

*TAVOLA ROTONDA*  
*PETROLOGIA SPERIMENTALE*

*A) MEMORIE ORIGINALI*

MARCELLO CARAPEZZA \*

## LE SCIENZE DELLA TERRA E L'ESPERIMENTO

Gli studiosi di mineralogia, di petrologia, di geochimica hanno chiamato « sperimentale » la loro materia ogni volta che essa affrontava specifici problemi connessi con la ricostruzione ambientale di fenomeni genetici. Questa ricostruzione veniva fatta in laboratorio tentando di creare un ambiente caratterizzato dagli stessi parametri chimici e chimico-fisici del fenomeno che si voleva studiare: essa era dunque « l'esperimento » per eccellenza e viene fatto di ricordare che il grande N. L. Bowen intitolò appunto il suo ultimo lavoro « *Experiment as an aid to the understanding of the natural world* ». Tale esperimento poteva avere carattere spiccatamente mineralogico quando si occupava della sintesi o dell'accrescimento di un determinato minerale, poteva essere petrologico quando si estendeva in un campo più esteso di quello monofasico e coinvolgeva la paragenesi di un'intera roccia, poteva essere geochimico quando si trattava di studiare le regole che presiedevano alla distribuzione di determinati elementi in determinate fasi.

Se si osserva lo sviluppo storico di queste scienze sperimentali esse mostrano il decorso di tutte le altre scienze, costituito sostanzialmente da un periodo che potremmo chiamare di scienza descrittiva, operata dai precursori, e da un successivo periodo di impronta galileiana che potremmo definire di scienza esatta. Precursori furono tutti quegli scienziati che, con intuizioni spesso prodigiose, affrontavano un determinato problema con l'ausilio di tecniche nuovissime pur senza chiedersi quante approssimazioni facevano nell'esperimento. Un tipico esempio fu James Hall che fra la fine del 1700 e l'inizio del 1800 fece parecchi esperimenti di grande interesse; basterà ricordare che fu il primo a portare a fusione dei basalti, per farli poi cristallizzare lentamente fino ad ottenere delle strutture abbastanza simili a quelle delle lave da cui era partito. Fu anche il primo a ottenere da successive ricotture di calcari la struttura saccaroide dei marmi. Assieme ad Hall andrebbero ricordati tanti altri ricercatori del XIX secolo: Morozewics in Russia, Vogt e Delter in Germania, Michel-Levy in Francia. Dalla Francia venne anche una scoperta sensazionale che avrebbe influenzato e continuerà ad influenzare sempre le ricerche di sintesi ad alta temperatura: ci si riferisce alla pinza termoelettrica di platino-platino

\* Istituto di Geochimica dell'Università, Via Archirafi 36, 90100 Palermo.

rodio 10 % inventata da Le Chatelier quasi contemporaneamente all'analisi termica differenziale.

Vorrei anche ricordare Giorgio Spezia giacchè le sue intuizioni, le sue metodologie, i suoi risultati, in una sola parola le sue ricerche, furono alla fine del secolo scorso di grande risonanza scientifica in tutto il mondo. Spezia fu il primo a sintetizzare dei grossi cristalli di quarzo a temperature relativamente basse mostrando che tali cristalli non dovevano avere necessariamente una genesi magmatica.

Consentite ch'io ricordi che abbastanza spesso m'accade all'estero di sentirmi chiedere come mai nessuno in Italia continuò i lavori pionieristici di Spezia. Domanda imbarazzante giacchè per rispondere esaurientemente bisogna descrivere una struttura universitaria costituita da Istituti con un solo professore cattedratico che aveva spesso un solo assistente. La probabilità che questo solo assistente potesse proficuamente continuare una linea di ricerca era dunque assai remota come si vede dall'esempio di Spezia.

Ma torniamo a quello che abbiamo definito il periodo galileiano delle scienze sperimentali della terra. Mi riferisco a quegli esperimenti in cui si cominciarono ad affrontare dei problemi apparentemente più semplici, ma con l'ausilio di una sistemica organicità. Galilei aspirava a valutare fenomeni che fossero « misurabili, congruenti, ripetibili ». L'attività del Geophysical Laboratory della Carnegie Institution di Washington cominciò appunto non da rocce, non da sistemi complessi, ma da semplici sostanze prese prima ad una ad una, poi a due a due, poi a tre a tre e così di seguito in esperimenti che erano per l'appunto misurabili, congruenti, ripetibili.

Vorrei ricordare in questa sede che si compiono quest'anno 50 anni da due eventi davvero memorabili. Il primo fu l'inizio della lunga, storica collaborazione fra N.L. Bowen e J.F. Schairer ambedue del Geophysical Laboratory, il secondo fu la scoperta delle lacune di miscibilità nei magmi silicatici. Questa scoperta fu fatta da J.W. Greig e fu il punto di partenza del famoso volume che Bowen pubblicò l'anno successivo « The evolution of the igneous rocks ».

