

La Mineralogia nell'ambito delle Scienze Naturali

FRANCESCO EMILIANI ZAULI

Nel secolo scorso, forse per effetto dell'intenso fermento di ricerche e scoperte, si era arrivati a ritenere che in un tempo ragionevolmente prossimo si potesse giungere ad una conoscenza completa dell'Universo; ora, in una più concreta consapevolezza delle potenzialità, ma anche dei limiti, della scienza, si è giunti ad una consistente percezione del carattere dinamico delle conoscenze scientifiche, del loro lento e discontinuo procedere per approssimazioni successive. È suggestiva a questo proposito la analogia di Popper:

«La scienza non poggia sulla roccia. L'ardita struttura delle sue teorie si innalza come su una palude. È come un edificio eretto su piloni: i piloni vengono affondati dalla superficie della palude, ma non fino a raggiungere una base naturale, e quando si interrompe il tentativo di configgere i piloni in uno strato più profondo non è che si sia raggiunto il terreno stabile. Semplicemente ci si ferma quando si è convinti che i piloni siano sufficientemente stabili nel sostenere la struttura per il momento».

Il processo di approfondimento ed ampliamento delle conoscenze scientifiche e la conseguente differenziazione — anch'essa necessariamente dinamica — per argomenti, procedimenti e metodologie ha portato alla delimitazione di settori e all'individuazione di singole discipline; proprio l'aspirazione a fissare confini rigidi e inequivocabili ha originato difficoltà di comprensione e discussioni talvolta degenerate in accademismi di carattere tassonomico e semantico, che in qualche caso addirittura mascheravano interessi contingenti.

Al momento attuale, ad un indirizzo correttivo di specializzazioni estreme si accompagna la tendenza ad affrontare i problemi, compreso quello dell'educazione scientifica,

in una impostazione integrata, talvolta però rischiando di incorrere in forzature o, ancora una volta, in accademismi semantici (interdisciplinarietà, pluridisciplinarietà, multidisciplinarietà...).

Prescindendo dall'individuazione di confini netti — sempre discutibili in considerazione delle frequenti integrazioni e delle implicazioni reciproche di procedimenti e metodologie — è ancora accettata universalmente la tradizionale distinzione nei cinque settori fondamentali della *matematica*, della *fisica*, della *chimica*, della *biologia* e delle *scienze della Terra e dell'universo*. In realtà quest'ultimo settore, a cui appunto afferisce più specificamente la mineralogia, è talvolta dimenticato, forse per un ambiguo riferimento alla geografia, disciplina che in Italia viene ancora tradizionalmente riferita all'area storico-filologica. La distinzione nei cinque settori suddetti trova riscontro pieno nei corsi di laurea ed una rispondenza sintetizzata nella denominazione stessa della Facoltà di *Scienze matematiche, fisiche e naturali*. Come si sia andata evolvendo l'individuazione di settori scientifici da parte dei non addetti ai lavori si potrebbe forse arguire dalla scelta del titolo per l'insegnamento scientifico nella scuola media dell'obbligo, discussa e sanzionata in Parlamento: la prima stesura di quella che divenne la Legge 348 del 16 giugno 1977 trasformava il precedente titolo «*Matematica - Osservazioni ed elementi di scienze naturali*» in «*Scienze matematiche, chimiche, fisiche e biologiche*»; ciò in corrispondenza con i settori tradizionali, ma dimenticando appunto le *scienze della Terra*: opportuna quindi la successiva correzione in «*Scienze matematiche, chimiche, fisiche e naturali*», che non solo colmava la lacuna, ma poteva voler ribadire il carattere *sistemico*

della Natura, messo in evidenza dalle continue interazioni, dalla inscindibilità delle sue componenti biotica e abiotica. Rispetto alla denominazione della Facoltà, risaltava comunque la citazione autonoma (e, alcuni hanno subito rilevato, in ordine alfabetico della *chimica*, forse a sottolinearne le sempre più frequenti implicazioni tecnologiche, talvolta quanto meno allarmanti agli effetti della conservazione della Natura. Ciò che lasciava perplessi gli ambienti più sensibili ai problemi dell'educazione scientifica era comunque la scomparsa, dal titolo dell'insegnamento, del termine «osservazioni». Intendeva forse il legislatore che si insistesse, già a questo livello di scolarità, su un insegnamento indirizzato alla specificità delle discipline o voleva soltanto chiarire che, nella scuola conclusiva dell'obbligo, l'educazione scientifica non poteva limitarsi agli ambienti matematico e naturalistico?

