimica.

Lo stesso Fricke e coll., nonché altri ricercatori usarono i raggi X per irradiare una grande varietà di sostanze inorganiche, ed organiche (alcoli, aldeidi, chetoni, acidi) trovando che si verificavano sia fenomeni di ossidazione che di riduzione [8, 12-15].

La natura dell'azione indiretta per cui in una soluzione diluita, l'energia è assorbita dalle molecole di solvente a cui segue la reazione fra le molecole «attivate» e il soluto, non era del tutto chiara.

Fricke, Hart e Smith [16] anche da esperienze comparate di fotochimica e chimica delle radiazioni, pensarono che l'acqua «attivata» non fosse altro che acqua allo stato eccitato. Sarà Weiss, alcuni anni dopo, a dimostrare che l'irradiazione dell'acqua porta ad atomi di idrogeno ed a radicali OH, entrambi responsabili delle reazioni di ossido-riduzione, anche se le molecole di acqua eccitata possono essere degli intermedi nella formazione dei radicali [17].

In quegli anni ci furono i primi approcci «radicalici» allo studio dei meccanismi di radiolisi, mediante esperienze combinate di natura spettroscopica, termodinamica e cinetica e considerazioni di tipo teorico [8].

Meccanismi tipici delle reazioni a catena, che si propagano via radicali, furono proposti, anche se non del tutto compresi, per reazioni tipo la conversione radioindotta orto-para idrogeno e la sintesi e la decomposizione dell'acido bromidrico. Reazioni ione-molecola e la possibile esistenza di molecole eccitate capaci di dare prodotti erano a quel tempo, del tutto ignorati.

È da ricordare, infine, che nel 1932, fu realizzato da E.O. Lawrence a Berkeley il primo ciclotrone con possibilità di avere a disposizione fasci di nuove particelle, che ebbero immediate applicazioni soprattutto in campo biomedico [3]. La madre dello stesso Lawrence fu la prima paziente, affetta da tumore, ad essere trattata con successo nel 1938 mediante irradiazione neutronica.

4. IL COSTITUIRSI DELLA CHIMICA DELLE RADIAZIONI COME DISCIPLINA

Lo sviluppo dei reattori nucleari durante e dopo la seconda guerra mondiale fu un altro importante incentivo e significò il costituirsi della Chimica delle Radiazioni come disciplina anche se di confine, a cavallo cioè fra settori disciplinari tradizionali come la Chimica, la Fisica e la Biologia.

Il numero di ricercatori in Chimica delle Radiazioni, limitato fino agli anni 40 aumentò poi rapidamente per il costituirsi di numerosi e grandi gruppi di ricerca attivi nel campo dei programmi dell'energia atomica. Analogamente il numero delle pubblicazioni di Chimica delle Radiazioni ebbe un'impennata proprio in quegli anni mostrando una crescita continua nel periodo successivo.

Si resero disponibili più facilmente, da allora, sorgenti di irradiazione come gli isotopi radioattivi provenienti dai reattori nucleari (Co-60, Cs-137, Sr-90) e macchine acceleratrici sempre più potenti, versatili e sofisticate. Lo sviluppo della disciplina trovò maggiore impulso proprio dai problemi legati all'energia atomica, come ad esempio gli studi sui materiali, sui moderatori ed i refrigeratori, il trattamento del combustibile spento, etc.

Fu proprio in quel periodo che fu proposto il termine «Radiation Chemistry» da Milton Burton, un noto fotochimico che guidava il gruppo di studio sugli effetti chimici delle radiazioni nell'ambito del Progetto Manhattan. Egli scrisse:

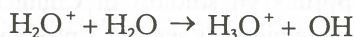
«In May 1942, the title radiation chemistry did not exist...the name photochemistry proved awkward; there was too much confusion, too much overlap of interest, and I sought an appropriate name for an area that we quickly realized had existed for 47 years without any name at all. The name radiation chemistry came out of the hopper; I didn't like it; I asked Robert Mulliken's advice. He couldn't think of anything better and, with that negative endorsement, the old field received its present name» [18].

Burton ebbe un ruolo importante nello sviluppo della Chimica delle Radiazioni, introducendo, per identificare le rese radiolitiche di reazione, l'uso del valore G cioè il numero di specie formate o trasformate per 100 eV di energia assorbita; egli diresse successivamente il Radiation Laboratory all'Università di Notre Dame (Indiana).

Le ricerche fra gli anni 40 e 50, sulla natura dell'acqua attivata erano basate sulla teoria dei radicali liberi [19-21]. Il processo della ionizzazione primaria dell'acqua.



era seguito dalle altre due reazioni



I radicali prodotti in queste reazioni potevano, inoltre, ricombinarsi per dare molecole come H_2 ed H_2O_2 .

Questo modello sulla radiolisi dell'acqua, ritenuto sostanzialmente valido per decine di anni, si basava anche su studi precedenti riportati da Weiss nel 1944 [17], che furono probabilmente i primi a stabilire inequivocabilmente che la decomposizione dell'acqua sotto irradiazione portava alla formazione dei radicali H ed OH, ritenuti responsabili delle reazioni di riduzione ed ossidazione osservate in precedenza (ad es. riduzione di Ce^{4+} a Ce^{3+} , ossidazione di Fe^{2+} a Fe^{3+}).

Nel 1953 fu organizzata dalla Faraday Society a Leeds una Conferenza sulla Chimica delle Radiazioni dell'acqua considerando i vari aspetti della dosimetria, dell'assorbimento delle radiazioni, della decomposizione e delle trasformazioni chimiche dell'acqua pura ed in soluzioni diluite [22].

Erano state poste le basi per la interpretazione in termini qualitativi e quantitativi dei vari fenomeni osservati nei sistemi più studiati come l'acqua e le soluzioni acquose. Erano stati introdotti i concetti delle rese radiolitiche ed erano stati riportati i primi dati sulle rese radiolitiche dei radicali liberi prodotti nell'acqua.

Importanti trattamenti teorici sui primi processi di distribuzione dell'energia radiante sulla materia furono sviluppati in quegli anni da Lea [23], Samuel e Magee [24] proprio tenendo conto degli studi sulla radiolisi dell'acqua.

In particolare Samuel e Magee fecero il primo trattamento teorico dei processi fisici primari che avvengono lungo le tracce e che sono i precursori della formazione radicalica e dei prodotti molecolari. L'elettrone strappato nella ionizzazione da una molecola di acqua non può allontanarsi dallo ione parente e sfuggire al suo campo coulombiano. L'attrazione porta alla neutralizzazione ed alla eccitazione della molecola di acqua che si dissocia in H ed OH che rimangono vicini l'un l'altro da un punto di vista spaziale.

La distribuzione non omogenea delle specie primarie è limitata nel tempo perché esse poi si diffondono nella soluzione dal loro punto di origine.

Le reazioni radicaliche e le reazioni ione-molecole, furono studiate intensamente mediante la spettrometria di massa, e successivamente con due tecniche, la spettroscopia di risonanza di spin elettronico e soprattutto la radiolisi ad impulsi [25-26] che permisero la identificazione di radicali liberi ioni e stati eccitati, lo studio delle loro proprietà chimico-fisiche e delle loro cinetiche di reazione.

5. LA RADIOLISI AD IMPULSI

La tecnica della radiolisi a impulsi è stata messa a punto quasi contemporaneamente in tre Laboratori nel 1960 [27-29] ed è stata successivamente sviluppata in numerosi centri di Radiobiologia e Chimica delle Radiazioni. Questa tecnica ha interessato dapprima gli studiosi di Chimica delle Radiazioni per il fatto che fornisce loro la possibilità di seguire i processi chimico-fisici immedia-

tamente dopo l'assorbimento delle radiazioni ionizzanti da parte della materia, processi che precedono le reazioni chimiche successive e gli eventuali danni biologici. Tali processi primari avvengono in una scala tempo dell'ordine del microsecondo fino al picosecondo. Con questa tecnica si sono potuti così interpretare molti meccanismi in Chimica delle Radiazioni chiarendo il cammino del processo dall'atto iniziale dell'assorbimento dell'energia radiante fino alla formazione dei prodotti finali, completando le informazioni che si possono invece ottenere da semplici esperimenti in stato stazionario. In quest'ultimo caso, infatti, la durata dell'irradiazione è troppo lunga rispetto alla vita degli intermedi formati cosicché la loro concentrazione all'equilibrio è assai bassa.

Successivamente, la radiolisi a impulsi, nonostante l'alto costo degli acceleratori, ha trovato, come tecnica di perturbazione rapida, numerose applicazioni in Chimica e Biologia. In particolare essa è stata ed è applicata allo studio di cinetiche di reazioni veloci, di proprietà di specie transienti a vita breve, fino allora sconosciute (radicali liberi, specie cariche e stati eccitati), di meccanismi di ossidoriduzione in Chimica Inorganica ed Organica e in Biochimica, di strutture molecolari, di trasferimenti di energia e di alcuni problemi radiobiologici. In sintesi, nella radiolisi a impulsi, si usa un breve e intenso impulso di radiazioni, di solito elettroni provenienti da un acceleratore, che generano nel sistema specie transienti a vita breve, ed a concentrazione elevata da poter essere osservate e studiate con metodi di rilevamento sensibili e veloci. Qualsiasi proprietà fisica o chimica della specie iniziale o di quelle prodotte può essere eventualmente utilizzata a tale scopo, per esempio lo spettro di assorbimento ottico, l'emissione di luminescenza, il paramagnetismo, la conducibilità elettrica e il comportamento polarografico. La tecnica che fa uso dello spettro di assorbimento (spettrofotometria cinetica di assorbimento) è, certamente la più usata per la maggiore semplicità, versatilità e sensibilità e può essere considerata l'analoga ad alta energia della fotolisi a lampo [30]. Essa usa una sorgente di luce continua che, dopo collimazione attraverso la cella, entra in un sistema monocromatore/fotomoltiplicatore/oscilloscopio e misura assorbimenti di luce in funzione del tempo a lunghezza d'onda costante. L'apparecchio è mostrato schematicamente nella fig. 2. Con questo metodo, variando la lunghezza d'onda, si possono ottenere gli spettri di assorbimento transiente e, dall'analisi delle tracce oscillografiche si possono studiare le cinetiche di formazione, decadimento e di reazione delle specie prodotte.

Anche se la radiolisi a impulsi ha trovato numerose applicazioni in sistemi di gas, di liquidi puri e di solidi, la maggior parte delle ricerche riguarda l'acqua e le soluzioni acquose.

Con la radiolisi ad impulsi è stato confermato che l'assorbimento di radiazioni ionizzanti da parte di un sistema che consiste di acqua porta agli effetti mostrati schematicamente nell'equazione (1) della Fig. 3.

Oltre alle specie ioniche dell'acqua, OH^- ed H_3O^+ , e alle due specie mole-

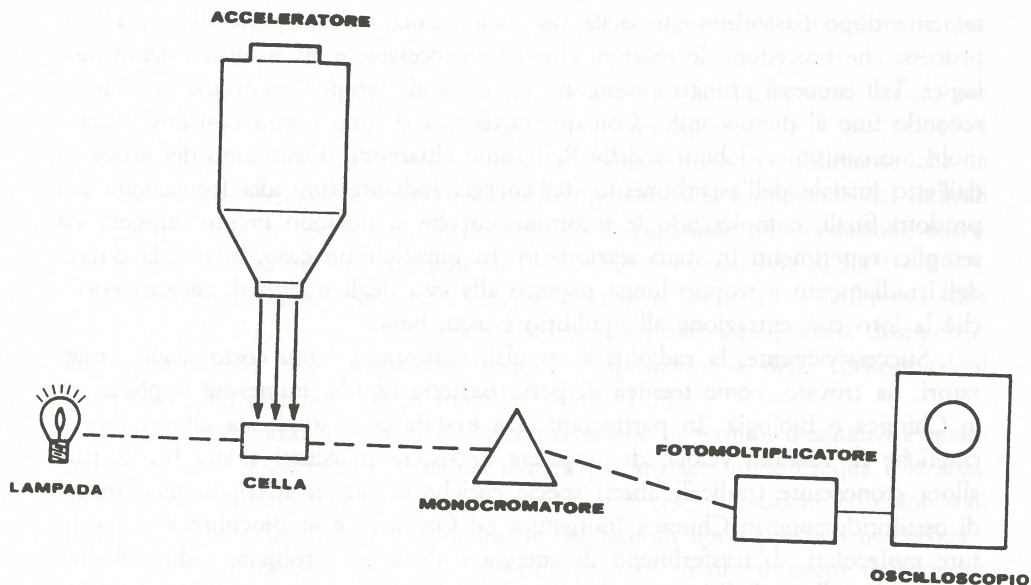
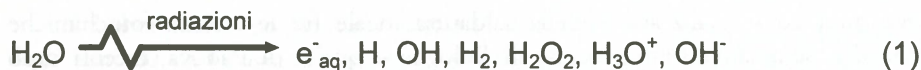


Fig. 2 - Schema a blocchi di un impianto per Radiolisi ad Impulsi.

colari, H_2 e H_2O_2 , sono prodotte tre specie radicaliche e_{aq}^- , OH ed H. In acqua a pH neutro le quantità iniziali di OH ed e_{aq}^- sono circa uguali, mentre gli atomi di idrogeno sono prodotti con resa più bassa, circa il 20%. Il risultato è una grande variazione transiente nella proprietà redox dell'acqua dovuta alla simultanea formazione di forti agenti ossidanti, come il radicale ossidrilico e riducenti, come l'elettrone idratato e l'atomo di idrogeno. La reazione di ossidazione e di riduzione con il soluto possono essere osservate separatamente usando adatti intrappolatori di radicali. Le reazioni mostrate nella parte inferiore della figura 1 illustrano alcuni metodi semplici per la conversione di un tipo di radicale in un altro. Per esempio si usa saturare la soluzione con N_2O (reazione (2)) per convertire stechiometricamente gli elettroni idratati in radicali OH e trovarsi praticamente in condizioni ossidanti, se si eccettua un 10% di atomi di idrogeno. I radicali OH possono essere rimossi del tutto mediante la reazione (3) che viene spesso usata per ottenere condizioni riducenti. Il radicale derivato dal *terz*-butanolo risulta essere poco reattivo.

Dei tre radicali primari dell'acqua e_{aq}^- è unico nel possedere una intensa banda di assorbimento attorno a 720 nm e può così essere osservato direttamente. L'evidenza sperimentale dell'esistenza dell' e_{aq}^- è stata data nel 1962 da Hart e Boag [31-32] da misure spettroscopiche e di conducibilità usando la tecnica della radiolisi a impulsi, anche se la sua esistenza era stata prevista, su basi teoriche, una decina d'anni prima da Platzmann [33].



$$[e^-_{\text{aq}}] \cong [\text{OH}] \cong 5 [\text{H}]$$

REAZIONI DI CONVERSIONE

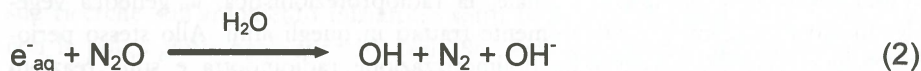


Fig. 3 - Radiolisi dell'acqua a pH 7.

L'elettrone espulso da una molecola ionizzata, dopo che è stato rallentato alle energie termiche, impone, nel processo di solvatazione, una polarizzazione radiale alle molecole del solvente polare creando una buca di potenziale positivo. La scoperta dell'intenso assorbimento dovuto all'elettrone idratato non solo ha confermato l'esistenza di questa importante specie riducente formata in soluzione acquosa, ma ha fornito anche un metodo di studio di numerose reazioni di cattura e di trasferimento elettronico [25-26].

6. LA CHIMICA DELLE RADIAZIONI IN ITALIA

Le prime osservazioni sugli effetti della luce e sulla luminescenza del fosforo furono fatte da G.B. Beccari che, per primo in Italia, occupò una cattedra di Chimica a Bologna nel 1737 [34-35]. Sempre a Bologna nei primi anni del 900 furono studiati da G. Ciamician gli effetti della radiazione solare e furono poste le basi della moderna Fotochimica [36]. L'attività bolognese nel campo della Fotochimica riprese con G.B. Bonino [37] e fu poi sviluppata dai suoi allievi.

Attività di tipo fotochimico fu condotta a Padova negli anni 30 da A. Mioti, e successivamente da G. Semerano che sviluppò poi in modo articolato anche attraverso suoi allievi, importanti capitoli della Fotochimica e della Fotografia Scientifica [37]. Con il trasferimento di Semerano da Padova a Bologna

negli anni 60 si realizzava «quella saldatura ideale fra le attività fotochimiche delle due sedi universitarie, quella di Bologna e quella di Padova, facenti capo ai due Maestri: Giacomo Ciamician ed Arturo Miolati, entrambi allievi a Roma del grande Stanislaw Cannizzaro, sia pure in diverso periodo di tempo» [37].

Studi sparsi di Chimica delle Radiazioni e soprattutto di Radiobiologia furono condotti in Italia fin dagli anni 30, ma il settore scientifico ebbe una sua organizzazione in questo campo alla fine degli anni 50 soprattutto nell'ambito del nascente Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare (CNEN ora ENEA): la radiobiologia cellulare, quella animale, la radioprotezionistica, la genetica vegetale furono gli argomenti maggiormente trattati in quegli anni. Allo stesso periodo risalgono i primi lavori sulla polimerizzazione radioindotta e sulle reazioni elementari di possibili intermedi di radiolisi in fase gassosa [38-40].

Attorno agli anni 60 vennero istituiti anche i primi corsi Universitari di Chimica delle Radiazioni (Padova, Bologna) nonché le prime Scuole di specializzazione (Milano, Padova).

Il 20 e 21 settembre 1965 fu tenuto a Roma, col titolo «Simposio Nazionale di Chimica delle Radiazioni e di Chimica Nucleare» il primo Convegno Italiano promosso dal Comitato Nazionale delle Scienze Chimiche del C.N.R. su questa materia [41]. Il 30 e 31 marzo 1967 fu organizzato il secondo Convegno del C.N.R. sullo stato di avanzamento delle ricerche italiane nel campo della Chimica delle Radiazioni e dei Radioelementi [42].

A questi Convegni, in particolare al secondo, parteciparono tutti i gruppi di ricerca operanti nel settore, Università, Politecnici, CNR, CNEN, EURATOM, Sorin ed altri laboratori industriali.

In quelle occasioni si notò come il settore della Chimica delle Radiazioni e le relative applicazioni industriali fosse coltivato con successo in alcune Università, come Bologna, Roma, Padova, Genova, Pavia, Torino (in alcune delle quali erano stati attivati Centri di studio del CNR), al Centro «E. Fermi» del Politecnico di Milano ed al Laboratorio F. Giordani del CNEN di Frascati.

In particolare era attivo in questo campo il Centro Nazionale della Chimica delle Radiazioni e dei Radioelementi del CNR, articolato nelle tre Sezioni di Roma (presso l'Istituto di Chimica Farmaceutica), di Padova (presso l'Istituto di Chimica Generale ed Inorganica) e di Bologna (presso l'Istituto Chimico G. Ciamician).

All'interno di questi gruppi misti CNR/Università esisteva una certa commistione di studi nel campo della Chimica delle Radiazioni e dei Radioelementi con una preponderanza dei secondi forse per la genesi stessa del Centro formato inizialmente da gruppi maggiormente esperti in radiochimica.

Il CNR (Presidente V. Caglioti) attraverso il Comitato Nazionale per le Scienze Chimiche (Presidente G.B. Bonino, Segretario A. Breccia) ritenne opportuno razionalizzare questa situazione creando nel 1968 tre Laboratori autonomi (successivamente denominati Istituti), uno di Chimica Nucleare a Roma, uno di Chimica dei Radioelementi a Padova ed uno di Fotochimica e Radiazioni di Alta Energia (FRAE) a Bologna.

Il Laboratorio (poi Istituto) F.R.A.E. del CNR fu voluto e preparato fin dagli anni 60 da Giovanni Semerano che ne fu anche il primo Direttore.

Il Semerano, molto attivo fin dagli anni 30 non solo nel campo della Elettrochimica ma in altri settori della Chimica Fisica (dalla Spettroscopia Molecolare alla Termodinamica ed alla Cinetica Chimica, dalla Fotochimica alla Chimica delle Interfasi) aveva iniziato negli anni 60 a lavorare sia a Padova che a Bologna a progetti nel settore della Radiochimica e della Chimica delle Radiazioni [43].

Il suo interesse per i radicali liberi e gli stati eccitati era di vecchia data e sue ricerche sull'argomento iniziarono sotto la guida del Maestro Arturo Miolati con la polarografia negli anni 30. Nel 1965 egli organizzò a Padova il Congresso Internazionale sui Radicali Liberi. Fu in quell'occasione che incontrò J.H. Baxendale (chiamato familiarmente Bax da colleghi ed amici) dell'Università di Manchester, uno dei massimi esperti nel campo della Chimica delle Radiazioni e sicuramente da tale incontro nacque una profonda amicizia ed una fattiva collaborazione assai utile per il nascente Laboratorio FRAE. Baxendale fu il primo Presidente del Consiglio Scientifico del Laboratorio FRAE e rimase membro del Consiglio per 13 anni fino alla sua morte [44-45].

Il Laboratorio (poi Istituto) FRAE è stato il centro di riferimento nazionale nel campo della Chimica delle Radiazioni in Italia e l'attività si è sviluppata in questi anni in ricerche di base orientate e finalizzate in diverse branche della chimica, anche nell'ambito di progetti finalizzati e strategici e/o con collaborazioni esterne. L'attività scientifica, oltre ad avere un alto interesse per il progresso delle conoscenze teoriche della Chimica delle Radiazioni, è direttamente collegata a problemi applicativi di grande portata quali la messa a punto di nuovi materiali polimerici con particolari caratteristiche, la conversione dell'energia mediante nuovi sistemi catalitici, la radiobiologia e la radioterapia dei tumori [46]. Per compiere tali ricerche vengono utilizzate tecniche convenzionali e d'avanguardia, in particolare acceleratori pulsati di elettroni, accoppiati a sistemi elettronici di rilevamento ed analisi che permettono di studiare fenomeni fisici e chimici che avvengono in tempi brevi, dell'ordine del nanosecondo.

7. PROSPETTIVE ED ORIENTAMENTI DELLE RICERCHE IN CHIMICA DELLE RADIAZIONI

In conclusione vengono indicate le attuali prospettive e gli orientamenti delle ricerche nel campo della Chimica delle Radiazioni:

I. *Processi fisici e chimici primari nella interazione delle radiazioni con la materia.* Queste ricerche sono dirette alla comprensione teorica dei processi primari e secondari nei sistemi irradiati. Molti aspetti sono ora ben esplorati ed i problemi centrali ben definiti, anche se non completamente risolti. Questo rimane ancora un campo di profondo interesse accademico.

II(a). *Danno da radiazioni di natura chimica e fisica.* Questo tipo di studi è di tipo empirico ma può anche presentare contenuti e valori di interesse teorico. La ricerca può essere identificata con problemi pratici nello sviluppo dei programmi sull'energia nucleare. A causa della crisi in questo settore, questo tipo di ricerca appare aver perso interesse ai giorni nostri.

II(b). *Danno da radiazioni di natura biologica.* Anche questo tipo di studi è di tipo empirico con possibili interessi teorici. Essi sono diretti ed associati a studi di radiobiologia e di radioterapia dei tumori e possono portare un contributo alla comprensione della carcinogenesi radioindotta.

III(a). *Studi di reazioni veloci di specie transienti di importanza in Chimica Inorganica, Organica e Biologica.* Queste ricerche implicano l'applicazione della radiolisi ad impulsi come tecnica di perturbazione rapida per lo studio della reattività chimica di specie transienti anche sconosciute che possono essere prodotte convenientemente con le radiazioni ionizzanti a concentrazioni elevate.

III(b). *Studi di proprietà fisiche di specie transienti e stabili opportunamente prodotte dalle radiazioni.* Queste ricerche implicano l'uso delle radiazioni come un mezzo per esplorare le proprietà spettroscopiche, cinetiche ed altre (ad es. equilibri) di specie di interesse nel campo della Chimica Inorganica, Organica e Biologica.

Questi due punti mostrano come l'impiego di radiazioni così energetiche possa diventare uno strumento indispensabile per delicate indagini di tipo chimico fisico.

IV. *Applicazioni chimiche e tecnologiche delle radiazioni ionizzanti.* Quest'area di studio, con l'eccezione delle modificazioni polimeriche e della conservazione degli alimenti, aveva avuto in passato una prognosi pessimistica da un punto di vista tecnologico ed economico. Attualmente gli studi di base hanno portato all'utilizzo delle radiazioni, in sostituzione di tecniche tradizionali basate su processi chimici e termici, in alcuni settori della tecnologia dei materiali, ad es. dispositivi di potenza a semiconduttori, materiali termorestringenti, inquinanti chimici, fanghi industriali, prodotti medicali e presidi medico-chirurgici.

BIBLIOGRAFIA

- [1] International Commission on Radiation Units and Measurements. Radiation Quantities and Units, ICRU Report 33, 4, Washington, D.C. (1980).
- [2] International Commission on Radiological Protection. Report of the Task Group on Reference Man. ICRP Publication 23, 327, Pergamon Press, Oxford, (1975).
- [3] M. AGENO. Le Radiazioni ed i loro Effetti, P. Boringhieri, Torino (1962).
- [4] F. GIESEL. Über Radium und Radioaktive Stoffe, Ber. Deutsch. Chem. Ges. 35, 3608 (1902).
- [5] W. RAMSAY. The Chemical Action of Radium Emanation Part I. Distilled Water. J. Chem. Soc. 91, 931 (1907).
- [6] A.T. CAMERON, W. RAMSAY. The Chemical Action of Radium Emanation. Part. III, On Water and Certain Gases. J. Chem. Soc. 92, 966 (1908).
- [7] A. DEBIERNE. Sur la Decomposition de l'Eau par les Sels de Radium. C.R. Acad. Sci., Paris 148, 703 (1909).
- [8] I.W.T. SPINKS, R.I. WOODS. An Introduction to Radiation Chemistry. Wiley, New York, 1964.
- [9] S.G. LIND, C.J. HOCHANADEL, J.A. GHORMLEY. Radiation Chemistry of Gases. Chapman and Hall, London (1961).
- [10] H. FRICKE, B.W. PETERSEN. Chemische, Kolloidale und Biologische Wirkung von Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge in ihren Verhältnis zur Ionization in Luft. I. Oxyhämoglobin in Wässriger Lösung. Strahlentherapie 26, 239 (1927).
- [11] H. FRICKE, S.MORSE. The Chemical Action of Roentgen Rays on Dilute Ferrous Sulfate Solutions as a Measure of Dose. Amer. J. Roentgenol. Radium Ther. 18, 430 (1927).
- [12] O.A. ALLEN. The Radiation Chemistry of Water and Aqueous Solutions. Van Nostrand, New York (1961).
- [13] A.J. SWALLOW. Radiation Chemistry of Organic Compounds. Pergamon Press, Oxford (1960).
- [14] I.H. O'DONNELL, D.F. SANGSTER. Principles of Radiation Chemistry. E. Arnold, London 1970.
- [15] I.G. DRAGANIC, Z.D. DRAGANIC. The Radiation Chemistry of Water. Academic Press, New York (1971).
- [16] H. FRICKE, E.J. HART, H.P. SMITH. Chemical Reactions of Organic Compounds with X-Rays Activated Water. J. Chem. Phys. 6, 229 (1938).
- [17] I. WEISS. Radiochemistry of Aqueous Solutions. Nature 153, 748 (1944).
- [18] M. BURTON. Radiation Chemistry. A Godfather Look at its History and its Relation to Liquids. Chem. Eng. News Feb. 10, 86 (1969).
- [19] A.O. ALLEN. Radiation Chemistry Today. J. Chem. Educ. 45, 290 (1968).
- [20] M. BURTON. Radiation Chemistry. J. Phys. Colloid. Chem. 51, 611 (1947).
- [21] A.O. ALLEN. Chemistry of Aqueous Solutions. J. Phys. Colloid. Chem. 52, 479 (1948).
- [22] Radiation Chemistry. Discuss. Faraday Soc. 12 (1952).
- [23] D.E. LEA. Action of Radiation on Living Cells. Cambridge University Press, London (1946).
- [24] A.H. SAMUEL, J.L. MAGEE. Theory of Radiation Chemistry, II. Track Effects in Radiolysis of Water. J. Chem. Phys. 21, 1080 (1953).
- [25] L.S. MATHESON, L.M. DORFMAN. Pulse Radiolysis The M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1969.
- [26] R. BADIELLO, A. BRECCIA. La Tecnica della Radiolisi ad Impulsi e sue Applicazioni in Chimica e Biologia. Chim. Ind. 57, 525 (1975).
- [27] L.S. MATHESON, L.M. DORFMAN. Detection of Short-Lived Transients in Radiation Chemistry. J. Chem. Phys. 32, 1870 (1960).