Pronuncio con commozione il nome di Greig, scomparso proprio in questi giorni, che costituiva un punto di riferimento per chiunque si fosse occupato di geochimica sperimentale. Da tanti anni Greig aveva abbandonato il Geophysical Laboratory e lavorava alla Pennsylvania State University. I suoi esperimenti si erano straordinariamente raffinati, le sue apparecchiature erano costruite dalle sue mani con perfetta semplicità, i suoi temi di lavoro erano appassionanti e difficilissimi. E tuttavia la sua autocritica aveva assunto dimensioni ormai invalicabili; Greig non pubblicò più nulla negli ultimi anni, tormentato com'era da un'immaginazione da cui scrutava una perfezione inarrivabile. Ma per noi, per i suoi amici, era generoso e meraviglioso; pareva sapesse tutto e gioisse per ogni buon consiglio che gli si consentiva d'esprimere.

Ed ora torniamo al libro di Bowen. Dopo anni di lavoro per la prima volta si poteva, in quel libro bellissimo, considerare unitariamente i risultati dello studio di sette sistemi binari (uno dei quali aveva l'acqua come componente indipendente)

e cinque sistemi ternari. Il libro diffuse i concetti della cristallizzazione frazionata e del principio di reazione che avrebbero avuto un'influenza decisiva sulla petrologia. Il libro non era solo una grande lezione sull'applicazione degli equilibri di fase ai sistemi naturali, ma anche il segno dell'umiltà con cui Bowen imparava da quell'insostituibile laboratorio che è la natura. Diciamo pure che gli esperimenti che segnarono l'inizio del Geophysical Laboratory sono, in un certo senso, la prima era degli equilibri di fase applicati a sistemi naturali. Le approssimazioni che si era costretti a fare erano ben note agli scienziati del Geophysical: persino il più complesso dei loro esperimenti aveva già molto meno variabili del più semplice dei corrispondenti fenomeni naturali. E comunque due variabili almeno allontanavano fortemente i modelli naturali da quelli artificiali: la pressione totale e quella particolare tendenza che un elemento può avere a « fuggire » da una fase all'altra che Lewis chiamò appunto fugacità. Sarebbe stato compito di quella che potremmo chiamare « la seconda era » introdurre queste variabili e ricominciare lo studio di molti sistemi.

Per quel che riguarda la pressione c'era già uno scienziato che alla Harvard University aveva da solo percorso la preistoria e buona parte della storia degli esperimenti ad alta pressione: quest'uomo era P. W. Bridgman. Ma il tipo di pressioni da lui ottenute era pur sempre frutto d'una tecnologia imperfetta che non consentiva, per esempio, delle pressioni uguali, diciamo pure idrostatiche, su tutto il sistema analizzato. Giungeva nel frattempo la seconda guerra mondiale che, assieme alle terribili tragedie provocate, costringeva anche ad un intenso sforzo tecnologico; la scienza dei materiali del dopoguerra aveva creato leghe resistenti a pressioni che fino a qualche anno prima sarebbero parse irraggiungibili. Tanta straordinaria tecnologia non avrebbe dato alcun esito senza un uomo di genio che avesse fatto la scoperta eccezionale; l'uomo fu O. F. Tuttle.

Le « bombe di Tuttle » aprirono al campo degli equilibri di fase una tecnologia che era, in senso termodinamico, perfetta; gli argomenti di ricerca consentivano che si ripartisse quasi da zero, aggiungendo a tutti i sistemi conosciuti un parametro in più, quello appunto riguardante la pressione. Una fittissima schiera di ricercatori si buttò a capofitto in queste ricerche. P. J. Wyllie, uno dei più grandi allievi di Tuttle, scrisse che si erano studiati più sistemi, con le bombe di Tuttle che con tutte le altre metodologie usate fino a quel momento.

Subito dopo la guerra un'altra importante innovazione approssimava sempre di più il laboratorio alla natura, l'uso cioè di sistemi con fugacità controllata di un determinato gas. Bowen si era posto il problema per l'ossigeno, essendo questo gas il più diffuso ed importante in natura, ma non era riuscito a risolverlo; ciò equivaleva a dire che non era possibile studiare sistemi che comprendessero elementi con diverso stato d'ossidazione. Per studiare sistemi che contenessero ferro, Bowen aveva dovuto ricorrere ad una tecnica che portava soltanto a risultati qualitativi: l'uso cioè di crogioli di ferro ed inoltre l'aggiunta di polvere di ferro sulle sostanze messe a reagire; in tutto il sistema veniva infine fatta circolare una corrente d'azoto.