Il problema è stato chiaramente risolto dai nuovi programmi di Scienze della Scuola media, articolati in una parte riguardante l'educazione scientifica nel suo complesso, con indicazioni di coordinamento fra la matematica e le altre scienze, ed in due parti riguardanti obiettivi, metodi e contenuti rispettivamente della matematica e delle scienze «chimiche, fisiche e naturali» indicate complessivamente come «*scienze sperimentali*». Quest'ultima denominazione, che potrebbe prestarsi a critiche, è stata preferita ad altre perché più chiara sia a confermare che l'educazione scientifica di base non può limitarsi al settore naturalistico, e tanto meno al solo studio dell'ambiente, sia soprattutto a mettere in risalto la valenza educativa di una impostazione sperimentale basata sull'impiego più frequente possibile di attività di indagine concrete, svolte direttamente dai singoli allievi.

In altre parole, i nuovi programmi insistono sul metodo scientifico sperimentale come elemento unificante nell'insegnamento delle «*scienze sperimentali*» (intese secondo la dizione anglosassone di «*general science*» o meglio di «*integrated science*», secondo più recenti progetti curricolari) ed insieme della *matematica*, pur riconoscendo ovviamente a quest'ultima valenze formative autonome.

In realtà chi non lo ha praticato direttamente spesso non ha idee chiare sul metodo scientifico. Le quattro tappe indicate da Ba-

cone nel 16° secolo («osservare; misurare; trovare spiegazioni; verificare») danno ancora oggi un'indicazione efficace nella sua sinteticità. La descrizione del metodo scientifico nella sequenza: «individuare il problema, raccogliere dati sperimentali, formulare ipotesi, controllarne sperimentalmente le implicazioni, accettare o invalidare le ipotesi» non appare più illustrativa, in quanto da un lato non dà un'idea chiara del travaglio — talvolta banalmente affaticante — del lavoro sperimentale e d'altro lato non tiene conto dell'influenza, talvolta determinante, delle ispirazioni e delle combinazioni di circostanze, di volta in volta fortunate o fortunate. Qualcuno considera che la scienza non debba affermare nulla che non possa essere provato dall'esperienza, che l'uomo di scienza debba mantenere il più completo distacco, rifuggendo da qualunque emozione nel più obiettivo rispetto per l'osservazione. Forse proprio questa visione di agghiacciante razionalità, unita ad una prassi di insegnamento basato prevalentemente sulla trasmissione meccanica di conoscenze già rigidamente elaborate, ha incoraggiato — a tutto discapito delle scienze — la cosiddetta divisione delle due culture. Viceversa la storia della scienza mette in chiara luce l'influenza sul progresso scientifico (e tecnologico) dell'ispirazione, delle congetture immaginose, dei fattori intuitivi e creativi, della stessa fortuna, e del tempo, che fa maturare le idee anche trasmettendole da un uomo a un altro.

Se da un lato è vero che l'educazione scientifica non si esaurisce nell'educazione naturalistica, d'altro lato è pur vero che la sensibilizzazione ai problemi di conservazione della natura e di corretta gestione delle risorse naturali costituisce una componente importante dell'educazione del cittadino. Inoltre lo studio di materiali e di fenomeni naturali, sul quale è facile attirare l'interesse dei giovani, si presta particolarmente a chiarire alcuni concetti fondamentali e a dare esempi concreti e pertinenti dell'applicazione di metodologie fisiche e chimiche ed anche dell'utilizzazione dello strumento matematico a diversi livelli di complessità.

In particolare lo studio dei minerali, l'osservazione delle loro proprietà macroscopiche e microscopiche, della loro composizione, fino ad arrivare a determinarne la struttura intima, vengono effettuati con metodologie



Nessun problema di riconoscimento per questa elegante associazione di cristalli di quarzo (S. Gottardo), incolori, limpidi ad abito prismatico esagonale, con terminazioni romboedriche leggermente sproporzionate.

fisiche e chimiche. I minerali costituiscono una «*unità fondamentale di materia*» molto specifica e caratteristica nella serie di «*sistemi*» vicendevolmente *contenentisi e contenuti* (a scatola cinese) che costituiscono l'oggetto di studio delle scienze della Terra e dell'universo: galassia - sistema solare - Terra - sfere geochimiche - litosfera - rocce - minerali - atomi o ioni - costituenti degli atomi.