- [28] I.P. KEENE. Kinetics of Radiation-Induced Chemical Reactions. *Nature* 188, 843 (1960).
- [29] R.L. MCCARTHY, A. MACLACHLAN. Transient Benzyl Radical Reactions Produced by High-Energy Radiation. *Trans. Faraday Soc.* 56, 1187 (1960).
- [30] G. PORTER. Flash Photolysis in *Technique of Organic Chemistry*, 2nd Ed., Vol. VIII, Part 2, Interscience Publishers, New York, 1055 (1963).
- [31] E.J. HART, J.W. BOAG. Absorption Spectrum of the Hydrated Electron in Water and in Aqueous Solutions. *J. Am. Chem. Soc.* 84, 4090 (1962).
- [32] J.W. BOAG, E.J. HART. Absorption Spectra of Hydrated Electron. *Nature* 197, 45 (1963).
- [33] R.L. PLATZMAN. Physical and Chemical Aspects of Basic Mechanisms in Radiobiology. *Publ. No 305, 22, National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, D.C.* (1953).
- [34] M. ZINI. J. Bartolomeo Beccari e la Prima Cattedra di Chimica nel Contesto dell'Istituto delle Scienze. *Accademia delle Scienze, Bologna* (1987).
- [35] AA.VV. 1737-1987. Dalla Cattedra di J.B. Beccari ai Dipartimenti: 250 Anni di Chimica (a cura di A. Breccia ed A. Pasquinelli). *Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna* (1990).
- [36] G. CIAMICIAN. The Photochemistry of the Future. VIII International Congress of Applied Chemistry, New York 1912, *Science*, 36, 385 (1912).
- [37] G. SEMERANO. La Fotochimica alla Scuola del Professor Arturo Miolati. *Atti IV Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica. Venezia 7-8 novembre 1991 - Accademia Nazionale delle Scienze, dette dei XL*, 321 (1992).
- [38] G. SEMERANO. Orientamenti nell'uso industriale delle Radiazioni Ionizzanti. *Atti Ist. Veneto Sci., Lett., Arte, Tomo CXXVI*, 46 (A.A. 1967-68).
- [39] E. LAZZARINI. La Chimica delle Radiazioni. *Chim. Ind.* 55, 890 (1973).
- [40] G.E. ADAMS, A. BRECCIA, M. VENTURI, F. BUSI. La Chimica delle Radiazioni in Italia. *Rif.* 35, p. 139.
- [41] Rapporto sui Convegni del C.N.R. *Suppl. La Ricerca Scientifica* (1967).
- [42] Chimica delle Radiazioni e dei Radioelementi. *Corsi e Seminari di Chimica* (a cura del CNR e della Fondazione F. Giordani). Roma (1968).
- [43] Aquila d'Oro Award to Professor Giovanni Semerano International Symposium «New Trends in Polarography and Related Techniques». Fermo 1-5 Settembre (1986).
- [44] AA.VV. Baxendale Memorial Symposium, 23-24 Giugno 1983. Lo Scarabeo, Bologna (1983).
- [45] G. SEMERANO. John Hudson Baxendale. *Rif.* 35, p. 99.
- [46] Area della Ricerca del C.N.R. di Bologna, p. 20 (1996).

MARIAGRAZIA COSTA (*) - MARCO FONTANI (*)

PAOLO MANZELLI (*) - PATRIZIA PAPINI (*)

Storia della scoperta dell'elemento 61 ()**

History and discovery of Element 61.

Summary - The story of element 61 is so unusual that it worth telling. However this outline also wants to emphasise the enormous and valuable work carried out in the 1920s by United States and Italian chemists in an attempt to discover this element.

The element known in 1919 were 86 — from Hydrogen to Uranium — the only missing elements in the Periodic System were 43, 61, 72, 75, 85, 87.

In both the United States and Italy, scientists thought they might find Element 61 in some minerals. The research and analysis methods were similar in both teams. The discovery of Element 61 was made known by the chemists of the University of Illinois in a paper of 1926. In the meantime the Italian researchers of the University of Florence stated they had officially deposited at «Accademia dei Lincei» in Rome the result of their discovery as early as 1924.

The presence of «Illinium» or «Florentium» had been guessed on the evidence of particular X-Spectrum lines, but it had not been possible for either group to isolate the element — not even traces of it.

Artificial «Promethium» was discovered in 1945 among the products of the first nuclear fission. Finally in the 1960s tiny quantities of natural Promethium were found in some radioactive minerals.

La storia dell'elemento di numero atomico 61 è inusuale e merita un discorso particolare. Nell'ansia di arrivare alla scoperta, negli anni venti e trenta illustri chimici le rivendicarono prematuramente, e prematuramente battezzarono l'elemento come Florenzio, Illinio e Ciclonio. Solo nel 1945 si isolò l'elemento — Promezio — tra i prodotti di fissione dell'Uranio e infine, nel 1965, se ne accertò la presenza in natura.

(*) Laboratorio di Ricerca Educativa in Didattica Chimica e Scienze Integrate, Dipartimento di Chimica, Università di Firenze.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

Lo studio delle terre rare conobbe il suo apogeo durante gli anni in cui i chimici cercavano di ordinare secondo una qualche regola gli elementi chimici. Nel 1862 il francese A.E. Beguyer de Chancourtois aveva disposto gli elementi in ordine di peso atomico crescente, tracciando una specie di diagramma degli elementi stessi su un grafico cilindrico: gli elementi simili tendevano a disporsi in colonne verticali. Due anni più tardi il chimico inglese J.A.R. Newlands, dispose gli elementi conosciuti in ordine di peso crescente a formare una tavola e osservò che questa disposizione permetteva di attribuire un ordine, almeno parziale, alle proprietà degli elementi. Nel 1869 il chimico russo Dimitrij Ivanovic Mendeleev presentò alla Società Chimica Russa «Sul rapporto tra proprietà e peso atomico degli elementi» e considerò la scoperta «conseguenza diretta dell'insieme delle deduzioni tratte dai fatti sperimentali accumulati verso la fine della decade 1860-1870». Nel 1870 J.L. Meyer arrivò alle stesse conclusioni pubblicando una tavola periodica degli elementi identica a quella di Mendeleev. La tavola periodica era nata e permetteva di predire l'esistenza di elementi non ancora noti ed attribuirne le proprietà chimiche.

Così ad esempio, nel 1879 il «Didimio» cessò di essere citato come elemento singolo perché da esso il chimico francese L. de Boisboudran ne estrasse il Samario, mentre sei anni più tardi Auer von Welsbach separò dal «Didimio» altri due elementi: il Neodimio e il Praseodimio. Nel 1886 W. Crookes affermò, erroneamente, che il Nd e Pr fossero un miscuglio di più elementi tra cui anche il numero 61. Un anno più tardi Kruss e Nilson arrivarono a dire che il vecchio Didimio non conteneva tre elementi ma era da considerarsi un miscuglio di nove elementi. All'inizio di questo secolo dalle pagine dell'autorevole rivista «Nature», Boguslav Brauner (1855-1935), famoso chimico e studioso delle terre rare, annunciò di aver scoperto una frazione contenente l'elemento 61 tra i prodotti di molte cristallizzazioni frazionate sul «Didimio».

Dal 1913, con la legge di Mosley gli scienziati poterono affermare che esisteva solo un elemento mancante tra Nd e Sm. Questa scoperta avrebbe dovuto facilitare il lavoro dei chimici ed invece la serie di presunte scoperte dell'elemento 61 si infittì. Nel 1917 Eder fotografando lo spettro d'arco di preparati di Sm intravide alcune righe sconosciute che attribuì ad un nuovo elemento.

Nel 1921 Brinton e James investigando sulla solubilità dei carbonati delle terre rare intravidero la possibilità che esistesse un elemento tra il Nd e il Sm. L'anno successivo Hadding ottenne uno spettro di raggi X da un campione di fluocerite, nel quale osservò delle righe sconosciute. Nel 1924 Prandt e Grimm frazionarono molte terre ceriche e sulle 50 frazioni ottenute registrarono degli spettri «X» senza peraltro rilevare la presenza dell'elemento 61. Druce e Loring nel 1925 lo cercarono, ma senza successo, in preparati di Manganese.

L'elemento 61 fu oggetto di ricerca anche in Italia. Il contesto storico in cui si svolsero questi studi era il seguente. Novembre 1919, primo anniversario della vittoria della Grande Guerra; dopo quattro interminabili anni di lotta e un'epi-

1		2	
H	H ₀	O	
1.008	3.999		
I	V	VI	VII
L	N	O	F
6.94	14.008	16.000	19.00
10	15	16	17
11	14	P	Cl
23	28.06	32.06	35.46
	26.97	31.02	39.944

19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	C _a	S _c	Ti	V	Cr	M _n	F _e	C _o	Ni	Cu	Zn	G _a	G _o	A _s	S _e	Br	Kr
39.10	40.07	45.10	47.9	50.95	52.01	54.93	55.84	58.94	58.69	63.57	65.38	69.72	72.60	74.93	79.2	79.92	82.90
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
R _b	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ma	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	X
85.44	87.63	88.32	91.22	93.3	96.0	101.7	101.7	102.9	106.7	107.88	112.41	114.8	118.70	121.76	127.5	126.932	130.2
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Cs	Ba	T _l	Hf	Ta	W	R _e	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Em
132.84	137.36	178.6	178.6	181.4	184.0	186.31	190.8	193.1	195.2	197.2	200.6	204.39	207.22	209.0	210	222	—
87	88	89	90	91	92												
	R _a	A _c	T _h	P _a	U _r												
	225.97	232.02	232.02	238.02	238.02												

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
L _a	C _e	P _r	N _d	F _r	S _m	E _u	G _d	T _b	D _y	H _o	E _r	T _m	Y _b	L _v
138.9	140.13	140.9	144.3	150.4	150.4	152.0	157.3	159.2	162.5	163.5	167.6	169.4	173.5	175.0

* ↑

Sistema periodico degli elementi, che porta il simbolo del Florenziense, tratto dal libro di Rita Brunetti, *L'atomo e le sue radiazioni*, Ed. Zanichelli, Bologna 1934.

demia di influenza, tristemente nota come «la Spagnola», che seminerà più morti di quelli rimasti sui campi di battaglia del conflitto mondiale appena concluso, l'Europa cerca di risollevarsi. Il 1919 è l'anno della conferenza di pace di Versailles, del proibizionismo in America, di quell'America che rinnegherà la creatura voluta dal suo stesso presidente Wilson al termine del conflitto per prevenire nuovi spargimenti di sangue in futuro: la Società delle Nazioni. In Italia, lacerata da profonde tensioni sociali, la popolazione è chiamata a votare. L'Italia è l'unico paese tra le grandi nazioni vincitrici in cui le elezioni postbelliche registrano un successo dei partiti contrari alla guerra.

Erano quelli gli anni in cui la ricerca aveva sofferto la mancanza di molti scienziati, richiamati al fronte o impiegati in ricerche a scopo bellico. Lentamente le università del Regno riprendevano la loro attività di ricerca.

All'inizio dell'anno accademico 1919-1920 viene chiamato a Firenze all'Istituto di Studi Superiori il professor Rolla. Luigi Rolla, nato a Genova il 21 Maggio 1882, era stato per un lungo periodo allievo dei chimici J.H. Van't Hoff e W.H. Nernst presso l'Accademia Prussiana delle Scienze a Berlino, negli anni precedenti il primo conflitto mondiale. Egli era divenuto così uno dei primi chimici esperti anche di fisica.

Il 1° gennaio del 1921 all'età di trentanove anni è nominato per decreto regio professore ordinario di chimica inorganica a Firenze. Nello stesso periodo Giorgio Piccardi (1895-1972) ritorna dal fronte e termina brillantemente i suoi studi in chimica. Egli rimane all'università come assistente volontario.

Luigi Rolla terminata la guerra riprende i contatti coi suoi colleghi tedeschi e segue con attenzione lo sviluppo della fisica atomica; è infatti tra i primi, ed il primo in Italia, a concepire una relazione tra energia di ionizzazione e specie atomiche diverse appartenenti ad un medesimo gruppo. Con il suo assistente G. Piccardi, che è uno dei primi chimici specializzati in spettroscopia, compie degli esperimenti per misurare i potenziali di prima ionizzazione dei vari elementi, tra i quali le terre rare. Gli elementi noti nel 1919 sono 86 e vanno dall'Idrogeno all'Uranio. Nella tavola periodica ci sono sei elementi mancanti di numero atomico: 43, 61, 72, 75, 85 e 87.

I lavori di separazione e purificazione chimica degli elementi col metodo della cristallizzazione frazionata ed il controllo roentgenografico della purezza delle terre rare richiede molto tempo e impegna molto personale: al professore Rolla viene messo a disposizione tutto il primo piano dell'Istituto di Chimica di via Capponi e tre nuovi laureati Giovanni Canneri (1897-1964), Luigi Mazza ed il giovanissimo Lorenzo Fernandes (1902-1977).

Quando il lavoro di purificazione sembra terminato, dal confronto degli spettri «X» del Samario e del Neodimio, Fernandes intravede alcune righe della serie K che non sembrano appartenere a nessun elemento conosciuto. Rolla è in un primo momento scettico nell'attribuire queste righe ad un nuovo elemento: egli conosce bene la legge che Mosley postulò nel 1913 e sa che un elemento



G. Piccardi e L. Rolla (rispettivamente il primo e il secondo da sinistra) durante un convegno tenutosi a Como nel 1928.

non ancora scoperto cade tra il Nd (60) e il Sm (62). Per il momento Rolla pensa a terminare i suoi studi sul potenziale di ionizzazione degli elementi, ma ormai in lui si è insinuata l'idea della possibile scoperta dell'elemento 61.

Terminato il lavoro suddetto, nel laboratorio rimangono ancora 400g di terre ceriche provenienti dal Brasile e contenenti Gd, Ce, Nd, Sm e Pr, che erano state acquistate dalla Ditta «De Haen». Il lavoro di purificazione riparte ora alla ricerca dell'elemento 61. Fin dall'inizio i ricercatori suppongono che tale elemento possa essere contenuto nelle sabbie monazifere brasiliane in quantità così piccole da renderne impossibile l'estrazione. Campioni concentrati del presunto elemento 61 vengono analizzati ai raggi X, che rivelano alcune deboli righe sconosciute, che verranno attribuite proprio all'elemento mancante. Molto di più non è possibile fare, per confermare la scoperta occorrerebbe isolare l'elemento, ma per farlo non è sufficiente la monazite a disposizione. Nel frattempo per cautelare l'eventuale scoperta, Rolla invia all'Accademia dei Lincei (giugno 1924) un plico suggellato contenente i suoi risultati, dove compare per la prima volta al mondo il nome da attribuire all'elemento di numero atomico 61: Florenzio in onore alla città di Firenze e Florentium come grafia scientifica. Il simbolo proposto all'epoca fu Fr.

In quegli anni, nel mondo scientifico, si pensava che il problema dell'isolamento del Florenzio consistesse solo nel reperire una grande quantità di monazite e nel condurre un numero sufficientemente grande di cristallizzazioni frazionate analogamente a quanto era accaduto, nel 1923, per l'isolamento dell'elemento 72 (Afnio, l'antico nome latino di Copenaghen) da parte di G. von Hevesy e Dirk Costner.

Alla vicenda del Florenzio si appassionò un industriale genovese, Felice Bensa, che donò all'Università di Firenze un milione di lire (circa due miliardi di lire attuali) per comprare gli strumenti necessari all'isolamento dell'elemento e una quantità sufficiente di sabbie monazifere. Fu fatta arrivare a Firenze una grande quantità di monazite brasiliana, dalla quale fu estratta una tonnellata di «Didimio» impuro (miscuglio di più elementi delle terre rare contenenti Nd, Pr, e Sm); su questo materiale, nel tardo autunno del 1925 iniziarono i lavori per l'isolamento dell'elemento mancante che si trova tra il Nd e il Sm. Il primo piano del laboratorio di Chimica di via Capponi assunse la fisionomia di un laboratorio industriale tanto era il materiale che veniva trattato.

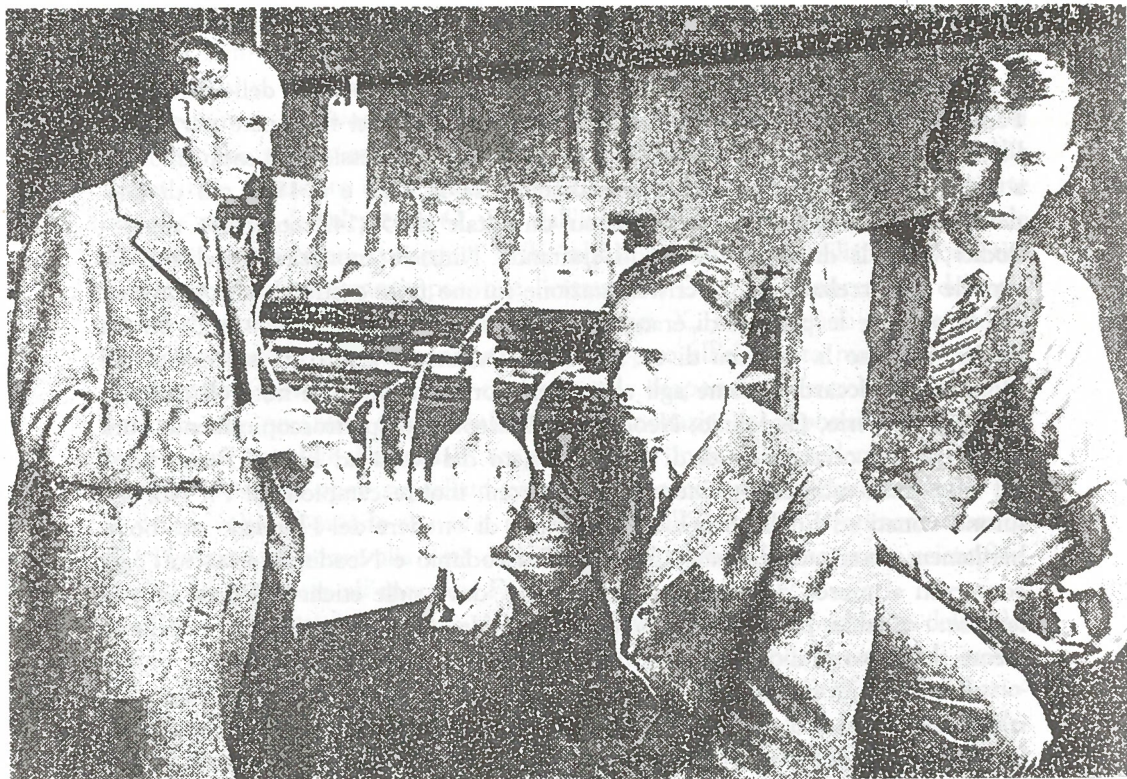
Purtroppo i lavori che dovevano concentrare il Florenzio non furono alieni da grandi difficoltà: molti dei tecnici di laboratorio furono colpiti da strani malori e si dovette lamentare un decesso. Più tardi si scoprì che la causa di ciò era dovuta all'abbondante uso di bromati nelle cristallizzazioni frazionate, che per riscaldamento davano luogo a bromo elementare. Per successive cristallizzazioni frazionate delle terre ceriche furono ottenuti molti elementi delle terre rare di purezza mai raggiunta prima; il controllo spettroscopico e fotometrico era effettuato dopo ciascuna separazione personalmente da Giorgio Piccardi sia per

verificare la purezza della frazione stessa, sia per vedere in quali frazioni potesse concentrarsi il Fr.

Quando il chimico G. Urbain nel 1907 riferì, all'Accademia delle Scienze di Parigi, di aver compiuto circa quindicimila cristallizzazioni frazionate per isolare l'elemento 71, il Lutezio, l'assemblea rimase molto impressionata; sappiamo che a Firenze, il Piccardi realizzò personalmente tra il 1925 e il 1942 più di quarantamila cristallizzazioni frazionate su un totale di 56,142 compiute sopra i dodici quintali di ossalati ottenuti trattando l'iniziale monazite brasiliana. Le capsule di porcellana per la cristallizzazione furono fatte costruire appositamente per lo scopo e le più grandi erano del diametro di un metro, mentre gli imbuti bukner avevano la capacità di ca. 5'000 cc. Durante il lavoro di isolamento del Florenzio il Piccardi assieme agli altri ricercatori potè ottenere notevoli quantità di Samario, Cerio, Gadolinio, Neodimio e Praseodimio spettroscopicamente puri. Più tardi una certa quantità di Gd fu donato dal Rolla ad Enrico Fermi per i suoi studi sulla radioattività indotta da neutroni; inoltre campioni di Pr, Nd, Sm furono donati ad Emilio Segrè, il quale tentò di ottenere del Florenzio per bombardamento con parcelle alfa. Ossidi di Praseodimio e Neodimio sono tutt'oggi conservati al museo degli elementi di Londra, dove sulle etichette si può ancora leggere: «Ossido di Praseodimio esente da Neodimio e ossido di Neodimio esente da Praseodimio; Regio Istituto di Studi Superiori di Firenze».

Poiché il professor Rolla e i suoi assistenti non riuscirono, dopo tante cristallizzazioni, ad isolare il Florenzio dal campione arricchito, Rolla decise di inviare il materiale ad Arcetri dove si trovava la prof.ssa Rita Brunetti per un ulteriore studio; infatti Luigi Rolla definisce, nel suo libro «Le Terre Rare», il Florenzio come l'elemento più raro tra tutti gli elementi. La Brunetti prima della Grande Guerra era venuta a Firenze come aiuto del fisico A. Garbasso. Quando quest'ultimo fu richiamato al fronte la Brunetti aveva assunto oltre al compito dell'insegnamento della fisica, quello di mandare avanti il lavoro scientifico. Il 1° Gennaio 1927 la Brunetti era divenuta la prima donna in Italia ad occupare una cattedra di fisica.

Luigi Rolla sperava che la Brunetti, essendo una spettroscopista, fosse in grado di sciogliere il dilemma dell'esistenza del presunto Florenzio nei campioni da lui inviati. Come prova dell'esistenza del nuovo elemento fu portata l'intensità delle righe: l'intensità delle righe ottenute dalla Brunetti non era debole come in quelle registrate due anni prima e, prova ancor più convincente, aumentava nelle frazioni di coda del Sm, quelle contrassegnate dai numeri 2677 e 2682, che avrebbero dovuto arricchirsi in Florenzio. La Brunetti non si limitò ad un esame roentgenografico di emissione ma eseguì anche uno studio delle discontinuità dell'assorbimento dei raggi X. Era la prima volta che questo metodo veniva utilizzato per ricerche di elementi mancanti nel sistema periodico. I risultati anche in questo caso furono ritenuti positivi. Poco prima che Rolla pubblicasse i risultati parziali della separazione e concentrazione del Florenzio,



Da sinistra a destra: J.A. Harris, L.F. Yntema e B.S. Hopkins nel laboratorio dell'Università dell'Illinois nel 1926.

indicando il nuovo metodo di cristallizzazione frazionata basato sui nitrati doppi di Tallio, i chimici statunitensi B.S. Hopkins (1873-1952), L.F. Yntema (1892-1976) e J.A. Harris (n. 1901) annunciavano la scoperta dell'elemento 61.

Il 7 Marzo 1926 il professor Hopkins annunciò la scoperta dell'elemento 61 e propose come nome «Illinium — metal of the Illini», cioè Illinio, in onore all'Università e allo stato dell'Illinois. La scoperta dell'Illinio era la naturale conseguenza dei sei anni di minuziosa investigazione del professor Hopkins sugli elementi delle terre rare.

Il lavoro che portò alla scoperta dell'Illinio iniziò nel 1920 quando il «Bureau of Standards» di Washington mandò al professor Hopkins alcuni campioni di minerali contenenti terre rare allo scopo di identificare e catalogare le righe dello spettro d'arco degli elementi in essi contenuti.

Lo studio di campioni purissimi di Nd (60) e Sm (62) evidenziò la comune presenza di righe sconosciute, che furono attribuite all'elemento 61.

L.F. Yntema analizzò queste frazioni mentre si trovava a Yale a completare il suo dottorato di ricerca. Utilizzando l'analisi di diffrazione a raggi X esclude la presenza di un nuovo elemento in quei preparati. Il professor Hopkins e suo il giovane assistente Harris, continuarono tuttavia il frazionamento della monazite con il metodo dei bromati. Al termine di questo lavoro apparvero delle bande sconosciute nello spettro di assorbimento. Furono rianalizzate le frazioni per mezzo di raggi X e questa volta la presenza dell'elemento 61 in quei campioni fu confermata. Questa prudenza, disse il professor Hopkins, costò molto lavoro aggiuntivo e l'annuncio della scoperta fu ritardato di tre anni.

La notizia della scoperta dell'elemento 61 assunse presto grande interesse negli ambienti accademici in tutti Stati Uniti, essendo l'Illinio il primo elemento scoperto in America. Ben presto la notizia ricevette l'attenzione della stampa, molte prime pagine di giornali vi furono dedicate e l'eco della scoperta arrivò fino in Europa.

Luigi Rolla fu sorpreso dall'annuncio di quella scoperta. Egli si mostrò ben intenzionato a rivendicare ciò che, secondo lui, gli spettava e mandò un lettera alla rivista «Nature» nella quale rivendicò la priorità della sua scoperta, facendo notare che il nome Florenzio fosse stato citato ben 18 mesi prima che l'Illinio vedesse la luce. Quella che seguì fu una lunga diatriba accademica mirante a stabilire a chi dovesse andare la palma del vincitore. Attribuire un simile riconoscimento all'uno o all'altro dei gruppi di ricerca non era facile, considerando che il prestigio in gioco non era solo dei singoli scienziati o delle rispettive università, ma che nessuno nei due paesi, Italia e USA, prima di allora aveva scoperto un elemento.

Il 1926 fu un anno in cui i rapporti tra Italia e Stati Uniti erano particolarmente tesi in un contesto di rinnovato egoismo nazionalistico. In un clima xenofobo due anarchici italiani, Sacco e Vanzetti erano in attesa di essere giustiziati; inoltre il 29 Maggio dello stesso anno l'esploratore polare R.E. Byrd aveva sostenuto di aver raggiunto per primo il Polo Nord, (mentre la spedizione italiana di U. Nobile si era tragicamente conclusa). Allo stesso tempo il presidente Calvin Coolidge governava gli Stati Uniti degli «anni ruggenti» con semplicità e adamantina onestà da ricordare ai suoi connazionali le virtù dei loro padri pionieri. L'Italia si avviava a trascorrere gli anni della dittatura fascista, la quale alimentava il mito della supremazia italiana in ogni campo e ad ogni costo.

Pare perfettamente in sintonia coi tempi lo sfogo del Rolla, il quale si scagliò senza mezzi termini contro i suoi colleghi oltreoceano. Rolla sapeva benissimo che tutto questo non sarebbe bastato e per salvare la sua scoperta avrebbe dovuto per primo isolare il nuovo elemento. Il lavoro si protrasse fino agli inizi degli anni '40, quando ormai apparve chiaro al Rolla come ai chimici Americani che il Florenzio non si poteva estrarre dai minerali perché, forse era contenuto in quantità troppo esigue.

Negli ultimi anni di permanenza a Firenze il Rolla osservava dei grossi cambiamenti nei mezzi chimici e fisici. Gli esperimenti si complicavano, nascevano i primi acceleratori; l'epoca in cui era nata la presunta scoperta dell'elemento 61,

tra le mura delle ex stalle Granducali (sede dell'Istituto Chimico) era volta al termine, e la ricerca si era spostata inesorabilmente altrove. Nel 1938 all'Università dell'Ohio, Lawrence Quill, un vecchio allievo del professor Hopkins e successivamente suo collega ed amico, bombardò una targhetta di Sm con protoni di 5 Mev e deutoni di 10 Mev e scoprì in modo non del tutto convincente due isotopi dell'elemento 61 che ribattezzò Ciclonio (simbolo Cy), per il fatto che questo elemento era stato sintetizzato ricorrendo all'uso del ciclotrone. Campioni di Pr, Nd e Sm furono donati dal Rolla al Segrè perché compisse gli stessi esperimenti. Anche in questo caso i risultati non furono chiarificatori e lo scopritore del Tc, prudentissimo, si limitò a riportare la vita media di ca. 100 giorni di un isotopo dell'elemento 61, senza menzionare il nome di Florenzio. Infine, nel 1942 Rolla e Piccardi esclusero la presenza dell'elemento 61 nelle loro preparazioni neodimio-samarifere, in accordo con le previsioni della statistica isotopica.