E. F. Osborn trasse dalle esperienze di due chimici industriali, Darken e Gurry, il dispositivo per costruire forni ad 1 atm. con controllo della fugacità d'ossigeno. I risultati furono subito straordinari e consentirono di rivedere lo stesso principio di reazione una volta che si era in grado di controllare lo stato di ossidazione di elementi come Fe, Mn, Ti, V, Cr ecc.. In collaborazione con A. Muan e con una schiera di collaboratori eccezionali, Osborn fece rivivere nella Pennsylvania State University degli anni '60 l'indimenticabile clima del Geophysical Laboratory da cui anch'egli proveniva. Dieci sistemi ternari pubblicati dall'American Ceramic Society sono la straordinaria summa di ricerche che crearono una filosofia nuova nella valutazione della cristallizzazione dei magmi, nella cosmochimica, nelle applicazioni tecniche dal campo delle leghe, a quello delle ceramiche, dal campo dei refrattari a quello dei cementi.

Questi anni così frettolosamente descritti possono essere considerati la seconda era per le scienze sperimentali della terra, un'era caratterizzata quindi dalla capacità di ottenere pressioni totali ben controllate e di tipo idrostatico, pressioni parziali di gas anch'esse controllate. Quel che ancora mancava era il controllo contemporaneo di queste due grandezze: o si raggiungevano pressioni elevate con fugacità di ossigeno o d'altri gas non controllabili o si controllavano le fugacità dei gas ad una sola atmosfera.

Controllare contemporaneamente le due grandezze sarebbe stato dunque l'ultimo passo per identificare certe esperienze di laboratorio con certi fenomeni naturali. Quest'ultimo passo fu compiuto da un europeo approdato anch'egli al Geophysical Laboratory e da qui passato alla Johns Hopkins di Baltimore. H.P. Eugster era stato l'ultimo allievo di Niggli; il severo rigore della scuola di Zurigo si era innestato sulla fervida fantasia d'un ricercatore che aveva assimilato tutte le problematiche delle scienze della terra e le aveva fuse in una visione unitaria che trascendeva ogni schema. Non più eruttivo, sedimentario, metamorfico, ma puro concetto del fenomeno genetico; non più alta pressione, bassa pressione, alta temperatura, temperatura ambiente, ma immediata essenzialità di una termodinamica ridotta alla sua costituzionale semplicità, una semplicità basata in definitiva su tre sole variabili (pressione, temperatura, concentrazione) come la matematica trinità cantata da Leautéramont. Non per nulla ogni volta che ho ascoltato Hans Eugster voler fare il maggiore complimento ad una teoria, ad una apparecchiatura, ad un'idea, gli ho sentito invariabilmente usare due sole parole: « very simple ».

Semplice era pertanto la metodologia con cui Eugster controllò la fugacità d'ossigeno ad alte pressioni: si trattava di bloccare un equilibrio attraverso due o tre fasi condensate agenti appunto come tamponi (buffers) di ossigeno; procedure analoghe consentiranno di controllare la fugacità di altri gas in equilibri di fase di capitale importanza. Con la collaborazione di allievi entusiasti, Eugster affrontò problemi di genesi eruttiva, di genesi metamorfica, di genesi sedimentaria: in quest'ultimo campo il controllo del pH è in un certo senso il raggiungimento più raffinato. Tutto risultava sempre *very simple*, semplicissimo e, ci si consenta d'aggiungere geniale,

un aggettivo che per Eugster può essere usato senza retorica e senza imbarazzo.

Eugster segna anche un momento di grande ritorno alla natura, alle misure in situ, alle determinazioni dirette del fenomeno naturale; non più la natura rifatta o indagata in laboratorio, ma immediatamente scrutata secondo i dettami dell'attualismo. È appunto in questa direzione che troviamo adesso tutti i nuovi ricercatori *sperimentali* delle scienze della terra.

Mi si consenta di ricordare fra questi M. Sato il quale ha portato praticamente a perfezione sia la teoria che la tecnologia dei sensori ad elettrolita solido e che consentono il monitoraggio diretto o indiretto della fase gassosa di un sistema chimico. Questi sensori applicabili in un normale forno da laboratorio, possono essere facilmente adoperati per misure dirette sulle fumarole dei vulcani attivi, aprendo nuovi orizzonti alla capacità di prevedere le eruzioni con metodi geochimici.

E qui ritengo di dover concludere questa mia breve introduzione. So che è stata parziale, che ha trascurato tanti nomi importanti, ma spero abbia aperto qualche curiosità in coloro che non sono, come si suol dire, degli « addetti ai lavori ». A questi vorrei suggerire il volume di G.C. Ulmer, « Research techniques for high pressure and high temperature », per un più sistematico approccio agli argomenti di questa tavola rotonda.