I minerali infatti, in quanto costituenti *omogenei* delle rocce — e quindi della litosfera — sono *unità di materia* anche se, contrariamente a quanto affermato da vari Autori, non hanno *praticamente mai* «composizione definita e costante, esprimibile con una formula chimica»; possiamo anzi, generalizzando, definirli «soluzioni», nella assoluta maggioranza dei casi «*soluzioni solide*». E an-

che vero che talvolta la composizione chimica di un minerale è molto prossima a quella di una sostanza chimica ben definita (illustrativo l'esempio del quarzo, che è SiO_2 praticamente puro): potremmo forse in casi del genere individuare come *solvente* la sostanza chimica prevalente e parlare di soluzione solida estremamente diluita; ma ci sono anche minerali descrivibili come soluzioni solide in cui almeno due sostanze chimiche si trovano in quantità pressoché uguali (per esempio $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ e $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ nei *plagioclasti* delle *dioriti*).

Da queste considerazioni, riferite all'indi-

viduazione dei costituenti omogenei come unità di materia, ci si rende immediatamente conto di quanto siano precarie le osservazioni basate sui nostri sensi: è facile in certi casi affermare con sicurezza che un corpo non è omogeneo, ma l'affermazione di omogeneità deve sempre essere condizionata alle effettive possibilità di *risoluzione* delle apparecchiature di osservazione. Ciò dà ottimi spunti per un esame critico comparativo delle metodologie di studio dei minerali (dalla microscopia ottica di polarizzazione alla microscopia elettronica, dalla diffrazione di raggi X, all'analisi chimica per fluorescenza di raggi X o mediante sonda elettronica).

La mineralogia, come tutte le scienze naturali, fa ricorso a classificazioni di vario tipo: spesso l'utilizzazione di queste classificazioni presenta difficoltà per il presentarsi di «insiemi sfumati», casi ambigui riferibili in particolare a quanto si diceva sulla variabilità di composizione chimica, e corrispondentemente di proprietà fisiche. Ma le ambiguità di classificazione non si limitano a questo: tipico il caso dell'*apatite* — meglio sarebbe dire *delle apatiti* in considerazione della variabilità di composizione di questi minerali — il cui nome è tutto un programma in quanto deriva da ἀπατάω, confondere, trarre in inganno; a parte la variabilità d'aspetto e di proprietà fisiche, questi minerali infatti sono fosfati, ma sono anche fluoruri e contengono pure cloro; ancora, gli *epidoti*, nella cui struttura si trovano sia tetraedri SiO_4 isolati, sia coppie di tetraedi Si_2O_7 , potrebbero correttamente essere classificati sia come *nesosilicati*, sia come *sorosilicati*.

Ma i minerali sono quasi tutti allo stato cristallino; ogni ambiguità scompare quando ci si riferisce alla struttura ordinata dei cristalli: 230 *gruppi spaziali*, 32 *gruppi puntuali* (le classi), 7 *sistemi*, 3 *gruppi cristallini* (*monometrico*, *dimetrico*, *trimetrico*). Ogni specie cristallina trova inequivocabilmente il suo inserimento in questa classificazione, senza incertezze, senza sfumature.

Del resto i cristalli, con la loro struttura ordinata, con la loro morfologia poliedrica regolare, nelle loro associazioni spesso elegantemente armoniche costituiscono un punto di riferimento privilegiato per chi, conciliando metodicità e immaginazione, considera che la natura sia fondamentalmente ordinata ed è

convinto che valga la pena di ricercare le prove di razionalità nell'universo.

Dunque i concetti tipicamente tridimensionali di *forma e struttura*, oltre alle antinomie *omogeneo/disomogeneo* e *ordine/disordine*, trovano qui efficaci e gradevoli spunti di chiarimento. Una mia cara amica, insegnante e laureata in matematica, mi suggeriva di presentare la *tridimensionalità* come caratteristica specifica della «mia materia»: in realtà *la Natura* è tridimensionale. I già citati programmi della Scuola Media, nella parte specifica di matematica, invitano, nello studio della geometria, a trarre «vantaggio da una presentazione non statica delle figure, che ne renda evidenti le proprietà nell'atto del loro modificarsi» e proseguono: «la geometria solida non sarà limitata a considerazioni su singole figure, ma dovrà altresì *educare alla visione spaziale*». Questa frase fa effettivamente pensare che i matematici siano talmente abituati all'astrazione da dimenticare che la realtà appare immediatamente tridimensionale: il fanciullo ha quindi *spontaneamente* una visione spaziale: l'opportunità, talvolta la necessità, di rappresentare ciò che vede sul piano (concretizzato per esempio in un foglio) lo spinge quindi a compiere (e con difficoltà) quello che forse è uno dei suoi primi sforzi di astrazione. Comunque, non v'è alcun dubbio sull'utilità di un'abitudine a passare con sempre maggiore facilità e spontaneità dalla realtà spaziale alla sua rappresentazione piana e viceversa. A questo scopo nello studio dei cristalli si utilizza uno strumento matematico di facile acquisizione, la *proiezione stereografica*, che, nelle rappresentazioni dei cristalli sul piano, permette di riscontrare e localizzare agevolmente gli *elementi di simmetria* e di controllarne in modo concreto il condizionamento reciproco, fino a verificare che i loro raggruppamenti possibili sono i 32 diversi *gruppi puntuali*, e solo questi. La stessa dinamica dell'accrescimento dei cristalli, per spostamento parallelo delle loro facce, può costituire un esempio reale della «presentazione non statica delle figure»: soprattutto essa permette di fare acquisire, anche a livello di scuola elementare, il concetto apparentemente non facile di *anisotropia*.