Per quanto riguarda il filone principale delle sue indagini, e cioè l'identificazione e l'isolamento del «misterioso» elemento 61, Rolla come Mosé giunse in vista della terra promessa senza potervi entrare. La chimica classica non poteva ottenere il risultato fondamentale e cioè isolare l'elemento in apprezzabili quantità e spiegarne così gli spettri.

Rolla fece ancora in tempo a sapere della sintesi per fissione dell'elemento che prenderà il nome di Promezio, ma gli mancò la soddisfazione di venire a conoscenza dell'esistenza del Promezio naturale nell'apatite ad opera di Erämetsä nel 1965, e nella pechblenda per opera di Kuroda nel 1968. Infatti Luigi Rolla si era spento l'8 Novembre 1960, nella sua città natale dove si era ritirato nel 1935, amareggiato dalla mancata scoperta del Florenzio e dalla polemica che ne seguì. Il processo di fissione spontanea dell'Uranio-238, produce circa il 3% di Promezio, il cui isotopo più stabile ha una vita media di 18 anni.

Anche i risultati di Hopkins, come era accaduto per quelli del Rolla, erano stati confutati.

Ritornando alla scoperta dell'elemento 61, è noto che attraverso lo sviluppo della cromatografia a scambio ionico applicata ai radioisotopi, Ch. Coryell (1912-1971), L. Glendenin (n. 1918) e J. Marinsky (n. 1918) riuscirono a separare due isotopi radioattivi di massa 147 e 149 di un nuovo elemento tra i prodotti di fissione dell'Uranio-235 (progetto Manhattan).

Alla fine l'elemento 61 dopo aver cambiato il nome da Florenzio a Illinio a Ciclonio si sarebbe chiamato, Promezio (Pm). Il Promezio artificiale fu scoperto nel 1945, ma solo nel 1947 apparve la prima pubblicazione. Nel Giugno del 1948 i partecipanti al simposio della «American Chemical Society» tenuto a Syracuse, N.Y. furono i primi a vedere i composti di Promezio sintetizzato artificialmente: giallo il cloruro, rosa il nitrato, ciascuno di peso 3 mg. Il Promezio ha due date di scoperta: la prima riguarda il suo isolamento tra i prodotti di fissione dell'uranio che avvenne nel 1945; la seconda è la data della sua scoperta in natura nel 1965.

I chimici fiorentini intravidero delle righe sconosciute nei loro spettri; non

riuscendo però ad estrarre l'elemento con i mezzi chimici a loro disposizione, non poterono giustificare l'esistenza dell'elemento 61 o Florenzio. La ritrattazione che seguì fu un coraggioso atto di coerenza da parte degli scienziati. Oggi sappiamo che esiste il Promezio naturale in modestissime tracce nella gadolinite, nell'apatite e nella pechblenda. Noi ipotizziamo che i campioni analizzati a Firenze ed in America potessero contenere tracce minime di questo elemento. Purtroppo però negli anni venti le tecniche non erano risolutive come quelle che hanno permesso successivamente il ritrovamento del Pm in natura.

Il discepolo del Rolla, poi suo successore a Firenze, il fiorentino Giorgio Piccardi, aveva impiegato molti anni della sua attività di ricerca sulle terre rare e sulle cristallizzazioni frazionate alla ricerca del Florenzio; egli era un uomo di eccezionale onestà intellettuale e, quando i suoi allievi gli chiedevano cosa pensasse di tutto il lavoro fatto per la ricerca del Florenzio, cortesemente rispondeva:

«Cari ragazzi, il grande Poincaré definì la scienza il cimitero delle ipotesi, se in esso vi sarà sepolta anche la mia, ne sarò onorato».

In radiochimica alcuni isotopi di elementi radioattivi hanno un simbolo e nome proprio (mentre in chimica il simbolo e il nome è comune a tutti gli isotopi di uno stesso elemento).

A nostro parere sarebbe doveroso che a ricordo di questo immane lavoro, portato avanti per decenni, tre isotopi dell'elemento 61, Promezio, portassero il nome di Florenzio, Illinio, Ciclonio e come simboli rispettivamente Fz, Il, Cy.

Desideriamo ringraziare le Signore M.J. Busey Yntema (novantanovenne moglie di Leonard Francis Yntema), M.K. Yntema (figlia di questi ultimi), Anna Piccardi (figlia di Giorgio Piccardi) e i professori Michele Della Corte e Franco Rasetti per il materiale gentilmente messoci a disposizione. Ringraziamo inoltre tutte quelle persone che ci hanno fornito preziose notizie per la stesura di questo articolo.

BIBLIOGRAFIA

- Illinois Alumni News*, N° 7, vol. 4, 241 Aprile 1926.
HOPKINS B.S., HARRIS J.A., YNTEMA L.F, *Nature*, 117, 792, 1926.
HOPKINS B.S., HARRIS J.A., YNTEMA L.F, *Science*, 63, 575, 1926.
HOPKINS B.S., HARRIS J.A., YNTEMA L.F, *J. Am. Chem. Soc.*, 48, 1585, 1926.
HOPKINS B.S., HARRIS J.A., YNTEMA L.F, *J. Am. Chem. Soc.*, 48, 1594, 1926.
B. BRAUNER, relazione presentata nel 1902 all'Accademia Boema e all'Associazione Scientifica Russa — [riportata in *Nature*, 118, 84, 1926].
ROLLA LUIGI, «Un nuovo elemento: il Florenzio», *Atti Soc. It. Progresso Sci.*, discorso a classi riunite, riun. 15, 58-62, 1926.
ROLLA L., FERNANDES L., *Gazz. Chim. It.*, 56, VII, 688, 1926.
ROLLA L., *Nature*, 119, 637, 1927.

- ROLLA L., FERNANDES L., *Gazz. Chim. It.*, LVII, Fasc. IX, 704, 1927.
BRUNETTI R., *Gazz. Chim. It.*, anno LVII, Fasc. V, 335, 1927.
ROLLA LUIGI, FERNANDES LORENZO, «*Le Terre Rare*», Ed. Zanichelli Bologna, 1929.
PICCARDI G., *Atti Soc. It. Progresso Sci.*, XXI riunione, vol. II, 1932.
ROLLA L., *La Ricerca scientifica*, anno IV, vol. II, N. 7-8, 1933.
ROLLA L., PICCARDI G., GATTERER, JUNKES, *Pont. Acad. Scientiarum*, 1942.
MARINSKY J.A., GLENDENIN L.E., CORYELL CH.D., *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 69, 2781, 1947.
ERÄMETSÄ O., *Acta Polytech. Scand. Chem. Mat. Sci.*, 37, 21, 1965.
TRIMBLE R.E., *J. Chem. Educ.*, 52, 9, 585 1975.
TRIFONOV N., TRIFONOV V.D., «*Chemical Elements, how they were discovered*». MIR Publishers, Moscow, 1982.

EUGENIO MARIANI (*)

Le industrie dello Stato Pontificio ()**

Summary - The interest for development of the industrial activities in the Pope State is a controversial question. A deep analysis of documents of papal archives proves that, since the second half of the 14th century, great interest was addressed to the production of consumer goods. In a special way a lot of attention was paid to goods concerning the minimal activities, as iron alum, vitriol, sulfide, and equally as paper, gun-powder, vegetable colors, textile fibers, soap.

The Popes tried to do develop and strengthen with different enterprises these industrial activities. They created factories and the management of these was given to a third party. Incentives of various nature in favor of production as well as of the producers were permitted by a special legislation and finally a fight was carried out against the smuggling and the fiscal evasion.

Il titolo di questo intervento può sembrare un po' fuori posto tenendo conto che negli scritti di molti si afferma che nello Stato Pontificio le industrie non c'erano, o erano state trascurate o lasciate all'iniziativa di pochi volenterosi o di persone votate all'insuccesso; quelle che meritavano una considerazione si potevano contare sulle dita di una mano, sostenendo che l'interesse dei Pontefici era rivolto all'agricoltura e in particolare alla coltivazione del grano e criticando anche fortemente le opere di bonifica delle zone paludose.

L'interesse per il problema del grano doveva essere preminente: era il prodotto principale (se non l'unico) per l'alimentazione di gran parte della popolazione, e quando poi si verificavano anni di carestia, avvenimento non tanto infrequente, questi mettevano a terra l'economia dello Stato e non sempre era possibile far fronte all'importazione di grano perché oltre all'esaurirsi delle disponibilità finanziarie s'incontrava anche, per questioni politiche, l'ostilità di Paesi possibili fornitori.

(*) Già ord. di Chimica industriale alla Facoltà d'Ingegneria dell'Università di Roma.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

Ricordiamo che ancora nella seconda metà del '700 il Tesoriere Gen.le, di ritorno da un viaggio compiuto per conto del Pontefice nelle varie zone dello Stato, scriveva: «La povera gente dalla parte di Scheggia si ciba di pane fatto colla ghianda seccata e macinata, colla quarta parte di grano, che in altri paesi mangiano assai meglio i cani da caccia».

È quindi comprensibile che i Pontefici si occupassero e si preoccupassero del problema del grano; ricordiamo anche che se non ci fossero stati interventi dall'alto molti dei nobili, proprietari di vaste zone, e più ancora i loro affittuari, avrebbero sottratto parte della superficie coltivata a grano per destinarla alla pastorizia, perché quest'ultima richiedeva meno mano d'opera e rendeva di più. Ma i Pontefici pur essendo stati sempre vigili al problema del rifornimento del grano, non tralasciarono lo sviluppo delle industrie, sempre che si dia a queste attività, che fiorirono dal 1400 in avanti, il giusto peso e non si misurino col metro del '700 o meglio dell'800.

Per comprendere la limitatezza di molte di queste attività bisogna tener presenti diversi fattori che riducevano lo sviluppo, non solo nello Stato Pontificio, ma anche negli altri. Se consideriamo l'industria della carta, attività importante, questa era frazionata in tante piccole fabbriche perché il loro campo d'azione era limitato ad un interland molto ristretto, sia perché gli stracci necessari non potevano provenire da tanto lontano e così pure la carta prodotta doveva essere venduta in una zona circoscritta; la difficoltà e costo dei trasporti erano un deterrente notevole allo sviluppo di queste attività; non esistevano che poche strade, di solito occorreva servirsi di viottoli percorribili con muli, spesso anche infestati da banditi o da male intenzionati che nel migliore dei casi si appropriavano delle bestie gettando nei fossi le mercanzie. Inoltre la materia prima, gli stracci, veniva approvvigionata attraverso l'opera di raccoglitori, che giravano per i borghi e per le campagne e portavano il prodotto alle cartiere, se vicine, o lo cedevano a mercanti che rifornivano quelle più lontane; questi raccoglitori raramente disponevano di un mulo e dovevano portare il prodotto raccolto a spalla, in piccole partite. I trasporti interni poi erano resi costosi anche dalle numerose gabelle di passo: ogni Comunità aveva nei propri statuti, fra le entrate previste, queste imposizioni per consentire il passaggio alle persone, merci e bestie. Un mercante che portava stracci dalla zona di Terni alla cartiera di Bracciano lamentava di dover pagare la gabella del passo in tre o quattro località oltre al traghetto per attraversare il fiume. Lo stesso avveniva in altri Stati: nel 1725 cartai veneti esponevano ai Cinque Savi della mercanzia che il trasporto di stracci dal Polesine alla riviera di Salò subiva sei dazi diversi per l'attraversamento dei vari luoghi e altrettanti ne pagava la carta prodotta per ritornare indietro.

Per trasportare 9 balle di seta, di libbre 3440 (= kg 1166), da Pesaro a Bologna oltre al dazio d'uscita da Pesaro (scudi 1,1) si dovevano pagare scudi 65,56 per le gabelle per l'attraversamento di Rimini, Cesena, Capo di Colle, Forlimpopoli, Forlì, Faenza, Imola, Castel S. Pietro e entrata in Bologna, oltre alla spesa di scudi 18,30 per le barrozze.

Per valutare l'interesse dei Pontefici verso lo sviluppo di attività produttive conviene esaminare alcune delle industrie fiorite nello Stato Pontificio, partendo dalle loro origini. La maggior parte di queste industrie venivano iniziate e avviate dalla Camera Apostolica, perché richiedevano esborsi di denaro piuttosto rilevanti, non sostenibili dalla maggior parte dei privati; una volta avviate queste attività venivano poi cedute in affitto a imprenditori privati che a loro volta le subaffittavano a conduttori. Ricordiamo che la lavorazione del minerale di ferro a Monte Leone di Spoleto comportò una spesa di circa 40.000 scudi; per la fabbrica impiantata a Follonica ne occorsero 12.000.

Allume

L'attività industriale più importante è stata certamente quella mineraria collegata alla scoperta e valorizzazione dell'allume della Tolfa che, oltre alla notevole importanza economica raggiunta, segnò anche l'inizio di una più vasta attività in questo settore che portò allo sviluppo di altre imprese; occorre però ricordare che alcune altre erano già state avviate precedentemente, certamente in scala minore rispetto all'allume.

Questo allume (solfato di alluminio e potassio idrato) era un prodotto importante già nel 1400, costituendo un mordente necessario alla tintura dei panni di lana con coloranti vegetali (gli unici allora disponibili) specie nelle tinte scure, quelle maggiormente usate; trovava anche altri impieghi (nell'industria vetraria, in farmacia). Tale allume, impiegato non solo in Italia, ma anche in altri Paesi proveniva dalla Turchia la cui rilevante produzione serviva moltissimi Paesi. Questo commercio si interruppe verso la metà del 1400 con la caduta di Costantinopoli.

Fortuna volle che un giovane romano, Giovanni di Castro, avesse fondato con successo in Costantinopoli un'attività per la tintura dei panni importati dall'Occidente e che fosse costretto ad interromperla per gli eventi bellici e fare ritorno in Roma dove il padre, giurista, amico del Pontefice Pio II, gli procurò un posto di Commissario alle entrate della Camera Apostolica per Roma e Patrimonio.

Questo incarico lo portò a visitare le colline sopra Civitavecchia dove vide degli arbusti che gli ricordavano la vegetazione tipica delle zone dalle quali i Turchi estraevano l'allume e così pure simile appariva l'aspetto del terreno sottostante. Le impressioni gli furono confermate dai risultati dell'esame di alcuni campioni prelevati sul posto. Si presentò al Pontefice annunciandogli il ritrovamento che poteva consentirgli il risparmio di quanto pagato per l'acquisto dell'allume in Oriente (circa 300.000 scudi l'anno). Il Pontefice per confermare il ritrovamento volle sentire il parere di alcuni tecnici, fiorentini e veneziani, dai quali ottenne l'assicurazione trattarsi di una miniera di eccellente qualità.

Giovanni di Castro ebbe dal Pontefice la direzione dell'impresa estrattiva dalla quale il Pontefice pensava già di poter trarre il finanziamento di una crociata contro i Turchi (di qui l'espressione di allume della S. Crociata). Il Di Castro associatosi ad alcuni amici e ad un tecnico (magister principale delle miniere) ebbe dalla Camera Apostolica l'appalto oltre che dell'estrazione anche della lavorazione dell'allume. Questa consisteva nella scelta e separazione del minerale dallo sterile, nel successivo arrostitimento (entro forni del tipo di quelli usati per la preparazione della calce), nella lisciviazione del prodotto, in cumoli investiti da getti d'acqua, nella cottura, cioè in riscaldamento entro recipienti aperti (caldaie) dove bollente con acqua si solubilizzava l'allume, ed infine l'invio della soluzione entro recipienti, mastelli di legno, ove per raffreddamento della soluzione si aveva la cristallizzazione del prodotto ad elevato grado di purezza. Le acque madri della

cristallizzazione, cioè le soluzioni residue contenenti ancora allume, erano riportate in ciclo. Come si vede si tratta di una tecnologia «semplice», considerata con le tecniche di cui oggi si dispone, ma non era certamente tale nel 1400 con le attrezzature che allora si avevano, con la mancanza di adeguati sistemi di controllo.

Questa produzione della Tolfa si sviluppò con rapidità se pensiamo che iniziata ai primi del 1463 già nella primavera del 1466 risultavano prodotte 6259 t di allume.

Un altro dato importante per la misura dell'importanza dell'impresa è fornito dalla mano d'opera impiegata, che dall'estrazione del minerale a tutte le operazioni sopra ricordate, secondo una notizia, però del tutto inattendibile, era fatta ascendere ad 8000 unità; un dato più sicuro si ricava da un registro dei pagamenti di molti anni dopo, del 1557, che riporta 711 unità: 250 addetti alla miniera, 148 al taglio della pietra estratta, 168 alla cottura ed alla caldaia, 80 addetti ai vari trasporti interni.

A questi occorre aggiungere gli addetti al trasporto dell'allume dalla Tolfa a Civitavecchia, circa 24 chilometri, con mancanza di una vera e propria strada, ma con soli viottoli sui quali si formava una fila ininterrotta di animali in un senso e nell'altro.

Vetriolo

La ricerca e la produzione del vetriolo risale alla seconda metà del '500 ed ebbe non poca importanza per lo Stato Pontificio che conservò quest'attività per poco meno di tre secoli, ritraendone un vantaggio economico non certo paragonabile a quello dell'allume, tuttavia significativo perché assicurò alla Camera Apostolica un'entrata variabile fra i 500 e i 1500-2000 scudi anno e fornì un materiale necessario a diverse classi di produttori.

Col nome di vetriolo si intendeva il solfato ferroso idrato usato anch'esso, come l'allume, nella tintura dei tessuti, ma anche nella concia delle pelli, nella preparazione d'inchiostri, ecc. La sua presenza in natura, sotto forma di minerale, più o meno impuro era piuttosto diffusa; si presentava in depositi superficiali o a poca profondità, in tutte le zone vulcaniche derivando dalla alterazione, ad opera degli agenti atmosferici, di solfuri di ferro. La sua estrazione ricalcava quella dell'allume: la «terra» che lo conteneva veniva lisciviata ripetutamente con acqua per portare in soluzione il prodotto; la sospensione ottenuta era lasciata decantare (riposare) per separare le frazioni terrose (agille, ecc.) ed era poi concentrata (o cotta) in caldaie aperte; raggiunta la saturazione dalla soluzione, per raffreddamento, si otteneva la separazione del vetriolo sotto forma di cristalli. La bontà del prodotto derivava essenzialmente dal sistema di lavorazione che doveva ridurre, o meglio separare, tutte le impurezze, cioè tutte le sostanze estranee la cui presenza poteva provocare alterazioni nel risultato della tintura dei tessuti.

Non in tutte le località dove si aveva presenza del minerale vetriolico si riusciva ad ottenere e commercializzare il prodotto e ciò perché per ottenere un buon risultato occorreva disporre di impianti, per allora piuttosto costosi e quindi non alla portata di tutti.

Le notizie che si hanno circa la sua lavorazione risalgono alla metà del 1500 quando gli Sforza, padroni del feudo di S. Fiora, nella Toscana meridionale (luogo giurisdizionalmente degli Sforza) ne iniziarono la lavorazione che fu condotta prima in proprio e poi tramite affittuari. Del 1556 si trova infatti una vendita di 100 migliaia di vetriolo al prezzo di 14 scudi/migliario ed anche un affitto della cava per un anno per 1000 scudi. Altri documenti d'affitto si trovano negli anni successivi, nel 1559, 1561, 1590 (per 1400 scudi/anno), nel 1605, nel 1607, ecc.

Nel 1569 Marc'Antonio Colonna, il condottiero di Lepanto, trova una cava di vetriolo nelle terre possedute nella zona di Nettuno, ne ottiene dal Pontefice privativa generale per la produzione e vendita in tutto lo Stato dietro versamento alla Camera Apostolica di 500 scudi l'anno. Nel 1594 il nipote di Marc'Antonio vendette allo Stato Pontificio tutto il feudo di Nettuno, compresa la cava del vetriolo e la sua lavorazione.

Per alcuni decenni lo Stato Pontificio affidò la vendita del vetriolo in tutto lo Stato agli Sforza, ma la cosa non soddisfaceva il Pontefice che desiderava si trovasse una cava all'interno del territorio dello Stato e per questo Paolo V emise nel 1618 un Editto per incoraggiare le ricerche promettendo a chi la ritrovasse privilegi ed esenzioni. Ciò riuscì a Francesco Attavanti, che lavorava nell'impianto di S. Fiora e recatosi nel territorio di Viterbo constatò l'esistenza di una miniera, che dopo ripetuti saggi, apparve di notevole portata. La Camera Apostolica di fronte alla scoperta dell'Attavanti non adottò il sistema usato per l'allume di costruire in proprio le attrezzature per la estrazione e lavorazione affittando poi il tutto; nel caso del vetriolo, dati anche gli impegni assunti coll'Editto, lasciò la costruzione dell'impianto allo scopritore lasciandogli tutti gli utili dell'impresa, coi privilegi e le esenzioni promesse conservando per sé un provento fisso dell'ordine dei 1000-1500 scudi. Il sistema incentivava la produzione, senza rischi propri assicurando allo Stato, oltre alla entrata fissa, di evitare l'acquisto del prodotto all'estero, con esportazione di valuta. Solo più tardi quando le condizioni erano variate lo Stato intervenne direttamente.

L'Attavanti costruì un impianto efficiente, che assicurava l'ottenimento di un buon prodotto, protetto da un largo monopolio con un contratto di lunga durata, 27 anni, che poi si accrebbero di altri nove.

Naturalmente col passare degli anni la richiesta di vetriolo andò scemando, specie da parte dei Paesi esteri, per la comparsa di nuovi produttori; inoltre la fabbrica invecchiava e non attraeva più tanto l'interesse di appaltatori.

In questa situazione nel 1738 la Camera Apostolica decise di rilevare il vecchio impianto sostituendolo con uno nuovo, più aggiornato, che venne affittato prima per 500 scudi poi per 250-300. Per la tutela del consumatore lo Stato fissava un prezzo massimo per la vendita del prodotto (sette baiocchi e mezzo la libra, poi scesi a sei), per evitare un rapido esaurimento della miniera era posto un limite alla produzione annua (100.000 libbre, in qualche anno accresciuta anche sensibilmente).

L'attività del vetriolo si protrasse fino alla metà del 1800 quando la Camera Apostolica cedette il tutto a tal Pompei per 15.000 scudi.

Ferro

Dell'industria del ferro, naturalmente intesa su scala modesta, si hanno notizie nello Stato Pontificio fin dalla seconda metà del 1400 a Ronciglione e a Grottaferrata; per quest'ultima località le notizie risalgono anche al secolo precedente: i monaci dell'Abbazia godevano di un vasto territorio che comprendeva Ninfa, Velletri, Conca, Nettuno; un documento del 1340 riferisce sui rilievi fatti dal visitatore apostolico secondo il quale i proventi della ferriera dovevano essere devoluti all'Abate.

Anche per Ronciglione l'esistenza di ferriere risalirebbe, secondo O. Palazzi, un attento storico della città, alla stessa epoca poiché erano state dislocate lungo il Rio Vicano quattro edifici destinati alle arti del ferro, carta, rame, cuoio che vennero venduti dalla Camera Apostolica per 700 fiorini d'oro ai fratelli Capocci con atto del 20 Settembre 1479. Ma già alcuni anni prima, il 6 Dicembre 1474 il Camerlengo, Raffaele Riario, ammoniva i magistrati di Capranica di non far difficoltà «a permettere alla ferriera di Ronciglione di far carbone nelle selve che sono state concesse dalla Camera Apostolica solo per misericordia».

Nel 1484 i quattro ricordati opifici ritornano di proprietà della Camera Apostolica che poco dopo li affitterà ad Agostino Chigi.

In questi primi documenti si parla sempre di ferriere ma non si sa se la dizione comprendeva anche qualche forno per l'estrazione del ferro dai minerali, magari di tipo antiquato, rudimentale, o se il ferro che si lavorava era tutto d'importazione. Nella con-

finante Toscana la produzione del ferro era già stata avviata da anni, utilizzando il minerale dell'Elba, la cui estrazione risaliva al 1300. Ed è certo che già nel 1400 s'importava a Roma sia il minerale che il ferraccio (ghisa) che si lavorava in Ronciglione come attestano importanti documenti della fine del 1400.

Per l'estrazione dell'allume il Pontefice voleva avere il monopolio e pretendeva che venisse chiusa una miniera trovata in Toscana e per vincere le resistenze opposte arrivò a scomunicare il Signore del luogo, un membro della famiglia Appiano il quale per ritorsione sospese l'invio di vena di ferro (cioè il minerale) nello Stato Pontificio e solo dopo l'accordo, raggiunto il 23 Maggio 1490, i traffici fra i due Stati vennero ripresi e l'Appiano s'impegnava a far arrivare nei porti dello Stato Pontificio tutta la vena di ferro richiesta al prezzo di 70 ducati d'oro per ogni centa (33 t); il Pontefice s'impegnava a impedire per 6 anni l'ingresso in Roma e sue provincie (Patrimonio, Campagna e Marittima) di ferro colato (cioè ferraccio) o in masselli o tronchelli.

Ciò indica evidentemente che nello Stato Pontificio esistevano forni per estrarre il ferro dal minerale, altrimenti l'invio della vena non avrebbe avuto nessun senso e tanto più non si sarebbe potuto vietare l'ingresso del ferraccio. L'accordo citato contiene anche altri particolari interessanti: se gli appaltatori della gabella del ferro di Roma si fossero lagnati per la perdita che subivano, l'Appiano avrebbe pagato loro di suo proprio la differenza ed ancora, avrebbe regalato due centi e mezzo di vena alla Camera Apostolica da distribuire fra coloro che esercitavano o facevano esercitare fabbriche, proporzionalmente ai loro meriti.

Nel 1500 si assiste ad un intensificarsi dell'acquisto del minerale dall'Elba per la cui vendita il Principe di Piombino costituisce delle maone (o magone), che in origine sono degli uffici commerciali tenuti da appaltatori che hanno l'incarico di vendere il prodotto in determinate zone, in una quantità minima prestabilita, ad un prezzo determinato comprensivo di tutte le spese fino all'arrivo nello scalo di destinazione, compreso anche l'impegno di rifornire il minerale in caso di sottrazione da parte dei corsari che infestavano il Tirreno.

Maone furono impiantate a Pisa, Lucca, Siena, Genova (quest'ultima era la più importante) ed anche a Roma dove l'appalto era stato dato a Alessandro Dati e Giovanni Ardinghelli i quali erano impegnati a vendere (in Roma e nelle provincie del Patrimonio e di Campagna e Marittima) 25 centi di vena all'anno (cioè 825 t). Nel 1547 l'appalto per Roma viene passato a Pierantonio Bandini e compagni i quali s'impegnano a smerciare 65 centi di minerale fornito agli scali di Ripa (Roma), Corneto, Castelloncia al prezzo rispettivamente di 67, 59, 61 scudi d'oro (il prezzo praticato dalla maona di Roma era il più alto sia per la maggiore distanza che per i maggiori rischi di assalti da parte di corsari, o di perdite per naufragi, ecc.). Il contratto degli appaltatori prevedeva anche un limite all'importazione in Roma del ferraccio, fissato in 130 mila libbre (cioè 44 t) l'anno (e ciò evidentemente per favorire la vendita del minerale. Se l'appaltatore riusciva a vendere più minerale del pattuito riceveva un premio (2 scudi per migliaia di libbre).

Negli archivi esistono diversi contratti di acquisto di minerale, in questo secolo, come pure notizie della costruzione di forni a colare (a lavorare) il minerale. Nel 1588 viene costruito il forno di Conca nella tenuta del Sant'Offizio. Negli ultimi anni del 1500 gli Orsini costruiscono un forno di rilevante capacità; gli Orsini erano entrati in quest'attività, di lavorazione del ferro, già da tempo: un contratto del 1578 riporta che Paolo Orsini cede ad un milanese metà di un forno (ad coquendum et conficendum ferrum) posto nel territorio di Monterano per 3500 scudi e successivamente vende anche l'altra metà. L'attività degli Orsini si estende enormemente in tutto il secolo successivo.

Sempre nel 1500 era in attività un forno nella tenuta di S. Fiora degli Sforza, nella zona meridionale della Toscana, ma che gravitava nell'ambito della S. Sede; risulta un acquisto di vena di ferro di 25 centi nel 1565.

Un'importante impresa per la lavorazione del ferro si ha verso la fine del 1500 ad opera del Pontefice Gregorio XIII: nel 1577 dopo una lunga vertenza fra il Principe di Piombino ed il Gran Duca di Toscana questi si accordarono e fra gli altri patti c'era quello di costruire una larga strada, che univa Massa a Follonica; questa strada era importante per la Toscana che si assicurava un corridoio per il transito del minerale dell'Elba verso i propri domini del retroterra della Maremma assicurando l'approvvigionamento dei forni del Pistoiese e di Pontremoli, luoghi ricchi di legna da carbone.

Il patto non piacque al Pontefice che rivendicava i propri diritti: quel territorio aveva fatto parte dei Castelli di Valle e Montione, appartenuti al Vescovado di Massa; il principe di Piombino, che teneva molto al patto contratto, cercò di tacitare il Pontefice concedendogli in affitto un mulino ed una ferriera con distendino esistenti da tempo allo scalo di Follonica, consentendo che questi opifici fossero anche migliorati ed ampliati coll'aggiunta di un forno a ferro. Questo fu fatto costruire ed entrò in funzione nel 1579 ed era il più grande allora esistente in tutta Italia, lavorava 800 tonnellate a stagione producendo 375 t di ferraccio, con una resa del 47%, costò più di 12000 scudi. Il ferraccio prodotto veniva in parte lavorato nell'attigua ferriera ed il rimanente esportato sia in Roma che all'estero. Oltre al forno il Pontefice modernizzò la ferriera e fece costruire una steccaia alla gora.

Forno e ferriere non rimasero a lungo alla Camera Apostolica, è certo che ancora lo erano nel 1585, successivamente vennero gestiti da varie persone, anche vicine al Granduca.

Altra testimonianza dell'importanza raggiunta dalla produzione del ferro sempre nel 1500 ci viene dal conferimento dell'esenzione della gabella del ferro concessa a varie persone e Enti (da Paolo III nel 1538 a Gentile Virginio Orsini, nel 1540 al Duca di Castro e poco dopo all'Abbazia di Grottaferrata).

Nel 1600 il consumo di ferro cresce notevolmente e due Pontefici in particolare contribuiscono al potenziamento della produzione e della lavorazione: agl'inizi del secolo Paolo V crea in Tivoli una fabbrica d'armi, cioè una lavorazione del ferro indirizzata alla produzione d'archibugi e di moschetti destinati alle milizie e ai custodi dello Stato; la fabbrica viene data in appalto per 15 anni coll'obbligo di fornire 15.000 armi a tutto livello e finite di tutto punto; l'appaltatore, Andrea Buonhomo morì dopo qualche anno; il lavoro era in avanzamento poiché nell'inventario redatto si trovarono 664 archibugi e 172 moschetti finiti o con poche mancanze, oltre ad altro materiale in via di costruzione (canne, ecc.). Subentrò nell'appalto tal Marchese Pini, lucchese, che a proprie spese si offrì di far crescere una fabbrica di armature ed altro.

Il costo degli archibugi e moschetti era convenuto, rispettivamente, in scudi 4 e 3,4.

Questa fabbrica rimase in attività a lungo e poi trasformata durò ancora per molti altri anni.

L'altro Pontefice che diede notevole impulso alla fabbricazione di armi ed ancor più alla produzione e lavorazione del ferro è stato Urbano VIII. Allestì armature ed armi per 200.000 uomini e le raccolse in Vaticano sotto la Biblioteca invitando ambasciatori di Paesi esteri a visitarle.

Profondamente amareggiato di dover mandare all'estero vistose somme per la fabbricazione dei manufatti di ferro, appena gli fu comunicato, verso il 1630, l'esistenza di minerale di ferro nelle montagne intorno a Spoleto si interessò subito perché fosse accertata la verità e nel caso affermativo la consistenza del giacimento da parte di specialisti inviati sul posto. Ricevute notizie incoraggianti mandò ottimi artefici per dare sviluppo alla miniera e per impiantare in Monte Leone un forno e delle ferriere superando notevoli difficoltà; fece anche aprire una strada per collegare la miniera e le macchie, dalle quali si ritraeva la legna per il necessario carbone, con il forno e le ferriere; fece anche costruire uno sbarramento sul vicino fiume Cornio per innalzarne il livello all'altezza dei

vari impianti. Dopo tre anni di intenso lavoro il forno potè entrare in funzione. La nascita del complesso fu immortalata da una lapide e dalla coniazione di una medaglia.

Per sopperire alle molte spese incontrate fu emanato un Editto col quale si istituiva una gabella, di un quattrino per libra di ferro, o di vena di ferro, introdotta nello Stato Pontificio, ciò che diede luogo a rimostranze, ma che poi opportunamente corretta rimase in vigore per circa due secoli.

Dopo alcuni mesi di conduzione diretta il complesso venne dato in affitto e nel 1692 in enfiteusi ad Albergotti d'Arezzo, il quale poco dopo se ne partì e fuggì cosicchè la Camera Apostolica ne rientrò in possesso dandolo nuovamente in enfiteusi a tal Flamini; ma nel 1703 un grave terremoto che colpì la zona distrusse il tutto facendo anche scomparire il corso dell'acqua. Il Flamini tentò di ripristinare la produzione portando carbone e minerale a Schieggino, a una ventina di chilometri. Ma l'impresa non fu facile e nel 1710 abbandonò tutto e così fece pure la Camera Apostolica la quale vendè le attrezzature. Il grosso maglio fu portato all'impianto di Schifone.

Nel secolo XVII (oltre l'impresa, notevole, di Urbano VIII), venne costruito un forno a Canino, nel Ducato di Castro, ma che non pare sia mai entrato in funzione e ceduto dal Nerli alla Comunità di Canino fu lasciato andare in rovina e fu ricostruito solo un secolo più tardi.

Grande sviluppo invece ebbero i forni e le ferriere di Conca e Campo Leone, nella zona di Nettuno, e quelli degli Orsini (Cerveteri, Monterano, ecc.) la cui attività, nel campo del ferro, ebbe notevole sviluppo fin verso la fine del 1600, fin quando le avverse condizioni economiche della famiglia portarono ad uno smembramento dei feudi ed a vendita delle singole parti.

Per la sola lavorazione del forno di Cerveteri del 1649/50 si importarono dall'Elba circa 800 t di minerale, con una produzione di circa 400 t di ferraccio.

Nel 1700 ai preesistenti forni e ferriere se ne aggiunse un altro, quello degli Odescalchi: Livio Odescalchi avendo acquistato dagli Orsini il feudo di Bracciano pensò di introdurre alcune lavorazioni e per questo provvide a far costruire un condotto d'acqua (necessario per produrre energia meccanica) che attraversava tutto il feudo. Prima di morire segnalò al successore che l'acquedotto era stato fatto per il benessere della popolazione, per vantaggio dell'agricoltura, ma anche per lo sviluppo d'industrie, ed infatti il successore, Baldassarre, ligio ai desideri del predecessore, pochi anni dopo (1720-25), provvide a far costruire una cartiera, un forno a ferro, 5 ferriere ed un distendino. Così nei primi decenni del 1700 nello Stato Pontificio si disponeva di 5 forni per produrre ferraccio e di una trentina di ferriere e distendini per lavorare il ferraccio prodotto.

Avutasi notizia, nel 1707 circa, di minerale di ferro nelle montagne di Narni, il Pontefice, Clemente XI, non meno sollecito dei suoi sudditi che ai vantaggi della Camera Apostolica, ordinò fossero fatte tutte le spese occorrenti per introdurre la fabbrica del ferro nelle vicinanze di dette montagne; ritrovato il minerale in più parti della zona e fatte la prova della qualità fu fabbricato vicino al Castello di Stifone, lontano circa 2 miglia da Narni, l'edificio che utilizzava l'acqua proveniente da sorgenti nella montagna di Stifone, che poi va nel fiume Nera. Dalla vasta documentazione esistente nell'Archivio di Stato di Roma risulta che furono fatti dettagliati studi per scegliere il luogo più adatto in relazione al rifornimento del minerale, del carbone, del corso dell'acqua; dopo queste ricerche preliminari fu costruito ed attrezzato il complesso del forno e ferriere che entrò in funzione nel Novembre del 1712. Ci si accorse però subito che il ferraccio che si otteneva era meno del previsto così da presentare un costo di molto superiore, quasi doppio, di quello del mercato. Furono sentiti pareri e furono fatti venire tecnici e maestranze sia da Canino che da Conca ed il responso fu che mentre i forni delle due dette località, dalle stesse caratteristiche, erano in grado di lavorare 20-25.000 libbre/giorno di minerale,

quello di Stifone non riusciva a lavorarne più di 5.000, anche forzando la marcia a scapito della qualità del ferraccio prodotto. Dopo molte discussioni e prove si concluse che la colpa era da attribuire alla qualità del minerale che risultava più tenace nella fusione e che per fonderlo era necessario «gran fuoco e assai possente». L'unica soluzione poteva essere quella di usare come negli altri forni il minerale dell'Elba, ciò che però era impossibile data la distanza di Stifone da qualunque scalo marittimo ed il trasporto via terra presentava costi troppo elevati. Dopo vari tentativi, infruttuosi, per trovare affittuari per mandare avanti il complesso, questo fu lasciato in disuso; in seguito fu poi trasformato in ferriera con macchine più moderne.

Zolfo

La produzione di zolfo ha rivestito per alcuni secoli buona importanza nello Stato Pontificio nel quale per lungo tempo ha goduto di condizioni di monopolio; il prodotto oltre che impiegato nella preparazione di polvere pirica (sia per usi militari che civili) era esportato largamente sia negli altri Stati italiani che esteri. In Sicilia lo zolfo non venne estratto quasi affatto fin dopo il 1600 ed anche per decenni successivi: gli affioramenti non potevano essere sfruttati, secondo il sistema feudale introdotto da Normanni, altro che dai feudatari e nessuno di questi pensava di farlo estrarre poiché non presentava un interessante mercato e richiedendo spese di trasporto esorbitanti per mancanza di strade (o cattivo stato delle poche esistenti) e per la difficoltà di reperire la necessaria acqua e legname. Solo nella seconda metà del 700 coll'incrementarsi della domanda lo zolfo verrà estratto; il Dolomieu valuta solo nel 1781 una produzione di 5-7.000 t/anno.

Lo zolfo era presente nel sottosuolo dello Stato Pontificio in quantità anche rilevante, tanto da comportare, nel 1900, tentativi di estrazione industriale (a Cà Bernardi, a Pomezia); i depositi esistenti avevano una diversa origine: sedimentaria-biochimica (in Romagna e nell'Urbinate) e vulcanica (nel Lazio e Campagna). Le prime notizie sull'estrazione e commercio dello zolfo riguardano la Romagna, nella valle del Santerno, dove le notizie dell'esistenza di affioramenti gessoso-solfiferi risalgono al 1047, al 1350; la prima privativa per lo sfruttamento risale alla prima metà del 1500.

In Romagna venne anche realizzato un sistema di estrazione dello zolfo dai minerali che fu l'unico impiegato a lungo ovunque, solo con qualche modifica; esso consisteva nel separare lo zolfo dall'inerte per distillazione entro doppioni, cioè entro due olle di terra cotta una delle quali, riempita del minerale veniva posta su un fornello a legna mentre l'altra era situata all'esterno; le due olle chiuse superiormente da un coperchio e collegate da un tubicino nella parte superiore. Col riscaldamento il zolfo contenuto nella prima olla distillava e passava nella seconda dove raffreddandosi condensava e attraverso un foro praticato in basso nell'olla cadeva in un mastello di legno formando un «pane» del peso di 50-60 kg circa. Nelle 24 ore si potevano ottenere 4 cotte; per risparmiare legna si adottarono fornelli contenenti più doppioni e solo molto più tardi si adottarono recipienti di ghisa anziché di terra cotta, di maggiore durata e di maggiore capacità.

Dalle varie cave della Romagna lo zolfo veniva trasportato al porto di Cesenatico (in minore quantità a quello di Rimini) dove imbarcato veniva inviato per la maggior parte all'estero (Venezia, Trieste, Olanda, Inghilterra); quantità minori caricate su muli erano mandate nella vicina Toscana. Negli ultimi decenni del 1700 si calcola su un'esportazione di circa 4 milioni di libbre/anno (= 1350 tonnellate) al prezzo di 8 scudi/migliaro il grezzo e 10,50 quello raffinato. Negli anni precedenti l'esportazione raggiungeva valori più elevati.

I Pontefici favorirono quest'estrazione dello zolfo; fin dal 1510 Papa Giulio II dichiarava le miniere e le ricchezze del sottosuolo di diritto sovrano, più tardi Clemente

VII concedeva a Valori il monopolio dell'estrazione e vendita dello zolfo per 24 anni, col l'obbligo di fornire alla Camera Apostolica ogni anno 4000 libbre di zolfo.

Alla morte del Pontefice (1534), sotto le pressioni e le richieste della popolazione del cesenate, Paolo III concedeva loro la facoltà di estrarre lo zolfo da quelle miniere, di lavorarlo e farne libero commercio. I proprietari terrieri interpretarono la volontà del Pontefice nel senso di poter ricercare estrarre e disporre dello zolfo a proprio piacimento e toccò nel 1580 a Gregorio XIII richiamare in vigore gli antichi diritti del principe, confermare il principio della regalia per le concessioni minerarie, ricordando l'obbligo delle prestazioni relative non prescrittibili.

Fra le miniere di zolfo in Romagna quelle degli Aldobrandini furono le più importanti e già agli inizi del 1600 le troviamo affittate per 1050 scudi l'anno a tale Aurame che ne esportava intere barche ricavandone, come dichiara lui stesso, notevoli guadagni. Verso la metà del 1600 con la devoluzione dei beni degli Aldobrandini allo Stato parte toccarono al Vescovo di Sarsina e parte alla Camera Apostolica e fra i due si ebbe una lunga controversia per lo sfruttamento di quest'importante cespite.

Ai confini con la Romagna si trovava il Ducato di Urbino nel quale si trovavano affioramenti di zolfo; si hanno documenti del 1620 circa attestanti l'affitto del diritto di ricerca e sfruttamento delle cave di zolfo in tutto il Ducato, questo subito dopo passò allo Stato Pontificio e la coltivazione dei giacimenti fu intensificata. Da un'accurata ricerca condotta da Battistelli sui documenti del porto di Pesaro, da dove venivano spedite le maggiori quantità di zolfo dell'Urbinate, risulta che in 21 anni compresi nel periodo 1653-1682 furono spedite libbre 8.534.523 (= t 2.893) corrispondenti ad una media annua di libbre 406.406 (= 133,7 t), media risultante però da valori annui molto diversi.

Nel Lazio e Campagna si ritrovano i giacimenti originatisi da fenomeni vulcanici tardivi, indicati coi nomi di solfatara, solfare, solfonare, ecc. Il loro sfruttamento (tralasciando quello effettuato, ovviamente su piccola scala, fin dai tempi dei romani) lo troviamo iniziare alla fine del 1500 quando il Pontefice Pio V concesse a Marc'Antonio Colonna licenza di estrarre e commerciare zolfo di depositi ritrovati nel suo territorio di Nettuno, per sette anni (durata quasi subito variata a 18 anni) con pagamento alla Camera Apostolica di 500 scudi l'anno.

Nel 1594 il nipote di Marc'Antonio vendette la tenuta di Nettuno alla Camera Apostolica la quale poi l'affittava per circa 14-15.000 scudi e gli affittuari subaffittavano la solfatara per circa 200-250 scudi l'anno; i conduttori realizzavano entrate piuttosto alte e la quantità di zolfo estratto era pure importante. Da un documento ricavato dai Libri Mastri di un affittuario risulta che nei sette anni che vanno dal 1690 al 1697 furono effettuate vendite per libbre 6 milioni 684 mila per un importo di 67.665 scudi a fronte di spese di gestione di 26.212 scudi lasciando quindi un utile medio annuo di 5.921 scudi.

Il sistema di estrazione dello zolfo dal minerale risulta lo stesso usato in Romagna e nell'Urbinate. In un inventario del 1664 riguardante il materiale della solfatara di Nettuno troviamo l'esistenza di 32.320 libbre di zolfo in pani oltre ad «una certa quantità», non precisata di zolfo in cannelli (cioè raffinato) e l'elencazione degli attrezzi per la lavorazione (schlumarole, bigonci, mastelli per la raccolta dello zolfo fuso) ed anche 150 coperchi di terra cotta e di 18 pile «buone da lavorare» che indica l'uso di olle, o pile, da chiudere con coperchi come praticato altrove. Altri frammenti di olle sono stati riconosciuti da Quilici fra i «cocci» rinvenuti in zone vicine.

La solfatara di Nettuno è rimasta in esercizio per almeno tre secoli; altro zolfo proveniva dalla vicina Ardea dove verso il 1970 fu messa in esercizio una cava e costruito un impianto comprendente frantumazione, macinazione e flottazione del minerale seguito da fusione e filtrazione dello zolfo fuso.

Fra i depositi di zolfo della zona Roma-Viterbo, piuttosto numerosi, certamente il

più importante è stato quello di Sacrofano che appartenne fin dal 1400 alla famiglia Orsini e da questa passò agli Odescalchi. Del periodo Orsini si trovano diversi contratti d'affitto; da uno del 1656 si apprende che la quantità estratta era piuttosto rilevante poiché l'affittuario era tenuto a far funzionare almeno 6 fornacelle (ciascuna con 12 pignatte) e per ciascuna doveva pagare 4 scudi al mese. Si apprende anche che il minerale conteneva dal 15 al 20% di zolfo.

Nel 1764 gli Odescalchi acquistarono la solfatara di Sacrofano che all'epoca era affittata a tale Traglioni per 600 scudi l'anno, circa. Dopo poco gli Odescalchi decisero una conduzione diretta e di questo periodo si hanno dati numerosi sulla produzione, vendita, costi dello zolfo. Dai registri risulterebbe una produzione annua di circa 300 migliaia di libbre per un valore di 2500-3000 scudi. Nei registri delle vendite effettuate dal magazzino di Roma risultano fra gli acquirenti alcuni mercanti che mandavano zolfo a Livorno o a Genova dove veniva imbarcato per l'estero. Così tale Hodgson, che spediva a Livorno per l'Olanda, in tre anni figura avere acquistato zolfo (a 8 scudi il migliaro) per scudi 5818, analogamente tal Vattuone, che spediva a Genova, figura aver acquistato negli anni dal 1781 al 1790 zolfo per 12.750 scudi circa. Diversi altri acquirenti figurano con quantità minori e a questi lo zolfo veniva venduto a 10-10,5 scudi il migliaro.

Dopo il 1800 lo zolfo Siciliano cominciò ad essere estratto in quantità sempre crescenti finché non fu soprafatto da quello americano prima e da quello ricuperato dall'industria petrolifera poi.

In alcune zone dei territori dell'ex Stato Pontificio dopo il 1870 alcune industrie cercarono di riprendere con mezzi più moderni ed adeguati l'estrazione dello zolfo ciò che portò ad una certa produzione in alcune zone dell'Urbinate e del Lazio (Manziana, Ardea).

Polvere pirica (o solfurea)

La produzione ed il monopolio della polvere pirica nello Stato Pontificio risale al 1500 e questo prodotto non fu impiegato fin d'allora solo per il munizionamento delle armi da fuoco, ma anche per lavori civili dei quali si ha notizia quasi contemporaneamente a quanto praticato in altri Stati (Veneto, ecc.), considerati all'avanguardia in tale impiego. Infatti nel 1588 quando il Pontefice Sisto V visitò la zona di Allumiere, alla Tolfa, vi fu una dimostrazione dei «cavaroli», che legati a solide funi si calarono dalla cima del monte fino alla sua metà, circa, dove si dovevano praticare i fori da mina. In breve fu allestito un piccolo ponte e su una tavola presero posto tre operai, uno dei quali seduto colle spalle al monte, teneva fra le mani un grosso palo aguzzo sul quale gli altri due operai davano robusti colpi per praticare così un foro all'interno del monte per porvi la polvere solfurea. I cavaroli risalirono poi sulla cima del monte e di lì incendiarono la miccia; si udì un fragoroso scoppio e si videro enormi macigni staccarsi dal monte e precipitare al piano.

L'impiego della polvere pirica era stato segnalato nel Veneto da poco (Dicembre 1573) dove Martinengo aveva ottenuta la concessione per impiegarla in miniere di argento, sopra Schio, dove però non aveva ottenuto risultati soddisfacenti poiché non praticava fori nella roccia, ma poneva la polvere in piccole cavità superficiali.

Nello Stato Pontificio la produzione della polvere solfurea doveva risalire a diversi anni prima del 1588 (anche se non sembra esistere traccia); in un Bando del 14 febbraio 1592 si ribadisce che tutti i salnitri e polveri raccolti e fabbricati e che si raccoglieranno e fabbricheranno nei vari luoghi dello Stato Ecclesiastico s'intendono essere compresi fra gli altri regali riservati al Supremo Pontefice, ed alla Sua Camera, S. Sede, e questo Bando non è certamente il primo sull'argomento. In data poco posteriore si trovano bandi per gli appalti generali relativi alla fabbricazione delle polveri e salnitro.

Queste polveri, piriche o solfuree, erano costituite da miscele, in percentuali variabili, di polvere di carbone dolce, di zolfo e di nitro (cioè nitrato di potassio); mentre i primi due componenti erano abbastanza facilmente disponibili, il terzo era difficile da ottenere. Era presente nelle efflorescenze dei muri, che potevano essere raschiate e da queste poi estratto il nitro con acqua. Ma dato i bassi quantitativi ottenibili era stato studiato un altro sistema basato sulla trasformazione dell'azoto presente in composti organici; il sistema era già descritto da Agricola, al principio del 1500 e si basava sull'impiego di nitriere, cumoli formati da miscele di terra, ceneri di piante, residui organici (stabbio, letame) che venivano bagnati periodicamente con urine, colaticci di stalla, dopo alcuni mesi la flora nitrificante che si andava sviluppando nella massa trasformava lentamente i composti organici azotati presenti in nitrati (di potassio, misto ad altri di sodio, di calcio); dopo un paio d'anni si estraeva il nitrato di potassio presente lisciviando la massa con acqua, evaporando la soluzione ottenuta (depurata, per riposo) fino a cristallizzazione del nitro.

I contratti d'appalto comprendevano numerosi capitoli che dettagliavano i diritti e doveri sia dell'appaltatore che della Camera Apostolica. Nell'appalto concesso il 1 Febbraio 1609, per 9 anni, ad Alessandro Dati per fabbricare e far fabbricare salnitro in tutti i luoghi dello Stato Ecclesiastico l'appaltatore risultava obbligato a dare e consegnare (con trasporto a proprie spese), in ogni anno, in Castel S. Angelo, e nelle fortezze di Ancona, Perugia, ed eventuali altri luoghi, 100.000 libbre di polvere (= 33,9 t), per due terzi del tipo grosso e per l'altro terzo di tipo fino (eccetto quella da inviare in Ancona formata dai due tipi in parti uguali), al prezzo di 56 scudi il migliaro.

L'appaltatore aveva diritto di ottenere lo stabbio, il letame, la terra, la legna in qualunque luogo e nelle quantità necessaria senza alcun pagamento, come pure doveva disporre dei locali adatti per le nitriere (grotte, ecc.) pagandone però il fitto ai proprietari.

In un documento dell'Archivio Vaticano, che riporta l'inventario delle munizioni ed armi presenti nel 1630 in Castel S. Angelo, si legge che vi erano accumulate 21 t di polvere, conservate in botti di legno ferrate, oltre a 114 t di salnitro, 36 di zolfo, in pani e in polvere, e carbone in polvere. Questa polvere non era la sola poiché altra era presente, distribuita nelle varie fortezze e torri di difesa costiera dello Stato.

La produzione della polvere si effettuava in diverse polveriere (Fabriano, Tivoli, Roma); in quest'ultimo luogo una polveriera si trovava ubicata sul Colle Oppio dove ancor oggi c'è una strada denominata Via della Polveriera, corrispondente al luogo dove avveniva produzione e conservazione del prodotto, mentre la nitriera si trovava nei resti delle vicine Terme di Tito; un magazzino del prodotto finito più tardi venne ubicato a Testaccio.

L'industria delle polveri iniziata nel 1500 durò fino al termine dello Stato Pontificio; i sistemi di produzione subirono naturalmente quegli ammodernamenti che le varie tecniche venivano fornendo. Col tempo la produzione si andò specializzando in funzione dell'impiego; si producevano polveri di più tipi: da caccia (di tre varietà), da cannone, da mina, da sparo, ecc., che differivano per la diversa percentuale dei tre componenti, per la diversa grossezza dei granuli; così per i tipi sopra indicati la percentuale di nitro variava, nell'ordine, dal 78 al 58%, quella dello zolfo dal 10 al 20% e quella del carbone dal 12 al 22%.

Alcuni dati ci indicano l'importanza raggiunta dall'industria delle polveri nello Stato Pontificio nel 1739, al momento dell'introduzione di un nuovo sistema d'appalto (quello con amministrazione cointeressata), fu fatto un inventario delle polveri esistenti; nella sola Roma, nel magazzino alle Terme di Tito, vi erano 42.497 lb (35.555 da caccia, 5.350 da mina, 1.592 da guerra).

Nel 1842 furono trasportate dalla polveriera al magazzino di Testaccio 33.150 lb di polveri (15.900 da caccia, 9.400 da mina, 6.950 da sparo (a grana grossa) e 900 lb da guerra (a grana fina).

Dato il carattere «strategico» della produzione della polvere pirica essa fu sempre

considerata dalla Camera Apostolica un proprio monopolio. Naturalmente dato questo carattere monopolistico non mancarono mai tentativi di produzione di contrabbando, a cominciare dalla sottrazione fraudolenta dello stabbio necessario alla formazione delle nitriere per finire alla sottrazione e/o sofisticazione del prodotto finito e ciò nonostante le severe misure minacciate ed applicate ai contravventori.

Numerosi gli atti esistenti nell'Archivio di Stato di Roma relativi a processi effettuati contro contravventori e frodatori.

Carta

L'industria della carta ha avuto grande sviluppo nello Stato Pontificio per l'importanza rivestita dal prodotto, richiesto dalla stampa, mezzo fondamentale per la divulgazione del credo cristiano. Le prime cartiere nello Stato Pontificio sono sorte a Fabriano, a Foligno, all'Abbazia di Monte Cassino (S. Elia) che iniziarono la loro attività fin dalla seconda metà del 1200 e già nel 1300 raggiungendo, specie Fabriano, grande notorietà, non solo per la quantità e qualità della carta prodotta, ma anche per la valentia dei suoi cartai, richiesti in tutta Italia, ma anche per le innovazioni introdotte in quest'attività e per le risoluzioni prese a difesa di quest'industria.

Nel 1365 Ludovico di Ambrogio, cartaio e mercante fabrianese, spediva carta a Montpellier; dai registri conservati nell'Archivio Comunale di Fabriano si ricava che in circa tre anni ne aveva spedito circa 140 quintali, quantità notevole per quei tempi. Il prodotto era inviato al porto di Talamone trasportato su muli attraverso viottoli; veniva poi caricato su piccole barche fino al porto francese di Aigues-Mortes e di qui per fiume alla destinazione finale.

Dall'esame dei registri della Dogana di Roma relativi a 13 anni compresi fra il 1455 ed il 1475 (i soli esistenti) risultano entrate in Roma, provenienti dalle cartiere di Ronciglione, Tivoli, Fabriano, Foligno oltre 36.000 risme di carta.

Le prime cartiere erano di dimensioni relativamente modeste, il loro costo, anche se contenuto, non era certo alla portata dei cartai, di solito salariati che col loro guadagno faticavano a tirare avanti. Le cartiere per molti anni furono costruite per conto di feudatari, di comunità religiose, di Comuni che poi le affittavano a cartai, con contratti di uno o più anni. Il funzionamento di una cartiera non richiedeva solo il costo delle macchine e attrezzature necessarie, ma anche un rilevante capitale da anticipare per l'esercizio, infatti passava molto tempo prima che la carta venisse prodotta e venduta (scelta degli stracci, fermentazione, sfibratura, formazione del foglio, essiccazione, incollatura, nuova essiccazione, finitura, tutte operazioni lente). A parte il costo di costruzione ed esercizio le cartiere non potevano avere grandi dimensioni, come in effetti fu a lungo per la maggior parte di esse, perché la raccolta degli stracci, la materia prima, non poteva essere fatta che in una zona piuttosto circoscritta e così pure la vendita della carta date le difficoltà ed i costi dei trasporti.

Costante e vivo fu l'interessamento esplicato dalla autorità Pontifica affinché le cartiere potessero lavorare e prosperare; lo Stato Ecclesiastico disponeva di rilevanti quantità di stracci, specie di quelli della migliore qualità e questa materia prima non era solo contesa dai cartai dello Stato, ma anche largamente da mercanti che la esportavano fraudolentemente all'estero (non solo in Toscana, Veneto, Liguria) ma anche in Francia, Inghilterra, Olanda, ecc., dove era continuamente richiesta, a prezzi molto elevati.