Pure lo studio delle strutture cristalline, l'interpretazione ed eventualmente la costruzione dei relativi modelli risultano assai uti-



li in questo senso, oltre che per mettere in evidenza l'utilità — ma anche i limiti e i rischi — dei modelli analogici. Il riferimento ai modelli di struttura, oltre a chiarire l'assurdità delle cosiddette «formule di struttura» scritte sul piano, permette soprattutto di illustrare concretamente il fenomeno delle soluzioni solide — già presentato come fondamentale per i minerali — per sostituzione reciproca di atomi o ioni (*diadochia*).

Sono infatti da riferire essenzialmente a questioni di *diadochia* i diversi meccanismi che regolano la distribuzione degli elementi chimici nella litosfera; prescindendo dai più abbondanti (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg) vi sono elementi che si ritrovano come costituenti principali di minerali (ad es. lo zirconio nello *zircono*, la cui composizione chimica può essere indicata in modo idealizzato dalla formula $ZrSiO_4$) mentre altri sostituiscono, in piccole quantità o addirittura in

L'accorciamento dei prismi e soprattutto il colore insolito, dovuto a minutissime inclusioni di ematite, possono creare difficoltà nel riconoscimento di questo peculiare esemplare di quarzo (varietà quarzo ematoide o giacinto di Compostella, Compostella, Spagna).

tracce, elementi più abbondanti nei loro minerali (ad es. il gallio, *diadochico* — in basse concentrazioni — in tutti i minerali di Al). Vi sono anche elementi a comportamento ambiguo: per esempio le Terre Rare (e l'ittrio), sempre fra loro in mutua *diadochia*, danno minerali loro propri ⁽¹⁾, ma si trovano anche

⁽¹⁾ Particolarmente illustrativi fra questi i due fosfati monazite e xenotime, che concentrano di preferenza rispettivamente le terre rare leggere cosiddette *ceriche* e le T.R. pesanti (cosiddette *ittriche*) e vengono pertanto indicati convenzionalmente con le formule $CePO_4$ e YPO_4 , pur avendo in realtà una composizione chimica molto più complessa.

diadochi in alcuni minerali di Ca, per esempio nei già citati *epidoti*. Gli schemi di distribuzione nella litosfera, di ripartizione fra i minerali e di diadochia reciproca per i singoli elementi possono essere facilmente spiegati in riferimento alle loro proprietà ed alla loro posizione nella Tavola periodica. Questo argomento ci ha portati a sconfinare nella *geochimica*, un'altra delle Scienze della Terra che da questa stessa rivista presentai ormai trent'anni fa come «scienza giovane» e che tanti progressi ha compiuto nel frattempo, favorita sia dalla possibilità di ottenere un numero sempre maggiore di dati di concentrazione degli elementi e dei loro isotopi, sia dalla relativa facilità di rapida elaborazione di queste enormi masse di dati mediante i calcolatori.

Resta invece da considerare ancora la parte più tipicamente e tradizionalmente naturalistica, il nucleo classico della mineralogia, del resto tuttora in espansione anche a seguito di nuovi ritrovamenti: lo studio dei singoli minerali. Su questo argomento, che suscita entusiasmo anche in numerosi non-specialisti, ma utilizza metodologie fisiche e chimiche sempre più sofisticate, convergono numerose discipline, dalla petrologia alla giacimentologia, dalla gemmologia alla mineralogia applicata, all'arte mineraria...

La passione per i minerali ha raggiunto l'apice alcuni anni or sono con conseguente forte aumento del numero, se non della qualità, dei collezionisti e con inevitabili implicazioni economiche non sempre apprezzabili, talvolta preoccupanti agli effetti del rispetto della Natura. Chiunque abbia sensibilità naturalistica capisce benissimo la preferenza del vero collezionista per il campioncino modesto, trovato da lui stesso con faticosa ricerca nel detrito delle rocce o nelle discariche di una miniera, rispetto al campione sontuoso pagato a caro prezzo dal commerciante.