Negli Archivi si trovano numerosi documenti relativi all'andamento delle cartiere (che lamentavano la penuria degli stracci per la sottrazione e per l'aumento dei prezzi di vendita) e relativi ai provvedimenti presi dalle Autorità. Molti sono stati gli Editti emanati contenenti norme per combattere la sottrazione e i contrabbandi; venivano fissati i prezzi da praticarsi nell'acquisto degli stracci delle diverse qualità, gli appalti concessi per

la raccolta e distribuzione degli stracci, provvedimenti tutti che nonostante le variazioni apportate, le pene da comminare ai trasgressori, non riuscirono mai a risolvere tutti i problemi della categoria perché si trattava di conciliare opposte esigenze: le richieste dei raccoglitori di stracci, quelle dei cartai e difendersi dai mercanti, speculatori, frodatori.

Le cartiere dello Stato Pontificio furono anche sollecite all'introduzione di migliorie ed innovazioni. Ai fabrianesi si attribuisce la sfibratura degli stracci mediante magli mossi meccanicamente anziché a mano come praticato dagli Arabi, tecnica che durò ovunque per secoli e quando la sfibratura fu fatta a mezzo di olandesi la cartiera di Bracciano fu la prima ad introdurla nello Stato Pontificio, seguita poi rapidamente da altre.

Il numero delle cartiere fu sempre elevato, nel 1830 circa, una statistica fatta dall'appaltatore cointeressato riportava il numero di 100 opifici, elevato anche se si considera che forse la metà era del tipo atto a produrre solo carta da impacco.

Le notizie sulle industrie sopra riportate anche se fra le più importanti non sono le sole ad avere ricevuto notevole sviluppo nello Stato Pontificio infatti molte altre se ne possono citare, alcune delle quali altrettanto importanti, sia dal punto di vista economico che sociale; anche per queste altre industrie grande fu l'attenzione dello Stato per la loro creazione e sviluppo.

Ricordiamo fra queste:

- il sale (ricavato dalle saline di Cervia, di Tarquinia, di Ostia);
- i vetri, prodotti in varie città;
- la concia delle pelli;
- la raccolta della cera d'api, per ricavarne il miele e la cera per candele;
- l'allevamento del baco da seta, la produzione del filamento e la sua tessitura;
- il sapone, di cui si hanno notizie in documenti del 1400 e la cui produzione si ebbe in molte città dello Stato regolamentata da numerose norme e da facilitazioni nell'approvvigionamento degli oli a prezzo calmierato;
- la fabbricazione di cordami;
- l'estrazione e purificazione di colori vegetali e la tintoria;
- la fabbricazioni di viti (a Tivoli);
- la fabbricazione di spille (a Urbino);
- la fabbricazione della biacca, dell'ossido di zinco, di pigmenti minerali;
- la estrazione degli oli (d'oliva, di vinaccioli, di colza, ecc.);
- la macinazione del grano e la preparazione della pasta e del pane;
- filatura, tessitura e tintura delle fibre (lana, seta, lino, canapa). Questa è un'industria della quale non è possibile dire in breve degli sviluppi e dei livelli raggiunti, sia qualitativamente che quantitativamente, e che hanno consentito vantaggi economico-sociali rilevanti, che si è sviluppata in tutto il territorio facilitata dalla disponibilità delle necessarie materie prime.

In particolare a S. Michele a Ripa vi era uno stabilimento «così grandioso e così bene amministrato che pochi altri in Europa gli entravano innanzi». Vi si mantenevano e si adunavano 5 comunità distinte di vecchi, di ragazze, di fanciulli ai quali si insegnavano le arti e i mestieri della tessitura. «La manifattura dei

panni vi fu condotta ad un punto di perfezione fino a quel tempo sconosciuta».

Lo sviluppo dimensionale di queste industrie fu sempre limitato, condizionato, come già accennato, dal mercato a disposizione (questa fu una caratteristica ed un deterrente proprio non solo dello Stato Pontificio ma anche degli altri Stati Italiani) ed anche dai sistemi di produzione, propensi a preferire all'acquisto di macchine l'impiego di mano d'opera, sempre abbondante ed a basso prezzo.

In Italia la prima Olandese, apparecchio per sfibrare gli stracci in maniera più efficiente e più rapida degli usuali magli, fu introdotta nella cartiera di Bracciano; la Repubblica di Venezia, che ne riconosceva l'utilità e cercava di favorirne l'impiego nelle cartiere del proprio Stato, sperando di far migliorare la qualità della carta prodottavi, fece compiere un'indagine da propri funzionari che riferirono l'opposizione dei cartai perché non ritenevano di nessuna utilità una maggiore rapidità di produzione quando risultava difficile potersi procurare maggiore quantità di materia prima (stracci), quando sarebbe stato difficile collocare una maggiore quantità di carta ed inoltre non appariva conveniente ridurre la mano d'opera disponibile a basso prezzo coll'introduzione di una macchina di costo elevato, ben difficile da ammortizzare.

Altri fattori che si opponevano allo sviluppo dimensionale delle unità produttive erano il sistema degli appalti, delle privative e l'esistenza di dazi e gabelle.

Il sistema dell'appalto era applicato per ogni cosa, dalla riscossione dei tributi (dazi: sul macinato, sulle carni, sul vino; sulle tesorerie, cioè la riscossione delle entrate delle provincie, ecc.), agli affitti (della stamperia Camerale, di ogni attività produttiva). Ciò dipendeva dalla struttura dello Stato Ecclesiastico che data la sua estensione non poteva mantenere una propria rete di funzionari addetti a queste incombenze e vi suppliva delegando privati scelti, per lo più, attraverso asta pubblica. Questi appaltatori, persone in grado di dare le richieste garanzie di solvibilità, si avvalevano poi di subappaltatori i quali badando al proprio interesse cercavano di trarre il massimo guadagno, anche con mezzi vessatori. Dopo il 1600-1650, crescendo il numero degli appalti, si venne sviluppando una classe di imprenditori che disponendo di una certa liquidità, o di terreni o di garanzie di terzi (coi quali spesso si associavano) concorrevano ai vari appalti della Camera Apostolica. Nonostante le norme fissate nei Capitoli di ciascun appalto al termine degli affitti accampando scuse diverse chiedevano bonifici, riducendo così l'introito spettante alla Camera Apostolica e nel caso di impianti produttivi li lasciavano in condizioni di richiedere costosi interventi così che dall'appalto la Camera Apostolica finiva per trarre ben poco utile. Verso la fine del 1700 lo Stato Pontificio modificò molti appalti trasformandoli in Amministrazioni cointeressate, nelle quali cioè lo Stato partecipava alla gestione insieme all'affittuario, ma anche questo sistema presentava punti deboli. L'uso dell'appalto, necessario per sopperire alla gestione delle varie attività, era contrario anche allo sviluppo delle industrie perché l'appaltatore non aveva alcun interesse a migliorare l'impresa di un altro padrone, ma solo di trarre il massimo utile.

La privativa era uno strumento utile, però doveva essere limitato nel tempo poiché proteggeva chi voleva impiantare una attività industriale o commerciale assicurandolo che per un certo numero di anni non avrebbe avuto concorrenti e sarebbe stato protetto da opportuni dazi d'importazione. Però se, come si verificava in molti casi, la privativa, già concessa per diversi anni, veniva poi ulteriormente prorogata finiva per essere un insostenibile monopolio che impediva ad ogni altro di cimentarsi nella stessa attività, magari apportandovi innovazioni e migliorie, e tanto più dannosa risultava la proroga, se conferita ad un privataro dimostratosi incapace.

Ci sono esempi del cattivo risultato di queste privilegiate: così tal Paccaroni di Fermo ottenne una privativa per la raffinazione dello zucchero importato grezzo, privativa che riuscì poi ad estendere anche alla estrazione dello zucchero da barbabietole, cosa che non riuscì a fare nonostante diverse proroghe ottenute per circa 50 anni. In questo modo impedì ad altri, certamente più idonei, di impiantare nello Stato Pontificio questa industria saccarifera.

Un altro esempio è rappresentato dalla privativa di importazione della macchina continua per la fabbricazione della carta; questa fu concessa ai Cini di Toscana che riuscirono ad ottenerla perché si associarono con persona dello Stato Pontificio e ciò ebbe solo il risultato di impedire per diversi anni a Miliani di Fabriano di potere impiantare una tale macchina nella sua cartiera.

A fronte di questi esempi, dall'esito negativo, se ne possono però citare molti altri nei quali la concessione di una privativa è risultata vantaggiosa per lo Stato. D'altra parte a seguito di esempi negativi la Camera Apostolica pensò di introdurre clausole che consentivano di interrompere automaticamente la privativa se non venivano ottenuti, fin dai primi anni, i risultati preventivati.

Per stimolare e proteggere le industrie specie nascenti, Clemente XI nel 1719 proibì l'importazione di manufatti stranieri; il successore, Clemente XII, tolse questo divieto imponendo su quei manufatti un dazio elevato (prima del 10%, poi del 20%), ma questo sistema aveva il rischio di indurre i Paesi danneggiati a ricorrere a ritorsioni su merci esportate dallo Stato Pontificio.

L'interesse per le industrie dimostrato dallo Stato Pontificio risulta evidente dai numerosi importanti incentivi usati per aiutare i singoli ad intraprendere attività industriali o per sostenerli nello svilupparle. Si possono così ricordare le provvidenze usate per migliorare la produzione del sapone, per incrementare la produzione degli oli ed il miglioramento di quello d'oliva, per sostenere la fabbricazione delle spille, delle viti, ma oltre gli aiuti a singole attività, più importanti erano gli indirizzi e le normative di carattere generale prese a beneficio di tutte le industrie. Così possiamo ricordare i dazi imposti a protezione di prodotti che invece che importati potevano essere fabbricati nello Stato, e quelli applicati sulle materie prime a protezione di prodotti da fabbricare nello Stato (importante l'esempio degli stracci utilizzati per la carta).

Importanti furono le provvidenze per la creazione di due porti franchi,

Civitavecchia e Ancona (1732), per favorire il movimento delle merci d'importazione e di esportazione, per la creazione di fiere fra le quali primeggiò sempre quella di Senigallia alla quale venne accordata la più ampia franchigia; vi partecipava gran folla di mercanti provenienti da tutta Italia, da Francia, Austria, Inghilterra, Grecia, Levante, ecc., vi affluivano merci di tutti i tipi, vi si effettuavano acquisti e vendite rilevanti di materie prime e di manufatti, ed era anche interessante per far conoscere prodotti da imitare nello Stato Pontificio.

Per sviluppare industrie di maggiore portata lo Stato, come abbiamo già detto per il ferro, era propenso a sostenere le spese di primo impianto lasciando poi ad altri la conduzione; in molti altri casi si arrivava a fornire contributi per introdurre o potenziare imprese o colture di prodotti interessanti l'industria, così si accordavano contributi a chi coltivava cotone (a Terracina, a Montalto) o seminava il guado (dalle cui foglie si estraeva un importante colorante).

Molto interesse fu posto anche nello sviluppo e divulgazione delle conoscenze sia tecniche che agricole: fu creato un Congresso Accademico d'agricoltura, arti, manifatture e commercio i cui membri dovevano riunirsi periodicamente per discutere le novità e prospettare i provvedimenti da prendere per poterli utilizzare da parte dello Stato o dei cittadini. Da parte di una Società economico-agraria sviluppata a Montecchio (Macerata), Foligno, Corneto furono pubblicati diversi manuali con consigli pratici per la coltivazione e lavorazione di piante e dei prodotti da esse ottenibili.

Per molte industrie lo Stato Pontificio fece venire tecnici stranieri per consigliare, indirizzare o insegnare a elementi locali la conduzione di lavorazioni secondo i sistemi realizzati all'estero. Ciò riguardò ad es. il campo minerario (ricerca dei minerali), il tessile (dalla filatura, alla tessitura e tintura) sia per istruire maestranze che per consigliare l'acquisto di macchine, attrezzature sviluppate all'estero o per indirizzarne la costruzione.

Nel campo della tessitura, in particolare per il suo sviluppo in diverse zone dello Stato, furono create scuole (di filatura, tessitura, tintura) per indirizzare i giovani (a Subiaco, Filettino, a Bevagna, Todi, Viterbo, Anagni, ecc.).

Sulla scia di quanto si andava praticando all'estero alcuni Pontefici incaricarono propri funzionari e tecnici di compiere viaggi per prendere visione dello stato delle singole industrie e presentare poi proposte per l'aggiornamento delle vecchie e l'introduzioni di nuove. Importante fu una missione di questo tipo comandata da Pio VI al proprio Tesoriere Generale che condusse ad una ponderosa e importante Relazione a seguito della quale il Pontefice poté prendere diversi utili provvedimenti. Altro viaggio fu commissionato da Clemente XII nel 1732 a Pietro Bertelli, Amministratore della Camera Apostolica, ad Ancona per studiare le possibilità di esportazioni di manufatti dal porto franco e per conoscere le industrie da incrementare nella zona.

Numerose altre incentivazioni furono offerte per lo sviluppo di attività produttive: prestiti in denaro a tassi agevolati, conferimento di premi, di medaglie, come riconoscimenti pubblici, sostegni per partecipazioni a mostre internazionali.

A fianco di queste incentivazioni non mancarono però fattori che tendevano a rallentare o ad opporsi agli sviluppi delle attività industriali; fra questi si possono citare l'inerzia delle classi agrarie, della burocrazia, l'esistenza di tanti dazi interni, il crescere dei contrabbandi.

Abbiamo già accennato che i proprietari terrieri preferissero affittare le loro terre ricavandone un utile relativamente modesto, ma sicuro, anziché interessarsi di industrie. Ci furono però alcune famiglie nobili che svilupparono anche attività di questo genere, basta ricordare gli Orsini, i Colonna, gli Odescalchi.

La burocrazia con la sua inerzia rappresentò un freno di notevole portata nel rallentamento dello sviluppo di tutte quelle attività che ostacolavano il suo quieto vivere.

I dazi interni costituivano entrate per quasi tutti i comuni che si opponevano in tutti i modi alla soppressione e fu necessario arrivare al papato di Pio VI perché si riuscisse ad abolirli. Il contrabbando invece non fu mai debellato e rappresentò un grave danno sia alla produzione che alle casse dello Stato sottraendo merci al controllo in entrata e quindi al pagamento dei relativi dazi e ancor più sottraendo materie prime ad alcune industrie, ad es. gli stracci all'industria cartaria, procurando due danni (peggioramento della qualità della carta sottraendo gli stracci di qualità migliore, maggiore difficoltà nella vendita all'estero della carta prodotta nello Stato con gli stracci rimasti, sottrazione del dazio che avrebbero pagato gli stracci e la carta esportati regolarmente. Il contrabbando era facilitato dagli estesi confini di terra e di mare, difficili da controllare e dalla facilità di corrompere le truppe di finanza poste sia ai confini che alle dogane.

Mentre alcune delle industrie sopra ricordate fornivano una produzione sufficiente al soddisfacimento del mercato interno, altre ne destinavano gran parte all'esportazione; oltre ad allume, vetriolo, zolfo, ferro (in parte) importanti vendite all'estero si avevano nel campo della lana, della seta e loro manufatti ed anche per tabacco, lino, canapa, coloranti vegetali, ecc.

La scarsa praticabilità delle strade e gli elevati costi dei trasporti via terra aggravati dai numerosi dazi di passo, o transito, erano di forte ostacolo alle esportazioni; per questo vari Pontefici diedero grande sviluppo ai due porti franchi, Civitavecchia ed Ancona, ed alle fiere, specie quella di Senigallia.

Anche se per la ristrettezza dello spazio si è potuto solamente accennare allo sviluppo di poche attività risulta evidente l'interesse dimostrato dai vari Pontefici (o dalla maggior parte di essi) alla creazione e sviluppo di lavorazioni che misurate col metro di allora erano vere attività industriali. Si può anche affermare che nello Stato Ecclesiastico erano presenti non poche industrie e che i Pontefici non trascuravano certamente questo settore, anzi facevano in molti casi il possibile perché fossero all'altezza dello sviluppo raggiunto fuori dello Stato.

Il primo scopo dello Stato Ecclesiastico era quello della divulgazione e protezione della religione cristiana, ma scriveva anche Pio VI «l'introduzione di nuove arti e manifatture e la protezione di quelle che si trovano felicemente sta-

bilite sono stati sempre due oggetti interessanti la paterna nostra sollecitudine costantemente impegnata per la prosperità e felicità dei nostri amatissimi sudditi». Ed infatti le industrie costituivano una fonte di reddito per il suo funzionamento e per lo svolgimento di un'azione sociale a sostegno e salvaguardia delle classi più deboli ed indigenti, che fu sempre una preoccupazione dei Pontefici. Ricordiamo che le entrate di alcune gabelle erano fin dalla loro imposizione destinate direttamente al mantenimento di opere pie (quella dell'appalto della raccolta degli stracci era destinata all'ospizio dei poveri) od anche a sviluppi culturali (l'imposta sull'introduzione del vino era destinata al mantenimento dell'Università della Sapienza).

Pio VI emanando nel 1791 un Editto sul sostentamento e progresso delle cartiere dello Stato Pontificio riconosceva lo sfruttamento fatto «dalla perniciosa classe degli incettatori degli stracci che intorno alla povertà [dei raccoglitori] colloca perpetui oggetti di lucro» stabiliva in primo luogo il prezzo al quale gli stracci dovevano essere ovunque pagati agli stracciaroli. Analogamente l'interessamento per lo sviluppo della tessitura derivava dal fatto che questa si prestava ad una vasta opera sociale: impiegava giovani, povere orfane, vedove in gran numero e consentiva di affidare alcune operazioni ai riformatori per tenere occupati in lavori produttivi giovani reclusi.

ANTONINO DRAGO (*) - ROMINA OLIVA (**)

L'ipotesi di Avogadro.

Storiografie a confronto e una nuova interpretazione (***)

Summary - The former part of the present paper reviews many historical works about Avogadro's well-known hypothesis, according to three fundamental questions. A new approach to the detailed analysis of the *Essay* (1811), where that hypothesis was stated the first time, is then presented. We emphasize several double negated statements and some proofs *ad absurdum*, as an evidence for Avogadro's reasoning by means of a non-classical logic. At last we suggest hints for answering some questions of current debate about Avogadro's hypothesis.

INTRODUZIONE

Questo lavoro si articola in due parti. Nella prima presentiamo una rassegna di quanto fin qui elaborato dagli storici sullo scienziato torinese Amedeo Avogadro (1776-1856), specialmente in relazione all'ipotesi molecolare che egli formulò per primo nel 1811. Non seguiremo un ordine cronologico, ma cercheremo invece un collegamento tra le diverse posizioni attraverso le questioni sollevate e i tentativi di risoluzione proposti. Particolare attenzione sarà posta ai contributi recenti.

Nella seconda parte, un metodo di lettura dei testi originali, proposto da uno di noi (A.D.), ci permetterà di avanzare un'interpretazione nuova sulla specifica maniera di argomentare che ha portato Avogadro alla formulazione dell'ipotesi che l'ha reso celebre. Da questa emergeranno nuovi spunti per il dibattito storiografico su Avogadro.

(*) Gruppo di Storia della Fisica, Dip. Scienze Fisiche, Università di Napoli.

(**) Dipartimento di Chimica, Università di Napoli.

(***) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

1. QUADRO STORIOGRAFICO

Noi individuiamo tre domande che qualunque rivisitazione storiografica sull'opera scientifica di Avogadro non può fare a meno di porsi, più o meno esplicitamente, e sulle quali le risposte delle interpretazioni divergono. È attraverso queste risposte che abbiamo scelto di presentare quanto fin qui elaborato dagli storici sul tema. Ne emerge lo 'stato dell'arte' delle interpretazioni; alcune di esse più chiaramente di altre individuano i problemi e ne tentano una soluzione scientifica puntuale che ricomponе organicamente il quadro dei contributi anche parziali e specifici sull'argomento.

1.1. «Il problema cruciale» per i chimici del primo Ottocento.

In primo luogo, quale era il problema di fondo la cui soluzione rappresentava il fine ultimo dei programmi di ricerca dei chimici e degli scienziati di varia estrazione che si occupavano di chimica ai primi dell'Ottocento? Era la definizione teorica della costituzione ultima della materia, che avrebbe poi portato ai moderni concetti di atomo e molecola o, piuttosto, semplicemente la formulazione di un sistema numerico di combinazione per gli elementi? E come si collocava il programma di ricerca di Avogadro in questo quadro?

Aldo Mieli è forse il primo storico a porre la questione in un articolo apparso nel 1919. In esso Mieli sostiene che, dopo il 1800, il problema cruciale che gli scienziati si trovarono ad affrontare fu quello di «scoprire le regolarità, se esse esistevano, nelle composizioni per le quali si formavano le diverse sostanze. Accanto a questo problema e spesso confuso con esso nella mente dei vari scienziati si trova lo svolgimento di una concezione atomica delle sostanze», che non è però il «nocciolo della questione».¹

Ciardi condivide l'interpretazione di Mieli, anzi la spinge più avanti sostenendo che il problema del «dilemma fisico della differenza tra atomi e molecole ancora non esisteva per gli scienziati del primo Ottocento».² Ciardi include in questo giudizio Avogadro, del quale dice che, come Lavoisier, non era interessato alla struttura intima della materia, piuttosto all'uso di «semplici operazioni algebriche e matematiche in chimica».³ In altre parole, Avogadro avrebbe usato le idee

¹ Mieli, 1919, p. 178.

² Ciardi, 1995, pp. 29-30.

³ Ciardi descrive Avogadro come uno scienziato con una curiosità a tutto campo sempre aggiornato su quanto di nuovo si pubblicava in tutta Europa. Avogadro sarebbe stato appassionato ad un lavoro di sintesi, se non di «collage di informazioni», con un piglio da teorico che mai cercò personalmente conferme sperimentali alla sua ipotesi. Haüy avrebbe avuto una forte influenza sulla sua formazione scientifica. Da Haüy il fisico italiano avrebbe ereditato l'approccio epistemologico di una certa parte della scienza francese, facente capo a Lavoisier, che secondo Ciardi adottava l'uso — dobbiamo dire *ante litteram* — di modelli puramente

daltoniane sulla composizione della materia come un modello strumentalmente utile, a prescindere dalla sua veridicità, al fine di delineare un valido sistema di combinazione particellare, scopo principale delle sue indagini (vedi par. 1.2).

Al contrario, Crosland⁴ individua la distinzione tra i concetti di atomo e molecola come il vero problema della chimica del tempo.

Questa interpretazione è stata condivisa di recente da Boato,⁵ per il quale però vi erano altri problemi in auge nella chimica del primo Ottocento, quali appunto la elaborazione di un sistema numerico di combinazione particellare e la determinazione dei pesi molecolari (alla risoluzione dei quali peraltro Avogadro portò un suo contributo).

La Chevallier, autrice del contributo storiografico più recente tra quelli da noi analizzati, sceglie una terza via. Include infatti *ex aequo* sia il problema della costituzione intima della materia, sia quello delle proporzioni nelle combinazioni particellari (insieme alla continuità e alla 'reversibilità' o meno delle reazioni chimiche) tra le questioni cruciali della chimica del primo Ottocento.⁶ Tuttavia, nella sua interpretazione, l'ipotesi di Avogadro era soprattutto finalizzata alla determinazione delle masse atomiche e delle formule chimiche.⁷

Una posizione minoritaria è rappresentata da Coley,⁸ il quale sostiene che il vero fine della ricerca scientifica di Avogadro era quello di trovare delle relazioni tra le proprietà chimiche e quelle fisiche dei corpi. La stessa celebre ipotesi non avrebbe rappresentato per lo scienziato che un punto di partenza per i suoi studi chimico-fisici.⁹

1.2. La costituzione della materia. Atomi e molecole.

Ora ci chiediamo quale era la concezione della costituzione ultima della materia di Avogadro, a prescindere se questa costituisse o meno una priorità nel suo programma scientifico. La sua ipotesi fu il frutto di una concezione della materia che dava già per acquisite le teorie daltoniane, o piuttosto fu quella ipotesi, una volta sperimentalmente confermata, a servire da fondamento per la costruzione *in fieri* di una precisa concezione della struttura della materia (in termini di atomi e molecole)?

strumentali per l'interpretazione fisica dei fenomeni. In questo senso Ciardi afferma che: «Senza la rivoluzione di Lavoisier l'opera chimica di Avogadro non sarebbe mai esistita» (Ciardi, 1995, p. 16).

⁴ Crosland, 1974, p. 344.

⁵ Boato, 1996, pp. 4-5.

⁶ Scheidecker-Chevallier, 1997, p. 161.

⁷ Scheidecker-Chevallier, 1997, pp. 161-165.

⁸ Coley, 1964, p. 195.

⁹ Per gli studi chimico fisici di Avogadro vedi anche Fox 1971 e Nota 34.

Molti storici, oltre alla quasi totalità dei manuali scientifici, attribuiscono ad Avogadro il merito di avere individuato le molecole biatomiche nei gas semplici. (Ricordiamo tra gli altri Mundy, oltre a Coley, Crosland e Boato, dei quali parleremo più diffusamente).

Nelle parole di Coley l'ipotesi di Avogadro conteneva «l'originale suggerimento che le molecole dei gas elementari fossero biatomiche».¹⁰

Con più decisione Crosland afferma che Avogadro, nel suo *Essay* del 1811, distinse chiaramente tra atomo e molecola.¹¹ Egli argomenta che Avogadro fece uso di ben tre diverse espressioni per riferirsi alle particelle di gas: 'molécule integrante', per molecola, specialmente in relazione ai composti; 'molécule constituante' ad indicare la molecola di un elemento; e infine 'molécule élémentaire' che lo storico ritiene possa essere intesa come atomo. Tale nomenclatura comunque non era nuova, come il Crosland fa notare, per dei precedenti sia in Francia,¹² che in Inghilterra.¹³

La stessa argomentazione, basata sulle molteplici definizioni usate da Avogadro per parlare di particelle gassose, quasi a voler distinguere tra atomi e molecole, è ripresa da Boato,¹⁴ il quale, anche su questo punto, è vicino alle posizioni espresse da Crosland. Boato è però costretto ad annotare che «purtroppo Avogadro non rispetta sempre nel suo articolo [*l'Essay* dell'11] queste definizioni».¹⁵

Boato amplia il discorso. A suo parere l'ipotesi di Avogadro fa riferimento a quel particolare modello teorico ('ipotesi atomico-molecolare') che vede la materia costituita di «molecole, concepite a loro volta come raggruppamenti di atomi, cioè degl'ipotetici costituenti ultimi della materia». Non solo; egli ritiene che negli anni in cui Avogadro lavorava, la base sperimentale che supportava l'ipotesi atomico-molecolare era già sufficientemente stabile¹⁶ da rendere quell'ipotesi «più che convincente» per l'interpretazione della costituzione dei corpi. Di conseguenza le speculazioni di Avogadro si sarebbero sviluppate sulla base di tale concezione della materia, in cui era stato decisivo il contributo di Dalton.

Di tutt'altro parere è Ciardi, il quale sulla questione che abbiamo qui sollevato è esplicito. Per Ciardi l'ipotesi di Avogadro «non chiarì il dilemma fisico della differenza tra atomi e molecole».¹⁷ Difatti Avogadro non disse mai quante

¹⁰ Coley, 1964, p. 198.

¹¹ Crosland, 1974, p. 344.

¹² *Macquer's Dictionnaire de Chimie*, 1766.

¹³ *Fourcroy's Textbook*, 1800.

¹⁴ Boato, 1996, p. 19.

¹⁵ Boato 1996, Nota 36, p. 43.

¹⁶ Una prova, seppure indiretta, sarebbe venuta ad esempio dagli studi di Hauy sulle forme geometriche dei cristalli.

¹⁷ Ciardi, 1995, pp. 29-30.

fossero le particelle più semplici (le 'molécules élémentaires') di cui si componeva la molecola di un composto o di un elemento gassoso, né scartò la possibilità di un'ulteriore suddivisione rispetto a quella fin lì osservata. In questa ottica la 'molécule élémentaire' di Avogadro non è altro che il corrispettivo dell'elemento lavoisieriano, risultato contingente dell'insieme delle operazioni di decomposizione effettuate fino a quel momento. L'adesione data alle teorie daltoniane sulla costituzione dei corpi fu di tipo «chimico ma non fisico» (vedi Note 3 e 32). Ciardi ne conclude che quella di Avogadro non fu una visione daltoniana della materia, bensì «newtoniana, cioè composta da infiniti livelli particellari».¹⁸

Su posizioni analoghe troviamo la Chevallier.¹⁹ Anch'ella si pronuncia chiaramente sulla questione: «la molecola di gas di Avogadro non ha alcuna struttura precisa ... è la molecola che è in rapporto diretto con un volume suscettibile di essere misurato». Ella fa notare che Avogadro «non si pronuncia sull'atomicità»: per parlare di particelle gassose egli si rifà ad un vocabolario già in uso e quando ricorre alla parola 'atomo' — siamo nel 1833 — lo fa come sinonimo di 'molécule constituante', ovvero molecola di un composto. La Chevallier cita a questo proposito Bonner, il quale afferma che la 'molécule élémentaire' di Avogadro non possiede alcuna «indipendenza ontologica», tanto è vero che se Avogadro avesse visto in essa un atomo, nell'accezione corrente, si sarebbe senz'altro occupato di determinarne il peso (i pesi atomici). Cosa che Avogadro non fece e invece fece più tardi Cannizzaro.²⁰ Non stupisce pertanto che la Chevallier sia in accordo con Ciardi quando egli dice, come già visto, che la visione della materia di Avogadro era di tipo newtoniano, piuttosto che daltoniano (vedi Nota 18).

Tutto ciò la porta ad affermare, con Mauskopf, che a promuovere l'idea della 'poliatomicità', il contributo di Avogadro sia stato meno determinante di quello di Ampère coi suoi studi sulla costituzione dei cristalli, poi ripresi da Gaudin.²¹

¹⁸ Ciardi, 1991, p. 213. La materia di Newton è costituita di unità di base identiche — i corpuscoli di Newton, duri e impenetrabili — tenute insieme da forze fisiche. È cioè una materia omogenea dove qualsiasi sostanza può interconvertirsi in qualunque altra per opportuno riarrangiamento di tali particelle ultime. Per Dalton invece ciascun atomo ha una sua specificità — data dalla sua massa — e nelle reazioni chimiche non si trasforma, semplicemente si 'addiziona' ad altri atomi. Avogadro non dice dove si arresta il processo di scomposizione delle molecole gassose allorché esse reagiscono, in questo senso la sua visione della materia sembra, con Newton, formata da «infiniti livelli particellari». (Si noti però che il newtonianesimo di cui si parla in Avogadro non è da mettere in relazione in nessun modo all'intero approccio epistemologico dello scienziato inglese, bensì solo ad alcuni dei suoi contenuti).

¹⁹ Scheidecker-Chevallier, 1997, pp. 170-176.

²⁰ La stessa argomentazione si trova pure in Ciardi (1991, p. 213; 1995, Nota 8, p. 44).

²¹ Dell'articolo della Chevallier noi abbiamo scelto di riportare solo quanto riguarda più specificamente Avogadro; l'autrice conduce invece il suo studio sull'interpretazione dell'ipotesi 'uguali volumi-stesso numero di particelle' sul doppio binario delle due formulazioni pressoché contemporanee (ma, le preme sottolineare, non per questo identiche) da parte di Avogadro (1811) e di Ampère (1814).

Concludiamo questa sezione con le parole di colui che per primo seppe interpretare e trasmettere senza ambiguità²² le idee di Avogadro, Stanislao Cannizzaro.

Sulla questione della poliatomicità Cannizzaro²³ ha da dire: «Questi due fisici [Avogadro ed Ampère; quest'ultimo, com'è noto, formulò indipendentemente l'ipotesi 'uguali volumi-stesso numero di particelle' tre anni dopo Avogadro] avendo ammesso la divisibilità di quelle particelle che si pongono ad eguali distanze nei fluidi elastici in eguali condizioni, non negarono [non dice: 'affermarono'] che esistessero altre unità di un ordine inferiore, le quali entrassero sempre in parte sì nelle molecole dei corpi semplici, come in quelle dei composti». La loro teoria «non escludeva [ma non dice: 'sanciva'] l'esistenza di quelle particelle ultime dei corpi, indivisibili in tutti i fenomeni chimici a noi noti; soltanto diceva che queste particelle non erano sempre le molecole, ma spesso una frazione di esse; però una frazione semplice, un sottomultiplo intero».

1.3. *La ricezione dell'ipotesi di Avogadro.*

Nella sua ipotesi, com'è noto, Avogadro sostiene che uguali volumi di sostanze diverse, allo stato gassoso, contengono lo stesso numero di particelle. Aggiunge poi che, perché questo sia un principio di valenza generale, si deve ammettere che, nel corso delle reazioni chimiche, tali particelle si suddividano in altre di ordine inferiore.

Perché quest'idea, che oggi appare di lettura immediata, pronta per essere usata al tempo della sua formulazione al fine di dipanare questioni fin'allora non risolte e gravida di successivi sviluppi, dovè attendere 50 anni e l'intervento di un fisico del calibro di Cannizzaro per la sua definitiva affermazione? È questa la terza e ultima questione storiografica che ci apprestiamo ad affrontare. In effetti è proprio il tema della tarda affermazione della sua ipotesi quello più dibattuto dalla storiografia su Avogadro.

Per un elenco completo delle interpretazioni proposte al 1984, rimandiamo a Morselli.²⁴ Noi qui ci limiteremo ad illustrarne alcune che a nostro parere sono le più rilevanti, o perché più convincenti o perché riproposte spesso, o semplicemente perché ribadite di recente.

²² Una voce isolata è quella di Mauskopf (Mauskopf, 1969, p. 72), il quale avverte che fu A.E. Baudrimont prima di Cannizzaro a dare, nel 1831, una chiara interpretazione dell'ipotesi di Avogadro-Ampère.

²³ Cannizzaro, 1858, pp. 191-192.

²⁴ Morselli, 1984, pp. 113-122. Ricordiamo che Morselli, nell'espone e criticare le interpretazioni proposte, suggerisce che le considerazioni puramente scientifiche sono forse da considerarsi inadeguate, e che si possono invece rivelare «fondamentali le componenti umane [non ultima l'avversione di Avogadro per i viaggi] e storiche [quali il disordine politico e la frammentazione culturale dell'Italia di quegli anni]».

Tutte le interpretazioni partono da due premesse alternative: in un caso si ritiene che l'ipotesi di Avogadro era pressoché sconosciuta prima che Cannizzaro la illustrasse al congresso di Karlsruhe (1860); nell'altro, al contrario, si afferma che essa era conosciuta e dibattuta, solo che non riuscì a conquistare credito fino a quel momento.

Tra i sostenitori della mancata conoscenza delle idee di Avogadro troviamo Crosland.²⁵ Secondo Crosland questa sarebbe da imputare allo scarso prestigio delle riviste che pubblicarono gli scritti di Avogadro, all'isolamento in cui lo scienziato visse e lavorò rispetto al mondo accademico del suo tempo (fino al periodo tardo, quando tale isolamento fu parzialmente interrotto solo da una scarsa corrispondenza epistolare, ad es. con Faraday), ma anche alla modestia del suo carattere.²⁶

Coley, che è su posizioni analoghe, sottolinea l'inaccessibilità dei primi lavori di Avogadro.²⁷

Ancora, di recente, Boato ha sostenuto che il ritardo del mondo accademico nel riconoscere i meriti di Avogadro può trovare una giustificazione «nella sua provincialità e negli scarsi contatti, esclusivamente epistolari, con i chimici e i fisici dell'epoca».²⁸

Al contrario, interi lavori sono stati dedicati a dimostrare come l'ipotesi di Avogadro non fu affatto ignorata tra il 1811, anno della sua formulazione, e il 1860, I Congresso internazionale della chimica a Karlsruhe.²⁹ A questa tesi fanno capo diversi tra i contributi storiografici più recenti.

Ad esempio Ciardi, nel ribadire che l'ipotesi di Avogadro non fu affatto ignorata prima di Cannizzaro, porta a conferma due fatti: il primo è che essa fu citata nel 1822 come metodo per determinare le masse molecolari nell'*Encyclopédie méthodique*,³⁰ dove tuttavia si avvertiva che per essa non vi erano conferme sperimentali; il secondo è che l'Avogadro dedicò nel 1838 alcune pagine del suo volume *Fisica dei corpi ponderabili*³¹ ad elencare chi dopo di lui aveva più o meno esplicitamente accettato la sua ipotesi e chi invece l'aveva osteggiata (tra gli ultimi Dalton e i fisici inglesi, Henry e Berzelius). Ciardi d'altronde non trova che quella della fortuna dell'ipotesi di Avogadro sia una vicenda così singolare. A suo parere anche lo stesso «atomismo fisico di Dalton fu tutt'altro che un successo».³²

²⁵ Crosland, 1974, p. 344.

²⁶ L'Avogadro dichiara nel brano conclusivo del suo *Essay* del 1811 che il suo studio non è che un'estensione di quelli dei suoi due colleghi: Dalton e Gay-Lussac; questo fatto è preso da Crosland a testimonianza della sua modestia.

²⁷ Coley, 1964, p. 210. Coley cita Hofmann e Bence Jones, che nel 1849 (*Ann. Reports of the Progress of Chemistry*, vol. III), lamentarono l'inaccessibilità dei primi lavori di Avogadro.

²⁸ Boato, 1996, p. 24.

²⁹ Ricordiamo tra gli altri Fisher 82 e Brooke 81.

³⁰ *Encyclopédie méthodique, Physique*, IV, 1822, p. 109.

³¹ *Fisica dei corpi ponderabili*, 1838, vol. II, libro IV, parte I, capo 3°, par. II.

³² Ciardi parla di «falsa rivoluzione daltoniana», sostiene cioè che la teoria atomica dal-

Morselli, da parte sua, si dice convinto che Berzelius, Dumas e Gay-Lussac, tra i più grandi scienziati del tempo, fossero a conoscenza dell'*Essay* dell'11 in cui Avogadro enunciava per la prima volta la sua ipotesi. Morselli ricorda che in quello stesso anno addirittura Berzelius pubblicò un suo articolo sulla medesima rivista (*Journal de physique, de chimie et ...*) su cui era apparso l'*Essay* di Avogadro.

Passiamo ora alle interpretazioni che vengono proposte, a partire da questa seconda premessa, sulla ritardata affermazione dell'ipotesi di Avogadro. Esse sono molteplici e assai diversificate.

Alcune di queste fanno capo alla presunta inconsistenza del linguaggio scientifico di Avogadro. Ad esempio Mauskopf ritiene che sia stata la mancanza di chiarezza, da parte di Avogadro, sui concetti di atomo e molecola, e quindi nella terminologia relativa, a giustificare il ritardo con cui il mondo scientifico accettò la sua ipotesi.³³

Altre interpretazioni sottolineano la incompatibilità della teoria di Avogadro con altre teorie contemporanee. Ad esempio come giustificare dal punto di vista elettrico, molto prima della meccanica quantistica, un'attrazione che potesse tenere insieme più 'molécule élémentaire' di uno stesso elemento in una sola particella gassosa (in termini moderni una molecola poliatomiche)?

Altre ancora sottolineano l'incapacità dell'ipotesi di Avogadro, al tempo della sua formulazione e ancora per alcuni decenni a venire, a spiegare alcune anomalie nella densità di vapore di diversi elementi e composti.

Alcuni sostengono, invece, che nel panorama scientifico internazionale Avogadro semplicemente non godesse della necessaria credibilità. Tra questi, Fox suggerisce che siano state le idee fisiche sullo stato gassoso, specialmente gli studi sul calorico,³⁴ promosse da Avogadro e da lui presentate in stretta con-

toniana, lungi dall'essere accolta così com'era stata concepita, subì i filtri della cultura scientifica continentale. In primo luogo all'atomo daltoniano si sostituì la 'molécule constituante', inoltre essa fu accolta solo come un'ipotesi di tipo modellistico. E in questo senso, secondo Ciardi, l'assimilò Avogadro.

³³ Mauskopf sostiene quindi che a fare da 'battistrada' a tale ipotesi furono gli studi di Ampère prima e di Gaudin dopo, i quali studi riguardavano il collegamento tra composizione chimica e forma dei cristalli, quindi l'arrangiamento spaziale degli atomi. Per questa interpretazione vedi anche Greenaway, 1966 e Nash, 1957.

³⁴ Avogadro riteneva che la luce e il calore fossero dei 'corpi fluidi imponderabili' (di qui il titolo del suo volume di fisica *Fisica dei corpi ponderabili*, 1837-41), per i quali le diverse sostanze mostrassero diverse affinità. In particolare le particelle allo stato gassoso, dotate di estensione, esibivano una specifica affinità per il calorico a seconda dell'elemento o degli elementi che le costituivano. Mediante queste affinità, diverse da sostanza a sostanza, esse erano in grado di trattenere una certa quantità di calorico in forma sferica. Nell'*Essay* del 1811, com'è noto, Avogadro ipotizzò che in volumi uguali di gas diversi si doveva trovare un ugual numero di particelle. Per giustificare quest'idea nell'ambito della sua teoria sul calorico, egli propose che le sfere di calorico trattenute dalle particelle gassose (o, se si vuole, contenenti le particelle gassose) fossero contigue nello spazio e tutte egualmente estese (indipendentemente

nessione alla propria ipotesi, in qualche modo a sostegno di essa,³⁵ a giustificare il ritardo con cui il mondo scientifico fu disposto a darle credito.

Ancora, si può pensare che Avogadro fosse invisibile a qualche prestigioso scienziato suo contemporaneo. Questo infatti suggerisce Ciardi, che sottolinea la diversità di posizioni di Avogadro, su alcune questioni fondamentali, con quello che era forse il chimico più influente di quegli anni: Berzelius.³⁶ A parere di Ciardi i contrasti con Berzelius hanno potuto nuocere alla credibilità di Avogadro e hanno ritardato l'affermazione della sua ipotesi.

Tuttavia Ciardi riprende anche un'altra delle interpretazioni più battute, cioè l'abuso che Avogadro avrebbe fatto dello strumento dell'analogia. Morselli ricorda che questo procedimento portò Avogadro a risultati erronei per i pesi atomici e molecolari di diverse sostanze non gassose.³⁷

Un'altra soluzione, già proposta da Fischer, Brooke, Rocke, Frické, e ripetuta di recente dalla Chevallier, consiste nel dire che la teoria di Avogadro non è stata preferita ad altre fin tanto che non trovò applicazione nella risoluzione pratica dei problemi dei chimici del tempo. Ad esempio Fisher si domanda retoricamente: perché i chimici del primo Ottocento dovevano porre attenzione all'ipotesi di Avogadro? Di che utilità pratica essa si dimostrava nei loro studi? Di che interesse poteva risultare la divisione delle molecole gassose in altre di

dal tipo di sostanza), però più o meno rarefatte a seconda della specifica attrazione per il calorico esercitata dalle diverse sostanze. Fox ci dice che in seguito Avogadro condivise con altri scienziati del suo tempo il progetto (di matrice newtoniana-laplaciana) di risalire alla costituzione qualitativa e quantitativa delle diverse sostanze a partire da una qualche proprietà macroscopica osservabile. A tal fine egli elaborò più di una legge in cui figuravano delle grandezze fisiche (indice di rifrazione o calore specifico), ma spesso dové ritoccarle per rendere conto di nuovi risultati sperimentali di cui veniva a conoscenza. Fox ritiene che con questi lavori Avogadro si sia procurato il discredito del mondo scientifico del tempo. (Ad esempio Dulong bollò come troppo speculativi gli studi di Avogadro sugli indici di rifrazione, mostrando di non nutrire grande stima nei suoi confronti). Ma quel che più conta per Fox è che Avogadro rimase fedele alle sue teorie sul calorico (in particolare la connessione tra affinità chimica e calori specifici) fino alla fine degli anni venti, quando, a parere di Fox — che peraltro non ci sentiamo di condividere —, ormai nel mondo scientifico il concetto di calorico era generalmente ritenuto 'superato'.

³⁵ Secondo Ciardi (Ciardi, 1991, p. 214): «L'interesse che il fisico torinese manifestò nei decenni successivi [al 1811] per la problematica del calorico nacque proprio dal desiderio di poter ottenere conferme fisiche all'ipotesi numerica basata sulla combinazione dei volumi gassosi».

³⁶ Ciardi, 1995, pp. 32-35. Oltre al disaccordo sull'ipotesi dei gas (vedi più avanti nel testo), Avogadro sosteneva, contrariamente a Berzelius, che non ci fosse una separazione netta tra mondo organico e inorganico; inoltre egli riteneva che l'acidità fosse una proprietà relativa degli elementi, non assoluta, com'era invece per Berzelius.

³⁷ Alcuni esempi sono costituiti da Cu, Fe e Ag, tutti elementi per i quali Avogadro propose pesi errati nella *Mémoire* del 1814.

ordine inferiore, quando essi trattavano con gli equivalenti e avrebbero in buona parte continuato a farlo quasi fino al declinare del secolo?

Infine, un'altra interpretazione interessante è quella che ricorre all'alone di confusione che circondava l'ipotesi di Avogadro. La corrispondenza tra i volumi e i numeri di particelle gassose, infatti, fu ipotizzata più volte in quegli anni da vari autori, spesso in maniera diversa e sempre con argomentazioni diverse. Berzelius ad esempio nel 1813 sostenne che uguali volumi di gas, a parità di altre condizioni, contenevano lo stesso numero di atomi. Stessa idea aveva sostenuto e poi ritrattato Dalton nel 1808 (vedi Nota 51). Nel 1814 fu Ampère a riproporre l'ipotesi, questa volta proprio con le 'molecole divisibili' di Avogadro, in una formulazione molto più complessa e confusa, poiché in stretta connessione con le sue idee sulle forme cristalline. Infine Dumas, nel 1826, come dice Morselli, «mescolò le idee di Avogadro e di Ampère arrivando a conclusioni assurde e inaccettabili». In definitiva i chimici del tempo non avrebbero compreso a quale 'livello particellare' si dovesse applicare tale ipotesi. In proposito Morselli fa notare che Avogadro si rifiutò sempre di adottare la simbologia proposta da Berzelius nel 1813 (quella attualmente in uso, che ad ogni elemento fa corrispondere la prima o le prime due lettere del suo nome latino), la quale forse «avrebbe aiutato a chiarire il pensiero di Avogadro».

A tale interpretazione sembra aderire lo stesso Cannizzaro;³⁸ per il quale, il fatto che questa teoria, per quanto semplice, «non fu compresa nel suo vero spirito che da pochissimi chimici» è da attribuire alla «mala applicazione» che se ne era fatta, la quale pareva condurre a risultati in disaccordo «con quelli dedotti da altre considerazioni chimiche; alcuni fatti male osservati parvero distruggerla». Cannizzaro conclude che tuttavia, dal momento che essa si è dimostrata sorgente di progressi per alcuni chimici che hanno usato tale teoria come guida per le loro ricerche, specialmente nel campo della chimica organica, lo sviluppo stesso della scienza ha ricondotto gli scienziati ad essa.

2. ANALISI DELL'ESSAY: LA PRIMA FORMULAZIONE DELL'IPOTESI

L'Essay d'une manière de déterminer les masses relatives ..., sesto lavoro di Avogadro, appare nel 1811 sul *Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire Naturelle* (rivista edita da de La Mètherie). L'articolo è suddiviso in otto paragrafi. È nei primi due paragrafi che Avogadro enuncia per la prima volta la sua ipotesi molecolare, sviluppando, nel primo, l'idea — fortemente suggerita dai risultati sperimentali di Gay-Lussac (1809) — che esistono rapporti semplici tra i volumi delle sostanze gassose e i numeri di molecole semplici che le formano, e, nel secondo, l'idea — questo è il suo contributo più originale — che durante

³⁸ Cannizzaro, 1858, p. 192.

le reazioni tra gas possa aver luogo una divisione delle «molécules constituan-tes» in un certo numero di «molécules élémentaires». I paragrafi III-VII sono dedicati all'applicazione dell'ipotesi appena formulata per la determinazione dei pesi molecolari di un numero di sostanze semplici e composte, e inoltre al confronto tra i risultati così ottenuti e quelli recentemente riportati in letteratura (in particolare da Dalton e Davy). Nella sezione VIII, nel concludere, Avogadro rivendica alla propria ipotesi il ruolo di «principio generale» in grado di fornire un collegamento tra il sistema di Dalton per la determinazione delle masse molecolari e i recenti lavori di Gay-Lussac.³⁹

Noi ci occuperemo in particolare dei paragrafi I e II, cui è affidato il contributo teorico dell'*Essay*. Nell'analizzare il modo di argomentare di Avogadro per arrivare alla prima formulazione della sua ipotesi, faremo uso di categorie proposte da uno di noi,⁴⁰ il quale ha riscontrato, nelle opere originali dei fondatori di alcune teorie scientifiche, l'uso frequente di frasi doppiamente negate ($\neg\neg A$: non è vero che non è A). Queste non sono equivalenti alle corrispondenti frasi positive, quindi per esse non vale la legge della doppia negazione (per la quale $\neg\neg A = A$), proprio come accade per la logica intuizionista e, più in generale, per le logiche non classiche. Nel passato questo tipo di ragionamento è stato valorizzato da Leibnitz, che riteneva il principio di ragion sufficiente («Nulla è senza causa») di pari importanza del principio di non contraddizione per fondare il pensiero umano. Però l'ambiente scientifico è stato sempre diffidente verso questo tipo di ragionamento.⁴¹

Tuttavia il recente lavoro di analisi comparata di teorie moderne fa vedere che in genere un contenuto scientifico espresso mediante una frase doppiamente negata individua un problema: infatti, mentre da una parte i mezzi operativi sono insufficienti a decidere una questione (ad es. affermando A), dall'altra si vede, ricorrendo a procedimenti logici, che è assurdo che non sia A. Su un problema di questo tipo si può fondare una teoria, la quale evidentemente non ha una organizzazione deduttiva-aristotelica (sia in quanto, avendo frasi doppiamente negate, non può partire da principi dati per certi e affermati senza ambiguità, sia perché non opera deduzioni da questi mediante l'uso della logica classica), ma ha invece una organizzazione che possiamo dire 'problematica'.

La presenza di frasi doppiamente negate rappresenta dunque la caratteristica formale di una teoria ad organizzazione problematica; ma esse ne costituiscono anche i principi metodologici. Infatti 'schiacciare' una frase doppiamente negata nella sua corrispondente affermativa può costituire una indebita idealiz-

³⁹ Morselli ha fatto notare che le sezioni V, VI e VIII furono scritte da Avogadro solo dopo aver letto, nel Nov. del 1810, la *Bakerian Lecture* di Davy (12 Luglio 1810) sull'acido ossimuriatico, che offriva nuovo materiale di confronto per alcuni pesi molecolari.

⁴⁰ Drago, 1994.

⁴¹ Mancosu, 1996.

zazione, che annulla il problema contenuto nella doppia negazione e, con esso, ogni possibilità di arricchimento sul tema. Al contrario, una teoria ad organizzazione problematica, una volta posto il problema ($\neg\neg A \neq A$) e indicata la direzione per risolverlo, costruisce un metodo generale per trovare quanti più contenuti è possibile di quella questione (A) che all'inizio non poteva essere affermata sopprimendo le due negazioni.

2.1. *Analisi del Paragrafo I.*

Nel primo paragrafo dell'*Essay* Avogadro sviluppa, come già detto, l'idea che costituisce la prima parte della sua ipotesi. (Ricordiamola nella formulazione che egli ne diede nella *Memoire* del '14: «volumi uguali di sostanze gassose, a pressione e temperatura uguali, rappresentano numeri uguali di molecole»).

L'*Essay* vuole interpretare i risultati sperimentali presentati da Gay-Lussac due anni prima, dai quali risulta che «le combinazioni di gas tra loro avvengono sempre in rapporti molto semplici in volume, e che, quando il risultato della combinazione è gassoso, il suo volume è anch'esso in rapporto molto semplice con quello dei suoi componenti». Da questa premessa, cioè da dati macroscopici oggettivi, Avogadro passa allora alle ipotesi microscopiche. Lo fa giustamente con una frase doppiamente negata, così come si conviene per ipotesi metodologiche non ancora comprovate dall'esperienza: «Ma i rapporti delle quantità delle sostanze nelle combinazioni non sembrano dipendere che dal numero relativo delle molecole che si combinano, e da quelle delle molecole composte che ne risultano». Dopodiché, dalla premessa sperimentale, egli ricava come conseguenza logica, attraverso un ragionamento per assurdo, la prima parte della sua celebre ipotesi.⁴²

Partendo infatti dall'assunzione contraria, e cioè che «il numero di molecole contenute in un dato volume è differente per i diversi gas», egli ricava una conseguenza inaccettabile in quanto impedirebbe qualsiasi collegamento tra il modello microscopico e i fatti sperimentali macroscopici; cioè «non sarebbe assolutamente possibile concepire che la legge che regola la distanza delle molecole possa dare, in tutti i casi, quei rapporti così semplici che i fatti, che abbiamo appena citato, ci obbligano ad ammettere tra i volumi e i numeri di molecole». Di fatto egli si attiene al principio metodologico: è impossibile che i rapporti macroscopici di combinazione non siano determinati dai rapporti molecolari.

Notiamo ancora che, nel ricavare la sua ipotesi, Avogadro fa ricorso a ragionamenti sui soli risultati sperimentali di Gay-Lussac e a nessuna ipotesi di natura fisica sulla costituzione della materia. A questo punto o si rifiutano come non attendibili i risultati di Gay-Lussac, oppure necessariamente si accetta anche l'i-

⁴² Morselli (1980, p. 87) ritiene che Avogadro dia la propria dimostrazione «per esclusione di altre soluzioni».

potesi 'uguali volumi-stesso numero di particelle'. Nel secondo caso si tratta allora di precisare il modo con cui le molecole sono relazionate tra loro. Qui Avogadro presenta un suo modello che lega le molecole al calorico (vedi Nota 34 per la teoria del calorico di Avogadro).

Lo fa ricorrendo a frasi doppiamente negate per sottolineare il carattere euristico del modello.

Egli dice che, trattandosi di gas, cioè di materia rarefatta, le diverse sostanze possono attrarre il calorico in maniera diversa tra loro, ma «senza che l'atmosfera [di calorico] formata sia più estesa per le une che per le altre [diverso da: 'è uguale per tutti'] e, per conseguenza, senza che la distanza tra le molecole vari [non è lo stesso che dire: 'la distanza tra le molecole resta costante'], o, in altre parole, senza che il numero di molecole contenute in un volume dato sia affatto differente [diverso dal dire: 'il numero delle molecole ... è uguale']».

Egli ricorda tuttavia che Dalton ritiene esattamente il contrario, e cioè che le particelle dei diversi gas attraggono una stessa quantità di calorico, però in forma più o meno condensata (a seconda della loro specifica affinità), facendo così variare la distanza tra le molecole. Ma, osserva Avogadro, noi siamo «nell'oscurità» sperimentale per quanto riguarda questa attrazione del calorico; la qual cosa ci porterebbe «ad adottare un'ipotesi mista, che faccia variare la distanza delle molecole e la quantità di calorico secondo delle leggi sconosciute», se però l'ipotesi «che noi abbiamo esposto non fosse supportata da questa semplicità di rapporti tra i volumi nelle combinazioni dei gas, la quale non sembrerebbe poter essere spiegata altrimenti».

Dove l'ultima frase costituisce ancora un ragionamento per assurdo, o meglio la sua espressione più breve, costituita dal principio di ragion sufficiente.⁴³

Segue poi una pagina di tentativi di applicazione delle sue idee a varie sostanze gassose.

2.2. *Analisi del Paragrafo II.*

Una volta ammesse la validità dell'idea, conseguente dai dati sperimentali ottenuti da Gay-Lussac, della corrispondenza tra i volumi e i numeri delle particelle gassose, ad Avogadro rimaneva ancora qualcosa da spiegare. Per chiarezza ricorreremo ad un esempio. Sempre Gay-Lussac aveva mostrato che quando l'i-

⁴³ Ciardi dice in proposito che «Le riflessioni sulla natura fisica della materia e, in particolare, quelle riguardanti le relazioni tra fluido calorico e particelle vengono proposte da Avogadro seguendo un criterio di interpretazione puramente qualitativo. Il fisico torinese sottolinea chiaramente di non voler affermare la validità della sua ipotesi su quella di Dalton». (Ciardi '95, Nota 2, p. 40). Qui il «qualitativo» è in realtà un formalismo logico, che è di tutt'altra natura dall'argomentare metafisico suggerito dall'uso della parola «qualitativo» in ambiente scientifico. Inoltre Ciardi sembra equivocare il giudizio di Avogadro sull'ipotesi di Dalton.

drogeno reagisce con l'ossigeno per dare acqua, si osservano i seguenti rapporti in volume: 2 volumi di idrogeno si combinano con 1 volume di ossigeno, per dare 2 volumi di acqua (allo stato di vapore). Dunque i rapporti semplici, tra i volumi di reagenti e prodotti, sono rispettati. Fin qui tutto normale; tuttavia si può notare che vi è un dato in più, ovvero che il volume del prodotto risultante (l'acqua) è doppio rispetto a quello di uno dei reagenti (l'ossigeno).⁴⁴ Avogadro si propone allora di spiegare quest'altro aspetto dei dati sperimentali di Gay-Lussac, aspetto che può esser posto come obiezione alla sua affermazione, cioè sembra «a prima vista opporsi all'ammissione della nostra ipotesi riguardo i corpi composti...; ma c'è una maniera molto naturale di spiegare i fatti di questo tipo secondo la nostra ipotesi».