Anche il solo riconoscimento di un minerale non è facile compito se non si dispone degli strumenti (anzi, delle attrezzature) adatti: vi sono però collezionisti — dilettanti, si fa per dire — che hanno acquisito una tale pratica di riconoscimento da poter facilmente identificare non solo la *specie*, ma eventualmente anche il giacimento di provenienza: personalmente mi guarderei bene dal mettermi in gara con uno di loro per una diagnosi macroscopica.

I procedimenti di studio scientifico dei minerali sono resi particolarmente complessi dal fatto che i minerali stessi, come si è già messo in evidenza, pur essendo omogenei non sono sostanze chimiche pure ma *soluzioni solide* e quindi presentano composizione chimica variabile, seppure entro campi ben individuati, e corrispondentemente mostrano variabili proprietà fisiche. Di conseguenza, mentre per il puro riconoscimento della *specie* mineralogica è sufficiente un'analisi rifrattometrica o la determinazione delle caratteristiche ottiche al microscopio di polarizzazione, per la completa caratterizzazione di un campione si dovrebbe procedere all'analisi chimica completa e — almeno — alla determinazione degli *indici di rifrazione* e dei *parametri della cella unitaria*. Anche trascurando i casi di non perfetta omogeneità (per es. cristalli zonati), la purificazione del materiale d'analisi costituisce poi tuttora uno di quei compiti di affaticante manovalanza della ricerca, a cui accennavo poco fa. Comunque, l'estensione, il perfezionamento e l'automatizzazione delle tecniche e delle apparecchiature ha reso le ricerche estremamente più celeri, oltre che più attendibili e approfondite, pure in questo campo. In particolare, anche a causa delle facilità di elaborazione di dati, non esistono ormai *specie* mineralogiche di cui non sia stata risolta la *struttura* e perfino per i nuovi minerali la determinazione della struttura di norma segue immediatamente la segnalazione di ritrovamento.

Se l'aspetto collezionistico, e addirittura museologico, della mineralogia può presentare un interesse sociale, con particolare riferimento ai problemi del «tempo libero», la massima rilevanza sociale ed economica di questa scienza si riscontra nelle infinite diverse di impieghi pratici dei minerali, dagli usi domestici alle esigenze delle tecnologie più avanzate. Val qui la pena di accennare al fatto che in questo caso il termine «minerale» viene usato con significato un po' diverso (gli anglosassoni usano il termine «ore», anziché «mineral») ad indicare un materiale (*non necessariamente omogeneo*) estratto dal sottosuolo e utilizzato nella tecnica o nell'industria. Il reperimento delle materie prime, uno dei problemi nodali della gestione delle risorse naturali, è quindi anche un argomento mineralogico.

Le considerazioni precedenti, che non han-

no ovviamente nessuna pretesa di essere né esaurienti né conclusive, si propongono di fornire un contributo per promuovere un confronto aggiornato sul ruolo delle singole discipline nell'ambito delle scienze naturali. Alcune osservazioni personali, forse anche vagamente polemiche, sono certamente discutibili e non del tutto scevre da deformazioni professionali: sono infatti ormai trent'anni che io insegno a Naturalisti, ma di laurea sono chimico. Anche se non sono riuscito a diventare un naturalista, amo le scienze naturali e vorrei che la loro indiscutibile valenza educativa, talvolta mortificata in un insegnamento prevalentemente descrittivo, di trasmissione acritica di informazioni, venisse sempre più valorizzata. Poiché ritengo che la didattica possa essere veramente efficace soltanto rinnovandosi in una ininterrotta consuetudine con la ricerca scientifica, ritengo quanto mai auspicabile anche in questo senso la ripresa di iniziative di ricerca in cui si inte-

grino, in uno studio che ribadisca appunto il carattere *sistemico* della Natura, le varie discipline naturalistiche.

A conclusione, mi è grato associare al ricordo di Alessandro Ghigi, insigne e fascino Naturalista, che ebbi la fortuna di conoscere nei miei anni di attività all'Università di Bologna, quello di Ciro Andreatta, suo collega ed amico, pure Naturalista di laurea e di sensibilità, mio carissimo, indimenticabile Maestro, di cui ricorre il 20° anniversario dell'immatura scomparsa.

L'Autore:

Francesco Emiliani Zauli, Professore ordinario di Mineralogia, Università di Parma.