Anche in questo caso egli segue un procedimento logico. Per spiegare questi dati, che si impongono come nuove premesse, Avogadro non rinuncia alle conseguenze già tratte.⁴⁵ Egli ha dunque a disposizione, oltre ai dati stessi, l'ipotesi 'uguali volumi-stesso numero di particelle' che ha appena formulato. Dall'insieme di queste premesse Avogadro ricava la seconda parte della sua ipotesi, ovvero che durante le reazioni chimiche allo stato gassoso si possa avere una divisione delle molecole dei reagenti. Per tornare all'esempio della reazione di formazione dell'acqua allo stato gassoso: qui le particelle di ossigeno si dividono in due 'molécules élémentaires', ciascuna delle quali va a formare una molecola d'acqua; questo spiega i rapporti in volumi osservati.

Il significato fisico associato è ancora una volta espresso attraverso una frase doppiamente negata, ma ora seguita dalla corrispondente affermativa, tuttavia limitata da una ambiguità («certo»). Avogadro dice infatti che le particelle gassose «non sono formate da una sola 'molécule élémentaire', ma risultano da un *certo* numero di queste molecole riunite in una per attrazione». Significativo questo passo, ed esemplificativo di quello che può essere una frase doppiamente negata, usata in ambito scientifico. Si usano le doppie negazioni, ma sapendo che non tutti le accettano, si cerca di passare al più presto alla corrispondente frase affermativa, che però risulta vincolata o limitata. Senz'altro qui si individua un problema fondamentale: Avogadro può dire, basandosi sui dati sperimentali di Gay-Lussac, che una particella gassosa non si compone di una sola 'molécule élémentaire', ma, d'altra parte, nessun dato sperimentale indica con precisione di *quante* 'molécules élémentaires' essa sia composta!

Poi passa alla dimostrazione della seconda parte dell'ipotesi, che è data mediante ragionamenti per assurdo. «La possibilità di questa divisione delle

⁴⁴ Naturalmente quello dell'acqua è solo uno dei molteplici casi analoghi osservati, si pensi ad esempio al monossido di diazoto, N_2O , per Gay-Lussac: «ossido d'azoto».

⁴⁵ Rispettando *ante litteram* il criterio di monotonia, uno dei criteri discriminanti le logiche normali, classiche e non, secondo il quale l'aggiunta di nuove premesse non deve diminuire il numero delle conseguenze.

molecole composte avrebbe potuto essere congetturata anche *a priori*; poiché altrimenti le molecole integranti dei corpi composti da più sostanze con numeri relativi di molecole piuttosto considerevoli, diventerebbe di una massa eccessiva in confronto alle molecole dei corpi semplici». È evidente il principio metodologico: è impossibile che la massa dei corpi composti non sia paragonabile a quella dei corpi semplici.

Ma certamente un ragionamento completamente *a priori* non è del tutto soddisfacente. Perciò egli ne propone un altro, comunque sempre per assurdo. «D'altronde un'altra considerazione parrebbe obbligarci ad ammettere, in qualche caso, la divisione di cui si tratta; poiché come si potrebbe altrimenti concepire una reale combinazione tra due corpi gassosi che si riuniscono in volumi uguali, senza condensazione, così come avviene nella formazione del gas nitroso?⁴⁶ [Qui la doppia negazione è data dal senza e dall'interrogativo retorico (che chiaramente assume una risposta negativa)].

Restando le molecole ad una distanza tale per cui l'attrazione mutua delle molecole dei due gas non si può esercitare, non si potrebbe supporre che una nuova attrazione abbia avuto luogo tra le molecole dell'uno e quelle dell'altro [Il principio metodologico qui è il seguente: 'È impossibile che cambi la forma di interazione tra le molecole gassose, cioè allo stato rarefatto']; ma nell'ipotesi [mia] della divisione, si vede bene che la combinazione riduce realmente due molecole differenti ad una sola, e che [d'altra parte] si avrebbe contrazione del volume di uno dei gas, se qualche molecola composta non si dividesse in due molecole della stessa natura». Le ultime due frasi costituiscono un ulteriore teorema per assurdo, il cui senso è: risulta impossibile spiegare le reazioni in cui il volume totale dei prodotti è uguale a quello dei reagenti, se non ricorrendo alla divisione delle molecole reagenti.

CONCLUSIONI

Come abbiamo appena mostrato, la prima formulazione dell'ipotesi di Avogadro procede tutta mediante teoremi per assurdo e frasi doppiamente negate. Dal che risulta che l'organizzazione della teoria di Avogadro, relativamente alle molecole gassose, è di tipo problematico. Questo modo di argomentare e di organizzare la teoria indica una precisa impostazione metodologica di grande coerenza scientifica, anche se si fonda su un argomentare con la logica non classica.

⁴⁶ Si tratta del monossido di azoto, NO. Nella sua reazione di formazione, 1 volume di azoto reagisce con 1 volume di ossigeno per dare 2 volumi di ossido. Il volume totale dei prodotti è identico a quello dei reagenti. In questo senso si tratta di una reazione «senza condensazione». Al contrario, quella dell'acqua costituisce un esempio di reazione con condensazione, infatti in essa il volume dei prodotti è pari ai 2/3 di quello dei reagenti.

La nostra interpretazione allora riconduce Avogadro nel filone di quegli scienziati che, a partire da Lavoisier e passando poi per S. Carnot,⁴⁷ fondarono la chimica come una scienza del tutto nuova (che da subito guadagnò la propria indipendenza dalla fisica), sulla base di una impostazione metodologica minoritaria, alternativa a quella della dominante meccanica newtoniana.

In questo senso possiamo concludere che, ai primi dell'Ottocento, Avogadro contribuì a fondare la teoria chimica all'interno del medesimo atteggiamento epistemologico che, con Lavoisier, l'aveva vista nascere, e che utilizzava, più che il formalismo della matematica, il formalismo della logica.

Questa interpretazione introduce nuovi elementi per rispondere alle tre questioni poste nella prima parte di questo lavoro.

In primo luogo, Avogadro ha ricavato la sua ipotesi con soli ragionamenti di natura euristica, a partire da precisi dati sperimentali, in particolare quelli esposti da Gay-Lussac in un articolo che trattava di «combinazione delle sostanze gassose».⁴⁸ Quindi nessuna metafisica sulla costituzione della materia. Aggiungiamo il fatto che Avogadro nel 1814,⁴⁹ a soli tre anni dalla prima formulazione, dichiarò che la sua ipotesi permetteva di «perfezionare la teoria delle proporzioni definite, che è, o sta per divenire la base di tutta la Chimica moderna, e la sorgente dei suoi progressi futuri», quindi senza riferimenti alle ipotesi fisiche sulla materia.⁵⁰

In secondo luogo, Avogadro avrebbe di fatto sviluppato la sua ipotesi indipendentemente dalle idee fisiche daltoniane sulla costituzione della materia. Ricordiamo in proposito che anche Dalton era arrivato all'ipotesi 'uguali volumi-stesso numero di particelle' (vedi Nota 51), ma con la differenza sostanziale che egli vi associava una ipotesi fisica restrittiva: per Dalton le particelle allo stato gassoso erano atomiche, ovvero non ulteriormente divisibili; inoltre nel suo sistema di combinazione gli atomi reagivano addizionandosi tra loro. È evidente dunque che lo scienziato inglese non poteva ricavare fino in fondo, come fece invece Avogadro, le conseguenze logiche dei risultati di Gay-Lussac, pena la contraddizione con alcuni punti cardine della propria teoria fisica. Di tutto ciò Dalton era in qualche modo cosciente. Difatti, dopo aver formulato e poi rifiutato l'ipotesi sui volumi gassosi,⁵¹ egli si risolse a negare l'attendibilità stessa dei risultati di Gay-Lussac.

⁴⁷ S. Carnot ha costruito la teoria termodinamica ragionando per assurdo (teorema di Carnot), sulla base del principio metodologico dell'impossibilità del moto che non ha fine.

⁴⁸ Gay-Lussac, J.L., 1809, par. I.

⁴⁹ Nella *Mémoire sur les masses relatives* ..., 1814, par. I.

⁵⁰ È significativo in questo senso un altro passo del I par. della *Mémoire* del 1814: «... se questi volumi non rappresentassero davvero le molecole, essi non meriterebbero di meno di sostituirle, allo stato attuale delle nostre conoscenze, per servire da base all'applicazione della teoria».

⁵¹ In *A New System of Chemical Philosophy*, parte I, 1808, p. 187: «... I had a confused idea, as many have I suppose at this time [1801], that the particles of elastic fluids are all of the same size, that a given volume of oxygenous gas contains just as many particles as the same volume of hydrogenous ...».

Per Avogadro dunque l'indipendenza da una concezione strettamente daltoniana della materia, avrebbe costituito un vantaggio, se non addirittura una condizione necessaria, per la derivazione della sua ipotesi.

Infine, sul problema della ricezione, si conferma che Avogadro rappresentò un modello atipico di scienziato. Come abbiamo visto egli argomentava sulle ipotesi fisiche con procedimenti puramente logici, per giunta di logica non classica.

Atteggiamento epistemologico minoritario anche se aveva avuto precedenti, ad esempio in uno scienziato di chiara fama, quale Lavoisier.

Tuttavia Lavoisier fu anche un valido chimico sperimentale (che, attraverso gli interessanti dati sperimentali che presentava, poteva far passare anche idee e argomentazioni inusuali); mentre al contrario Avogadro contribuì al proprio isolamento rispetto al mondo accademico, allora improntato a un atteggiamento di positivismo pragmatico, non supportando mai con propri dati sperimentali l'ipotesi formulata, 'atipicamente', nel 1811.

BIBLIOGRAFIA

- AVOGADRO, A., *Essay d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps...*, «Journal de physique, de chimie et d'histoire naturelle», (1811), 73, 58-76. Riedita in Ciardi 1995, 39-65.
- AVOGADRO, A., *Mémoire sur les masses relatives des molécules des corps simples*, «Journal de physique, de chimie et d'histoire naturelle», (1814), 78, 131-156. Riedito in Ciardi 1995, 67-94.
- BOATO, G., *Atomi, molecole e costituzione dei corpi nel primo Ottocento. I contributi di Avogadro e di Ampère*, Parte I. *L'ipotesi di Avogadro*, «Giornale di Fisica», (1996), XXXVII, 3-44.
- BONNER, J.K., *Amedeo Avogadro*, Ph. D. dissertation, (1974), Johns Hopkins Univ.; citato in Scheidecker-Chevallier, 1997, p. 173.
- BROOKE, J.H., *Avogadro's hypothesis and its fate*, «History of Science», (1981), XIX, 253-273.
- CANNIZZARO, S., *Lezioni sulla teoria atomica*, Lezione 1, «Liguria Medica, Giornale di scienze mediche e naturali», (1858), n. 5 e 6, 169-194.
- CIARDI M., *Manuali, modelli, equazioni. La fisica teorica di Amedeo Avogadro*, «Atti del IV Convegno Nazionale di Storia e Fondam. della Chimica», (1991), 207-214.
- CIARDI, M., *Introduzione a Amedeo Avogadro. Saggi e memorie sulla teoria atomica (1811-1838)*, Giunti, (1995).
- COLEY, N.G., *The physico-chemical studies of Amedeo Avogadro*, «Am. Sci.», (1964), 20, 195-210.
- CROSLAND, M.P., *A. Avogadro* in C.C. Gillispie (ed.), «Dictionary of Scientific Biography», (1970-80), New York, Scribner's sons, 1970-1980, I, 343-350.
- DRAGO, A., *Una caratterizzazione della rivoluzione di Lavoisier*, in G.B. Marino (ed.), «Atti V Convegno Storia e Fondamenti della Chimica, Atti Acc. Sci. XL», Roma, (1994), 127-138.
- FISHER, N., *Avogadro, the chemists, and historians of chemistry*, «History of Science», (1982), XX, Part I, 77-102; Part 2, 212-231.
- FOX, R., *The caloric theory of gases*, Oxford, Oxford U.P., (1971), 196-226.
- FRICKÉ, M., *The rejection of Avogadro's hypothesis*, (1976), citato in Scheidecker-Chevallier, 1997, p. 188.
- GAY-LUSSAC, J.-L., *Mémoire sur la combinaison des substances gazeuses, les unes avec les autres*, «Mémoires de la société d'Arcueil», (1809), 2, 207-234.
- GREENAWAY, F., *John Dalton and the atom*, Ithaca, Cornell University Press, (1966).
- MAUSKOPF, S.H., *The atomic structural theories of Ampère and Gaudin molecular speculation and Avogadro's hypothesis*, «Isis», (1969), 60, 61-74.
- MANCOSU, P., *The Philosophy of Mathematics and Mathematical Practise in the Seventeenth Century*, Oxford, (1996).
- MIELI, A., *Il periodo atomico moderno*, «Scientia», (1917), LXV-9, 178-187 e 417-424.
- MORSELLI, M.A., *Amedeo Avogadro*, (1984), Dordrecht-Boston-Lancaster, D. Reidel Publ. Co.
- MUNDY, B.W., *Avogadro on the degree of submolecularity of molecules*, «Chymia», (1967), 12, 151-155.
- NASH, L.K., *Atomic-Molecular Theory*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, (1957).
- ROCKE, A.J., *Chemical Atomism in the nineteenth century*, Columbus: Ohio State Univ. Press., (1984).
- SCHEIDECKER-CHEVALLIER, MYRIAM, *L'hypothèse d'Avogadro (1811) et d'Ampère (1814): la distinction atome/molécule et la théorie de la combinaison chimique*, «Rév. Hist. Sci.», (1997), 50/1-2, 159-194.

ANDREAS KARACHALIOS (*)

Giovanni Battista Bonino e il problema della costituzione dei nuclei aromatici ()**

Giovanni Battista Bonino and the problem of the constitution of aromatic compounds.

Summary - G.B. Bonino (1899-1985) obtained in the year 1927 the chair of Physical Chemistry at the University of Bologna, one of the first such chairs in Italy. He was also the first chemist in Italy at the beginning of the twenties to perceive the importance of Infrared spectroscopy for chemistry. Bonino began research in 1929 on Raman spectroscopy with the main objective of studying the constitution of organic compounds. From his work during the thirties, quantum chemistry emerged as a subdiscipline of theoretical chemistry in Italy.

At that time the original contribution of Bonino consisted first in a new recommendation for a benzene formula with polarized double bonding, and second in the generalization of Werner's concept of coordination. After clarifying that molecular orbital methods required more than the valence bond method, he showed how, using quantum mechanical considerations and group theory, it was possible to extend the coordination method to organic compounds.

1. Introduzione

Il problema della costituzione dei nuclei aromatici fu uno dei problemi fondamentali aperti della chimica organica classica ed occupa un posto centrale e particolare nella sua storia.

La chimica organica classica, come è noto, si basa sul concetto fondamentale della tetravalenza dell'atomo di carbonio. Sia nella molecola del benzolo, capostipite della classe dei composti aromatici, che dei nuclei aromatici eteroci-

(*) AG Geschichte der exakten Wissenschaften, Fachbereich 17-Mathematik, Universität Mainz, D-55099 Mainz.

(**) Relazione presentata al VII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (L'Aquila, 8-11 ottobre 1997).

clici pentaatomici (pirrolo, tiofene e furano), gli atomi di carbonio nei rispettivi nuclei non possono raggiungere la tetravalenza senza incontrare delle difficoltà. Queste difficoltà emergono dal modo in cui sarà impegnata la quarta valenza, dato che da questa sistemazione consegue il comportamento chimico e chimico-fisico della molecola.

Teorici e sperimentatori del calibro di Kekulé, Körner, Baeyer, Thiele, Ciamician, ecc. tentarono sulla base di ragionamenti chimici, di rispondere a questo problema.¹ I loro contributi e le loro riflessioni a volte si concludevano con un certo senso di rassegnazione. Infatti il 5 novembre 1904 Giacomo Ciamician concludeva il suo discorso «Sullo sviluppo della chimica del pirrolo negli ultimi 25 anni», che fu tenuto a Berlino per invito della Società chimica tedesca, dicendo: «Eppure ognuno di Voi sentirà, che non è stato fatto tutto e che ciò che manca ancora è proprio la cosa principale: Manca purtroppo proprio il *legame concettuale*. Questo legame è difficile però da trovare».² Ma in alcuni passi più avanti di questo discorso faceva un'altra osservazione di grande lungimiranza. «Emergono dappertutto attualmente idee sulla teoria della valenza sia in campo anorganico che organico; Werner, Abegg, Nef, Marckwald, Thiele, Vorländer, Pfeiffer ecc. hanno dato nuovi impulsi, i quali scuotono la rigidità del vecchio concetto e permettono la previsione della prossima formulazione di una vera teoria fondata su un livello fisico».³

Durante gli anni trenta in un contesto storico, politico e culturale completamente diverso, un altro chimico italiano il genovese Giovanni Battista Bonino, pure lui professore all'università di Bologna, rifletteva in due diverse occasioni su quel «*legame concettuale*» invocato da Ciamician.

La prima occasione fu l'undicesimo congresso internazionale di chimica pura e applicata tenuto a Madrid dal 5 all'11 aprile 1934. Bonino concludeva la

¹ Per il loro contributo il lettore può consultare i seguenti studi storici. LEONELLO PAOLONI, *La struttura molecolare del benzene: origine stereochimica delle formule sbagliate*, in *Atti del III Convegno Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica*, a cura di F. ABBRI e F. CRISPINI, Edizioni Brenner, Cosenza 1991, pp. 225-255. G. MACCAGNANI, *Chimica degli Eterociclici (1870-1950)*, in *1737-1987 dalla Cattedra di J.B. Beccari ai Dipartimenti, 250 anni di Chimica* a cura di ALBERTO BRECCIA FRATADOCCHI e ALBERTO PASQUINELLI, Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna classe di Scienze Fisiche, Bologna, 1990, pp. 79-96.

² G. CIAMICIAN, *Ueber die Entwicklung der Chemie des Pyrrols im letzten Vierteljahrhundert*, «Ber. deut. chem. Gesell.», 37 (1904) 4200-4255, p. 4252. «Doch ein jeder von Ihnen wird es fühlen, dass hiermit nicht alles gethan ist und das, was noch fehlt, gerade die Hauptsache ist»: «Fehlt leider nur das *geistige Band*». Dieses Band ist aber schwer zu finden». (Corsivi nostri).

³ Rif. 2, pp. 4252-4253. «Es spukt überall gegenwärtig in der Valenzlehre, auf anorganischem wie auf organischem Gebiet; Werner, Abegg, Nef, Marckwald, Thiele, Vorländer, Pfeiffer u. a. haben neue Anregungen gegeben, welche die Starrheit des alten Begriffes erschüttert und das baldige Auftreten einer physikalisch begründeten, wahren Theorie voraussehen lassen».

sua conferenza sull'argomento della costituzione dei nuclei aromatici⁴ dicendo: «I chimici organici hanno creduto per molti anni che questo *sottile e potente filo spirituale*⁵ che dà vita ai loro schemi dovesse trovarsi esclusivamente nella visione fisica dei loro problemi. È vero che nella fisica moderna molti concetti dei chimici hanno trovato un appoggio ed una analogia. Ma se analizziamo con acuto spirito d'indagine i risultati di questi primi anni di meccanica quantistica chimica dobbiamo convincerci che i successi più vicini allo spirito chimico non sono sorti dalla risoluzione fisica e dinamica e geometrica.

Una domanda nuova, e per alcuno strana, si affaccia oggi alla nostra mente e cioè ci chiediamo se quel «*Geistige Band*» intuito ed invocato dal grande Ciamician non debba emergere dalla logica pura, dalla sostanza di concetti più che altro geometrici.

Il genio latino di Jean Cabannes ci ha sottolineato recentemente in una forma suggestiva il prevalente gioco del *concetto di simmetria* nelle proprietà meccaniche delle molecole organiche».⁶

La seconda occasione fu a Berlino in Germania. Bonino invitato dalla società chimica tedesca saliva sullo stesso podio, come Ciamician 34 anni fa, con una relazione sul tema «Chimica organica e simmetria».⁷

Bonino all'inizio della sua relazione, dopo aver citato la suddetta frase di Ciamician sul «legame concettuale», aggiungeva: «In quegli anni comincì la sua carriera in Italia un giovane chimico Mario Betti, il quale più tardi, con i suoi splendidi lavori sul campo della polarimetria chimica, ha fornito la prova che questo filo concettuale può essere trovato tramite un *approfondimento del concetto di simmetria*, contro l'usuale rappresentazione meccanica delle molecole organiche».⁸

In questo lavoro abbiamo l'intenzione di seguire nei suoi tratti caratteristici lo sviluppo storico di questo «sottile e potente legame concettuale», il quale è strettamente legato al pensiero ed alla personalità poliedrica di Bonino che contribuisce con la sua attività scientifica, durante gli anni trenta, nel campo della chimica aromatica, alla nascita in Italia della *Chimica Quantistica* come una disciplina autonoma entro l'ambito della moderna chimica teorica.⁹

⁴ G.B. BONINO, *Lo spettro Raman dei nuclei aromatici e nuove idee sulla loro costituzione*, «IX Congreso internacional de Química Pura y Aplicada» Madrid, 5-11 Abril 1934, tomo IV, gruppo III, secciones A y B, pp. 5-96.

⁵ Noi abbiamo preferito tradurre in italiano il termine «*Geistige Band*» utilizzato da Ciamician con «legame concettuale». (Corsivi nostri).

⁶ Rif. 4, pp. 89-90.

⁷ G.B. BONINO, *Organische Chemie und Symmetrie*, «Ber. deut. chem. Gesell.», 71 (1939) 129-157.

⁸ Rif. 7, p. 156. (Corsivi nostri).

⁹ A nostro parere l'articolo di Bonino sul benzolo apparso sulla Gazzetta Chimica Italiana nell'anno 1935 segna l'inizio della chimica quantistica in Italia: G.B. BONINO, *Sulla costituzione molecolare del Benzolo*, «Gazz. Chim. Ital.», 65 (1935) 371-423.

2. Dalla spettroscopia ultrarossa a quella Raman

Giovanni Battista Bonino nacque il 3 maggio 1899 a Genova. Si è immatricolato nell'anno accademico 1916/17 per il corso di laurea in Chimica presso l'Università della sua città natale, dove si è laureato il 18 luglio 1920 con una tesi sulle metalloproteine.¹⁰ Subito dopo la laurea trovò impiego a Genova come chimico nell'industria, e nei ritagli di tempo, avendo a disposizione un attrezzato laboratorio, cominciò a lavorare attorno a qualche argomento di chimica pura. Nel 1921 incontrò a Genova il chimico organico Mario Betti noto per le sue ricerche sui rapporti fra costituzione chimica e potere rotatorio. Il 9 gennaio 1943, commemorando nell'aula Magna dell'Università di Bologna il suo Maestro, rievocò l'incontro con lui:

«Incontrai a Genova il Betti nel 1921 in piena attività di lavoro. (...) La fama del Betti, da poco trasferito a Genova, mi spinse a visitare l'illustre Scienziato per chiedergli il parere su un mio modo di interpretare alcuni fatti trovati sperimentalmente. Egli mi accolse con la distinta cortesia che gli era propria, se pur con quella pacata severità che metteva subito l'interlocutore nelle condizioni di non potersi prendere eccessiva confidenza. Mi tenne però un paio d'ore a discorrere, sentì le questioni che gli sottoponevo con foga giovanile e con entusiasmo di neofita, non si sbilanciò eccessivamente nel rispondermi pur incoraggiandomi nettamente a continuare quelle ricerche.

Quindici giorni dopo il Betti mi mandava inaspettatamente a chiamare e mi proponeva di andare con Lui promettendomi un posto di Assistente, appena fosse libero, ed offrendomi per il momento il posto di Tecnico presso il suo Istituto di chimica farmaceutica con lo stipendio, non lauto, di circa 300 lire al mese.

Si era nel 1921, proprio nel periodo acuto dell'aumento di tutti i prezzi: io nell'industria dove lavoravo godevo di una misurata agiatezza e potevo concedermi anche di quando in quando qualche periodo di riposo e di cura in località adatte per rimettere in sesto la mia salute scossa in modo pregiudizievole nel tempo passato in guerra al fronte. La prospettiva di abbandonare la sicura e ben retribuita posizione industriale per avventurarmi nella difficile ed infida carriera universitaria era tutt'altro che rosea. Ciò non di meno più che il calcolo potè in me, in una con la passione per la Scienza, la forza suggestiva, se pure fredda, di Colui che mi proponeva. Incominciò così la collaborazione con il nuovo Maestro».¹¹

¹⁰ Per quando riguarda la figura umana e scientifica di Bonino rimandiamo il lettore al ricordo del suo amico fraterno e collega Prof. G. SEMERANO, *La vita e l'opera di Giovanni Battista Bonino, in 1737-1987 dalla Cattedra di J.B. Beccari ai Dipartimenti, 250 anni di Chimica* a cura di ALBERTO BRECCIA FRATADOCCHI e ALBERTO PASQUINELLI, Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna classe di Scienze Fisiche, Bologna, 1990, pp. 27-43.

¹¹ G.B. BONINO, *Mario Betti, Commemorazione letta nell'Aula Magna della Università di Bologna il giorno 9 Gennaio 1943-XXI, CDB*. Adotteremo questa abbreviazione per indicare tutti i testi, carte e documenti personali di Bonino non catalogati che sono conservati dal suo

Dall'Istituto chimico farmaceutico della R. Università di Genova Bonino, cominciò la sua attività di ricerca a partire dal 1923, con una lunga serie di pubblicazioni, con il titolo generale «Studi di spettrochimica nell'ultravioletto», apparse nella Gazzetta Chimica Italiana, segnando così l'inizio in Italia di questa branca della spettroscopia vibrazionale.¹² Già nella sua prima nota preliminare sulla spettroscopia ultravioletta,¹³ Bonino riconobbe l'importanza fondamentale degli studi spettroscopici per l'analisi dei rapporti tra proprietà fisiche e costituzione chimica.

Quello che contraddistingue, a nostro parere, i suddetti lavori di Bonino è il loro carattere interdisciplinare, il quale consiste nel collegare i concetti della fisica con quelli della chimica. Ciò emerge soprattutto dal modo in cui Bonino affronta la problematica relativa allo studio dei rapporti tra proprietà fisiche e costituzione chimica dei vari composti organici sia a livello teorico che sperimentale. All'inizio del suo primo lavoro, riflettendo appunto sulle ricerche svolte dai suoi predecessori, osservava che: «Dette ricerche, collegate allo studio di tutte le altre proprietà ottiche, costituiscono un tentativo volto a riconoscere il modo di essere della molecola organica sia di per se stessa, sia in rapporto con l'ambiente nel quale si trova; per il qual scopo *non sempre sono sufficienti i metodi d'indagine della chimica organica sintetica ed analitica.*

Mi sembra che le ricerche rivolte al detto scopo possano costituire quindi uno specialissimo mezzo di indagine per la chimica organica, dal quale essa possa attendere nuovi sviluppi.

Ma l'importanza che possono assumere le ricerche svolte in questo speciale campo è di gran lunga superiore sotto *il punto di vista fisico chimico cioè sotto il punto di vista della teoria*».¹⁴

Bonino dunque si dedica allo studio dei rapporti tra proprietà fisiche e costituzione chimica per ricavare informazioni sulla struttura degli edifici molecolari, pur essendo cosciente dei limiti dei metodi d'indagine stessi a disposizione fino a quel momento della chimica organica classica. Questi metodi, come è noto, si basavano sul principio della demolizione e ricomposizione per sintesi delle molecole.

Ai tempi di allora le ricerche già svolte dai vari ricercatori nel campo della spettroscopia ultravioletta di interesse per il chimico, erano state rivolte «a stabilire dei rapporti tra la costituzione chimica e la posizione dei massimi di assor-

allievo Prof. Alessandro Bertoluzza presso il Dipartimento di Biochimica «G. Moruzzi» dell'Università degli studi di Bologna, Via Belmeloro 8/2, 40126 Bologna.

¹² P. MIRONE, G.B. Bonino e gli inizi della spettroscopia vibrazionale in Italia, in Rif. 10, pp. 53-60.

¹³ G.B. BONINO, Studi di spettrochimica nell'ultravioletto (I nota preliminare), «Gazz. chim. ital.», 53 (1923) 555-575. Oggi è in uso il termine «infrarosso» anziché «ultravioletto». Noi per ragioni storiche adopereremo la vecchia terminologia.

¹⁴ Rif. 13, p. 555. (Corsivi nostri).

bimento per ciascuna banda. Ma non v'è negli stessi nessun accenno a considerare la forma delle bande di assorbimento, a determinare le relative costanti, a porre dei confronti non solo tra la struttura chimica e la posizione dei massimi di assorbimento, ma tra le proprietà chimiche ed i valori delle speciali funzioni di quei massimi riferite alla molecola grammo del corpo assorbente, cioè i coefficienti molecolari di assorbimento».¹⁵

Questo indirizzo quantitativo era già stato segnalato da Victor Henri ai chimici con una serie di lavori interrotti dal sopravvenire della prima guerra mondiale.¹⁶ In questa direzione iniziò le sue ricerche Bonino nel 1921 ed una buona parte dei suoi lavori svolti dal 1923 al 1926 fu dedicata alla misura quantitativa dei coefficienti molecolari di assorbimento dei liquidi, riuscendo appunto a stabilire una relazione di carattere semiempirico tra struttura molecolare ed assorbimento ultrarosso.

Il contributo di Bonino consiste quindi nell'ulteriore parametrizzazione dei rapporti qualitativi tra struttura chimica e bande di assorbimento, iniziata già da Henri, spostando fortemente il carattere interdisciplinare dei lavori dei suoi predecessori dall'aspetto qualitativo a quello quantitativo. Tali aspetti sono stati affrontati da Bonino sia dal punto di vista sperimentale¹⁷ che teorico.

Dalla trattazione teorica e schematica di questi problemi, basata sull'allora nuova teoria quantistica di Bohr-Sommerfeld, emerge dai lavori di Bonino¹⁸ degli anni venti, un altro aspetto di carattere interdisciplinare. Questo aspetto riguarda il modo in cui si stabilisce una correlazione tra l'immagine fisica e chimica delle molecole nello studio degli spettri ultrarossi. Su questo rapporto Bonino si è espresso esplicitamente in una conferenza tenuta nell'Istituto Superiore di Sanità a Roma il 29 dicembre 1954.

In questa occasione, rievocando lo sviluppo delle ricerche spettrometriche ultrarosse del periodo pionieristico, osservava: «Si sa che lo spettro ultrarosso ci presenta la molecola, ed in particolare l'architettura della molecola chimica organica, come una realtà fisica. La formula di struttura degli organici non aveva questa pretesa. *La formula di struttura della chimica organica* si serviva di *analogie geometriche* per registrare in modo sintetico delle proprietà chimiche. Lo spettro ultrarosso viceversa presenta la molecola come una struttura meccanica,

¹⁵ Rif. 13, p. 560.

¹⁶ Rif. 13, p. 561.

¹⁷ G.B. BONINO, *Influenza dell'apertura delle fessure spettrometriche sulla forma delle curve di assorbimento misurate nell'infrarosso*, «Gazz. chim. ital.», 53 (1923) 591-598.

¹⁸ Per un elenco delle pubblicazioni di Bonino si veda: *La spettroscopia Raman (e U.R.) a Bologna, presso l'Istituto Chimico «G. Ciamician»*. Profilo storico dalle origini, con particolare riguardo all'attività svolta nel periodo 1970-1976, a cura di GIOVANNI BATTISTA BONINO, GIOVANNI SEMERANO, ALESSANDRO BERTULOZZA, Istituto di Chimica Generale «G. Ciamician», Bologna, 1976.

ce ne dà la realtà fisica attraverso le oscillazioni proprie che l'insieme degli atomi legati possono realizzare.

Studiare lo *spettro ultrarosso* di una sostanza significa quindi *porre delle analogie tra la realtà fisica delle molecole e la realtà chimica delle stesse*. È chiaro che queste analogie ci portano a stabilire delle *relazioni di concomitanza*, che noi spesso interpretiamo come *relazioni di causa ed effetto*, tra il *dinamismo fisico della molecola* ed il suo *comportamento chimico*.

L'insieme delle oscillazioni proprie di una molecola poliatomica costituisce un complesso di dati che caratterizzano la molecola». ¹⁹

Le relazioni che si stabiliscono tra la «*realtà fisica*» e la «*realtà chimica*» delle molecole si basano dunque sul concetto dell'analogia. In questo modo si instaura una correlazione tra il modello molecolare dinamico dei fisici e quello statico dei chimici.

Il concetto dunque di analogia negli studi spettroscopici di indirizzo chimico assunse un significato nuovo. Mentre ai chimici organici classici permetteva di stabilire rapporti di somiglianza tra i vari membri di una classe di composti, agli spettroscopisti permetteva di stabilire rapporti di correlazione tra due modelli diversi.

Bisogna notare che le ricerche di Bonino degli anni venti dedicate alla spettroscopia di assorbimento nell'ultrarosso, non sempre trovavano nell'ambiente chimico italiano dell'epoca, ancora troppo ancorato ad una visione tradizionale e classica, quell'accoglienza e comprensione che hanno avuto nei decenni successivi.

Ciamician, che da giovane era stato anche distinto spettroscopista, aveva già nettamente intuito l'importanza della spettroscopia nell'interpretazione razionale a livello molecolare dei fenomeni chimici. Fu proprio lui ad attirare l'attenzione dell'ambiente chimico bolognese sui progressi della nuova disciplina in campo internazionale. ²⁰ Ciamician morì nel 1922 purtroppo proprio alcuni anni prima della nascita della meccanica quantistica senza poter assistere quindi alla diffusione di un nuovo modo di pensare nella chimica teorica.

Ma fu soprattutto Betti, chimico organico, chiamato a succedere a Ciamician nel 1923, a volere di propria iniziativa che fosse costituita presso l'Università di Bologna una delle prime cattedre di Chimica Fisica a quel tempo bandite in Italia. ²¹ La cattedra bolognese fu occupata dal 1927 da Bonino, che proprio dal 1929 stava mutando indirizzo di ricerca passando dal campo della spettroscopia dell'ultrarosso a quello di Raman. ²² A questo punto sorge spontaneamente la domanda: Come mai questo mutamento?

¹⁹ G.B. BONINO, *Lo spettro ultra-rosso nell'indirizzo moderno della ricerca scientifica in chimica e biologia*, Conferenza tenuta nell'Aula Magna dell'Istituto Superiore di Sanità il 29 dicembre 1954, CDB. Questa conferenza è stata pubblicata nei Rendiconti dell'Istituto superiore di Sanità al supplemento del vol. XIX, Roma (1956). (Corsi nostri).

²⁰ Rif. 18, p. 6.

²¹ Rif. 18, p. 6.

²² Sulle cause di questo mutamento si veda: Rif. 12, p. 57.

Dal 24 al 25 settembre 1929 Bonino, essendo invitato dal segretario generale della Faraday Society G. Marlow²³ partecipò al meeting organizzato dalla stessa società a Bristol dedicato sul tema «Molecular Spectra and Molecular Structure» con una comunicazione sugli spettri ultrarossi dei composti organici.

A Bristol Bonino rimase profondamente impressionato dalla relazione di Leonard Jones. «Nella sua comunicazione il grande Fisico, e fisico-chimico, inglese poneva le basi della teoria degli orbitali nello studio delle strutture molecolari e trasportava implicitamente nel campo della struttura elettronica molecolare le considerazioni quantomeccaniche di carattere simmetrico che poco tempo prima Hans Bethe aveva sviluppato per discutere i livelli elettronici nei cristalli».²⁴

Un'altra personalità che lo colpì in modo particolare al suddetto meeting fu Sir Chandrasekhara Venkata Raman, fisico indiano che per primo nella primavera del 1928 osservò l'effetto che porta il suo nome.

A Bristol si parlò molto di spettri ultrarossi, ma l'interesse dei chimici fu praticamente polarizzato dalla relazione di Raman, il quale comunicò al mondo scientifico la sua grande scoperta. In quell'occasione, Bonino conobbe Raman anche di persona. Dopo questo incontro a Bristol, Raman e Bonino si incontrarono successivamente nel 1937 al congresso nel «Palais de la Decouverte» a Parigi e subito dopo Raman visitò l'Istituto Chimico «G. Ciamician» di Bologna. Intanto tra l'istituto bolognese e il Raman Research Institut di Bangalore in India era in corso uno scambio di pubblicazioni che, dopo un'interruzione durante gli anni della guerra, riprese di nuovo dalla fine degli anni cinquanta.²⁵

È noto che tramite l'effetto Raman si riesce pure a pervenire alla conoscenza delle frequenze di oscillazione degli atomi nelle molecole ed in molti casi i risultati qualitativi degli spettri Raman coincidono con quelli degli spettri ultrarossi. Vero è che in altri casi frequenze rilevate con lo spettro ultrarosso non appaiono in spettro Raman e viceversa. Ma il metodo sperimentale di identificazione delle frequenze d'oscillazione molecolare, attraverso gli spettri Raman, è caratterizzato da una maggiore rapidità, facilità e praticità rispetto ai procedimenti di spettrometria ultrarossa di allora. Non meraviglierà quindi se le ricerche di spettrometria Raman dopo il 1928 hanno, per qualche tempo, si può dire oscurato in chimica le attività di ricerca nell'ultrarosso.²⁶

Infatti Bonino dopo Bristol si dedicò allo studio degli spettri Raman dei vari composti organici. Dal 1933 si occupò con la collaborazione scientifica di Hans Fischer (Premio Nobel) dello studio della costituzione dei nuclei aromatici. Questi lavori di carattere teorico-sperimentale sono stati pubblicati nell'a-

²³ Lettera di Marlow a Bonino del 29 dicembre 1928, CDB.

²⁴ CHARLES ALFRED COULSON, *La Valenza*, Zanichelli, Bologna 1961, Prefazione di G.B. BONINO, p. VII.

²⁵ Lettera di Bonino a Raman del 6 aprile 1956, CDB.

²⁶ Rif. 19, p. 10.

prile 1933 ed nel gennaio 1934 nella rivista prestigiosa «Zeitschrift für Physikalische Chemie» fondata da W. Ostwald e Van't Hoff.²⁷ Nell'aprile del 1934 al IX Congresso Internazionale di chimica pura ed applicata a Madrid, basandosi sulle suddette pubblicazioni, Bonino presentò un'ampia relazione dal titolo «Lo spettro Raman dei nuclei aromatici e nuove idee sulla loro costituzione».²⁸ Con la sua relazione propose una propria teoria della «*risonanza quantica*», accompagnata da un'originale simbologia per le molecole di benzolo, pirrolo, furano, tiofene e dei loro derivati (Fig. 1 e 2). Data la grande importanza dell'argomento dall'11 al 21 dicembre 1933 Bonino visitò Fischer a Monaco di Baviera per chiarire alcuni punti delle sue idee.²⁹

3. Il congresso di Madrid

A Madrid Bonino iniziò la sua relazione mostrando come molte delle idee chimiche, che i fisici hanno elaborato tramite la nuova meccanica quantistica, si trovino già, se pure imperfettamente espresse, nelle opere dei chimici organici classici. Così per. es. l'idea che il benzolo non possa essere rappresentato con una sola formula ma con più formule in «*risonanza quantica*» tra di loro, si trova implicitamente già in Kekulé, e esplicitamente nei lavori di Bayer. E pure l'idea di Bayer della «*trivalenza attuale*» e della «*tetravalenza potenziale*» degli atomi di carbonio nel benzolo potrebbe ritrovare una suggestiva forma di espressione nell'elaborazione quantomeccanica.

Bonino rivelò come per lo studio della costituzione dei nuclei aromatici (benzolo, pirrolo, tiofene, furano ed i loro derivati) ci possa venire dalla conoscenza degli Spettri Raman. Inoltre mostrò come nel caso del benzolo alcune difficoltà particolari rendano ambigua l'interpretazione degli spettri stessi relativamente al problema, se le formule con i doppi legami tra C e C rappresentino la parte più importante. Questa difficoltà si può invece eliminare nel caso dei nuclei pentaatomici a carattere aromatico come il tiofene, pirrolo e furano. Con una massa di innumerevoli e delicati risultati sperimentali, Bonino mostrò l'esistenza di una piccola probabilità per quando riguarda la presenza del doppio legame tra C e C nei suddetti nuclei aromatici. Questa piccola probabilità mostrata sperimentalmente dall'effetto Raman, obbligò Bonino a lasciare da parte la teoria quantomeccanica di Linus Pauling, la quale giustificava a livello quantomeccanico le classiche formule di Kekulé.

D'altra parte, le idee quantomeccaniche di Erich Hückel, basandosi sull'ipotesi che il carattere aromatico sia, come sottolineava Bonino, «imputabile» ad

²⁷ Rif. 18, p. 29.

²⁸ Rif. 4.

²⁹ Lettera di Bonino al Magnifico Rettore della R. Università di Bologna del 6 dicembre 1933, CDB.

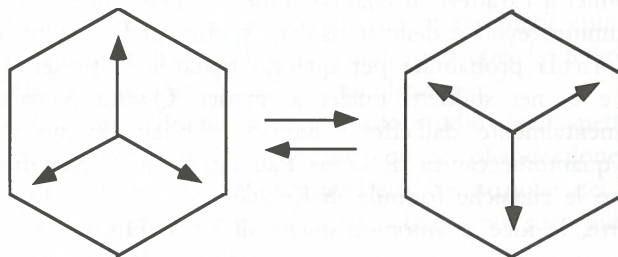
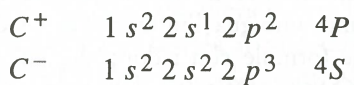
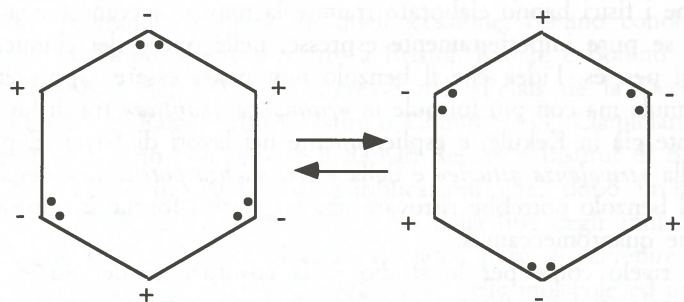
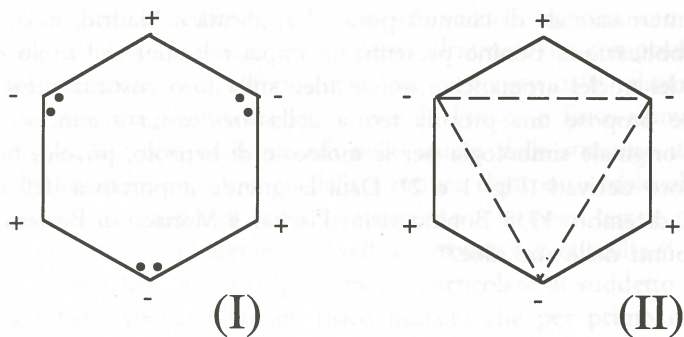


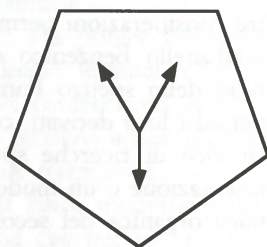
Fig. 1 - Le frecce centriche indicano gli atomi di carbonio negativi e la rispettiva risonanza quantica tra le forme I e II, mentre le frecce orizzontali indicano le uguali probabilità degli atomi di carbonio ad assumere le configurazioni $4S$ oppure $4P$.

un livello chiuso di 6 elettroni 2p, se pur riescono perfettamente a spiegare la natura dell'anello del benzolo, incontrano notevoli difficoltà nella spiegazione dell'anello pirrolico.

Del resto anche la teoria di Pauling nella spiegazione del pirrolo doveva introdurre degli artifici che sono in contrasto con i dati sperimentali dedotti dallo spettro Raman.

Da questo stato di cose trasse origine il tentativo di Bonino di formulare una teoria valida per tutti i nuclei aromatici. Considerando le proprietà chimiche dei composti aromatici, Bonino pensò di distribuire i suddetti sei elettroni in coppie sugli atomi alterni dell'esagono, ammettendo il passaggio di un elettrone 2p da un atomo di carbonio al livello 2s di quello contiguo con la conseguente paralisi di una valenza per ogni atomo di carbonio e la formazione alterna di atomi di carbonio positivi e negativi (Fig. 1).

Analoghe considerazioni sugli eterocicli del pirrolo, del tiofene e del furano hanno permesso a Bonino di elaborare una propria teoria sui suddetti nuclei, il cui carattere aromatico dovrebbe essere attribuito alla possibilità di formare, da parte degli atomi costituenti, lo speciale sistema esaelettronico a tre centri (Fig. 2).



X = N, O, S

Fig. 2

La concezione della struttura dei nuclei aromatici fu sviluppata da Bonino su una base schematica e elementare, e costituisce un tentativo di introdurre nel simbolismo chimico classico alcuni concetti particolarmente sottolineati dalla fisica quantistica, presentandoli in una forma accessibile e direi quasi familiare per il chimico.

Ma per capire meglio il suo modo di pensare dobbiamo seguirlo a Milano in una conferenza tenuta nel 1934, proprio dopo Madrid, alla Scuola di Chimica Industriale del Politecnico con lo stesso tema. A Milano parlando delle coincidenze sperimentali tra il nucleo del benzolo e dei nuclei aromatici pentatomici Bonino sottolineava: «È curiosa questa coincidenza tra il nucleo del benzolo ed

i nuclei aromatici pentatomici di avere delle righe Raman che in parte mostrano gli atomi di C nucleari legati centricamente ed in parte mostrano gli atomi di C legati solo perifericamente. Le due concezioni: la periferica e la centrica in fatto di costituzione di nuclei aromatici furono sempre due concezioni antitetiche ed in contrasto. Questi fatti ci farebbero supporre che viceversa non rappresentino che due manifestazioni possibili ed accordabili degli stessi sistemi. In altri campi non così modesti ma ben più elevati e significativi della fisica moderna concezioni che sembravano antitetiche si sono fuse ed accordate. Basti pensare all'antitesi della concezione ondulatoria e della concezione corpuscolare».³⁰

Da questo brano emerge chiaramente che Bonino adattò il modo di pensare complementare della fisica quantistica alla chimica organica. Questo modo di pensare gli viene suggerito proprio dagli stessi dati sperimentali, cioè dagli spettri Raman.

I modelli proposti da Bonino giungono in modo facile e suggestivo alle stesse conclusioni come quelli di Hückel, Pauling, ed altri. Pure Bonino giunge alla considerazione di varie forme in risonanza per il benzolo e per i nuclei aromatici. Alcune di queste forme si devono considerare come eccitate e possono mostrare talvolta, con probabilità pure legata alle condizioni ambientali, la presenza del doppio legame tra due atomi di carbonio adiacenti.

L'insieme di queste ed altre considerazioni permisero a Bonino di prevedere l'andamento delle sostituzioni all'anello benzenico solo da misure di momenti elettrici molecolari e dallo studio dello spettro Raman. Questi schemi proposti da Bonino per i nuclei aromatici ed i loro derivati, costituiscono uno stimolo per il chimico a sviluppare nuove idee di ricerche sperimentali. Essi costituirono soprattutto una forma di rappresentazione e un modo di pensare visivo, una vera e propria conquista della chimica organica del secolo scorso. Bonino sottolineò ciò dicendo: «È questo, o signori, lo scopo principale dei nostri simboli: Classificare dei fatti, prevederne dei nuovi attraverso ad un sottile filo di analogie che rende meravigliosa la costruzione dei chimici organici».³¹

4. Nuovo programma di ricerca

Riflettendo proprio sul modo di pensare dei chimici organici classici, Bonino concluse a Madrid la sua relazione con le seguenti frasi: «I tentativi moderni dello studio quantomeccanicistico delle molecole complesse ci hanno mostrato che non è possibile in questo campo procedere senza servirci del *concetto matematico di gruppo*. Ci viene il dubbio che forse più o meno coscientemente il chimico organico abbia sempre applicato, se pure in forma grossolana, alcuni concetti della

³⁰ Conferenza Milano, 1934, p. 29. Dattiloscritto di 47 pagine, CDB.

³¹ Rif. 4., p. 89.

teoria dei gruppi: forse in questa parte della pura logica matematica dobbiamo trovare *l'essenza prima dei ragionamenti strutturistici della chimica organica*.³²

Queste riflessioni teoriche, a mio avviso, segnarono l'inizio del suo nuovo indirizzo di ricerca teorico, il quale cominciò con una valutazione critica del modo di pensare del chimico classico. Il 3 febbraio 1937 Bonino fu invitato nella sua città natale dal suo Maestro, amico e collega Luigi Rolla, un altro assertore della cultura matematica del chimico, ad inaugurare la XV seduta della Sezione Ligure dell'Associazione Italiana di Chimica. Bonino colse l'occasione per esporre le sue idee sui nuovi sviluppi della chimica organica con un discorso sul tema: «Orientamenti teorici in chimica organica».

A Genova Bonino sollecitava i suoi colleghi a riflettere sulle conquiste del loro passato. Come è noto, il pensiero chimico classico esprimeva e rappresentava i fatti chimici tramite un linguaggio figurativo, costituito dalle formule di struttura, vera e propria conquista della chimica organica del secolo scorso. Questo linguaggio pieno di simboli e analogie non rappresentava però sempre in modo adeguato i dati sperimentali. «La catalisi ha rappresentato il mistero più oscuro per tutti i chimici che ci hanno preceduto: il patrimonio dottrinale della chimica, della chimica fisica e della fisica classica era impotente di fronte ai casi di catalisi con specificità chimica.

La fisica moderna pare stia porgendoci anche in questa parte un aiuto del tutto insperato: non chiediamo immediata e riposante soluzione integrale del nostro problema. Per ora ci contentiamo dell'indicazione di una via da percorrere ed invero pare che un sentiero venga ad essere segnato, pare che nelle tenebre più fitte appaia un lume tremolante. (...)

Pero la mentalità della fisica moderna richiede a noi chimici di pagare il progresso con delle rinunzie che per molti sono dolorose per taluno insopportabili. Ma anche la fisica ha ottenuto a costo di formidabili rinunzie spirituali i meravigliosi successi di questo secolo.

I chimici per aggredire i fenomeni specialmente sotto il punto di vista cinetico dovranno innanzi tutto *rinunciare all'intuizionismo immediato*, alla *faciloneria logica*, alla superficialità del *simbolismo*, alla riposante insufficienza di *mentalità puramente qualitativa* e non fisico matematica». ³³

Questo cambiamento radicale al modo di pensare veniva suggerito anche dallo studio e dall'analisi degli spettri Raman. Dopo il discorso di Genova nell'ottobre dello stesso anno, Bonino parlando al congresso di Parigi sul significato e sui risultati dell'effetto Raman in chimica organica sottolineava: «Nello sforzo che *lo studio dell'effetto Raman richiede ai chimici organici per staccarsi dalla loro mentalità tradizionale* si trova probabilmente un elemento di progresso per la

³² Rif. 4., p. 90. (Corsivi nostri).

³³ Conferenza Genova, 1937, pp. 9-10. Dattiloscritto di 30 pagine, CDB. (Corsivi nostri).

chimica organica teorica moderna. *Il chimico è costretto a questo punto (...) a cercare di separare meglio ciò che vi è di simbolico nelle sue formule da ciò che può rappresentare (...) una realtà fisica*.³⁴

Per il superamento di questa difficoltà l'ultima parola, secondo Bonino, appartiene al connubio della meccanica quantistica con il concetto della simmetria molecolare. «Una delle più interessanti acquisizioni a cui la meccanica quantica ci ha portato nel campo chimico è stata quella di mostrarci come fra tutte queste combinazioni lineari soltanto quelle che hanno determinati caratteri di simmetria imposti dalla simmetria molecolare possono avere importanza e significato».³⁵

Basandosi proprio sull'importanza della teoria dei gruppi Bonino non si limitò solo all'interpretazione degli spettri Raman e infrarossi, ma le sue considerazioni teoriche si estesero anche tramite il concetto di simmetria ad altri problemi chimici, come la previsione a priori delle geometrie molecolari ed al concetto di coordinazione. Infatti Bonino, alla suddetta conferenza di Berlino e ad un altro lavoro apparso sulla *Gazzetta Chimica Italiana*,³⁶ dopo aver chiarito che il metodo degli orbitali molecolari sia più vicino del metodo del legame di Valenza al modo di pensare Werneriano, giunse ad una interessante generalizzazione del concetto di coordinazione.³⁷

7. Considerazioni conclusive

Concludendo questo lavoro preliminare, sono del parere che il contributo di Bonino durante gli anni venti e trenta va individuato nei seguenti punti.

A livello nazionale italiano la modernità dei suoi temi di ricerca possono essere caratterizzati come un tentativo di inserire il pensiero chimico italiano nel grande flusso della ricerca internazionale.³⁸ L'impostazione logica e la trattazione teorica dei problemi chimici con la teoria dei gruppi mostra «un ben apprezzabile livello culturale e pone gli inizi della chimica teorica italiana in una posizione da non sfigurare nemmeno nei più impegnativi confronti internazionali».³⁹

Essendo l'istituto di Bonino a Bologna in stretta collaborazione con vari centri di ricerca all'estero (Francia, Germania, Austria), vengono introdotti anche in Italia metodi sperimentali e teorici a quel tempo all'avanguardia.

³⁴ Citato nel Rif. 12, p. 58. (Corsivi nostri).

³⁵ Rif. 33, p. 12.

³⁶ G.B. BONINO, *Contributi ad uno sviluppo moderno del concetto di «Coordinazione»*. - 1) *Nota introduttiva*, «Gazz. chim. ital.», 69 (1939) 763-779.

³⁷ Data la complessità e l'importanza della problematica, abbiamo intenzione di approfondire ulteriormente l'argomento in future pubblicazioni.

³⁸ GIANLORENZO MARINO, *La chimica e i chimici italiani tra le due guerre mondiali*, «Atti della Accademia Gioenia di Catania», (1989) 7-23.

³⁹ O. SALVETTI, *La Chimica Teorica in Italia*, in Rif. 10.

Con i lavori di Bonino apparsi nella *Gazzetta Chimica Italiana*, inizia ufficialmente lo studio della «*meccanica quantistica chimica*» in Italia. Inoltre questi lavori mettono in evidenza il carattere interdisciplinare della nuova branca della chimica teorica.

Le considerazioni teoriche di Bonino contribuiscono al dibattito sul controverso problema della realtà chimica e della sua rappresentazione simbolica.

Con i suoi lavori apparsi nel periodo 1939-1940, Bonino, oltre a mettere in evidenza l'importanza della teoria dei Gruppi per i chimici, ha posto le basi per una teoria unitaria della valenza.

Infine vorrei sottolineare che Bonino appartiene a quel numero limitato di chimici e chimicofisici del periodo pionieristico ad aver compreso a fondo ed elaborato in modo costruttivo il contenuto ed il significato dei lavori di Eric Hückel sul benzolo.

Alla suddetta conferenza di Milano nel 1934 Bonino sottolineava: «la teoria di Hückel (...) costituisce certamente lo sforzo fisico matematico più poderoso che mai sia stato fatto per penetrare i segreti del nucleo aromatico. Le tre note di Hückel su questo argomento dovranno nel futuro esser lette e meditate molto dai chimici (...). La teoria di Hückel scontra però in alcune difficoltà. Innanzitutto è di difficile comprensione e di difficilissimo uso per il chimico. Non si presta ad una suggestiva graficizzazione che permetta ai chimici di usarla per i loro scopi pratici. Per la maggior parte di questi la teoria Hückeliana resta purtroppo lettera morta».⁴⁰ Mi sembra che le considerazioni di Bonino dal 1937 in poi sulla validità dei modelli interpretativi della chimica classica abbiano avuto inizio dopo una meditazione sui lavori di Hückel, trasformandoli così da lettera morta a lettera viva.

Ringraziamento: Vorrei ringraziare il Prof. Alessandro Bertoluzza per la cortese accoglienza ricevuta e per l'aiuto e la disponibilità nel reperimento di testi e documenti del suo Maestro G.B. Bonino conservati presso il Dipartimento di Biochimica dell'Università di Bologna.

⁴⁰ Rif. 30. p. 26.