

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCVIII.

1911

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XX.

2° SEMESTRE.



ROMA

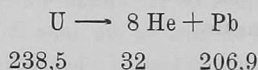
TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1911

Mineralogia. — *Sull'applicazione del tenore in uranio e piombo di alcuni minerali alla determinazione dell'età delle rocce che li contengono.* Nota di FERRUCCIO ZAMBONINI, presentata dal Socio G. STRUEVER.

Come è noto, nel 1907, B. B. Boltwood (1), da numerose analisi di minerali uraniferi, esaminate sotto il punto di vista delle quantità relative di uranio, piombo ed elio, fu condotto a concludere che nei minerali primari non alterati, di una stessa formazione, il contenuto in piombo è proporzionale a quello in uranio, e cresce, inoltre, [per giacimenti diversi, con l'età dei giacimenti stessi. Il Boltwood emise, in base a ciò, l'ipotesi che il piombo rappresenti il prodotto finale della disintegrazione atomica dell'uranio, giusta la relazione



Per mezzo di Boltwood si veniva, così, in possesso di un metodo, sensibile e semplice, atto a determinare l'età delle formazioni geologiche, età che si poteva considerare come affatto sconosciuta, perchè i numerosi calcoli di vari fisici illustri, poggiati su ipotesi più o meno plausibili, hanno portato a risultati oscillanti entro limiti così estesi, per quel che riguarda l'età in anni delle più antiche rocce della crosta solida della terra, da non poter certo meritare una soverchia fiducia.

Nella via aperta da Boltwood si pose l'on. R. I. Strutt (2), il quale, avendo trovato che la quantità di elio che si forma in un anno da un grammo di uranio corrisponde a $1,88 \times 10^{-11}$ grammi, e che, quindi, quella di piombo era rappresentata da $1,22 \times 10^{-10}$ grammi, poté calcolare, ammettendo che questa produzione annuale resti costante, che un grammo-molecola di piombo prenderà il posto di un grammo-molecola di uranio in 8200 anni. Per i casi nei quali la quantità di uranio è considerevole rispetto a quella del piombo formatasi, Strutt stabilì la formula seguente, la quale esprime in anni l'età del minerale nel quale è avvenuta la disintegrazione:

$$\frac{\text{Pb}}{\text{U}} \cdot 8,200 \times 10^6$$

Pb e U rappresentano le quantità percentuali odierne dei due elementi.

(1) Amer. Journ. of Sc., 1907, pag. 77.

(2) Proceedings of the Royal Society A, 1910, LXXXIV, 388.

In base alla formula surriferita, lo stesso Strutt ed anche altri hanno calcolato l'età di vari minerali, senza, tuttavia, seguire un concetto direttivo cronologico, dal punto di vista geologico. È, forse, per la saltuarietà stessa delle determinazioni, in taluni casi prive di qualunque indicazione sicura intorno alla età geologica dei giacimenti, che le conclusioni che ne sono state tratte sull'età in anni di certi minerali, e delle rocce delle quali essi sono costituenti primari, non hanno soverchiamente richiamato l'attenzione, e non sono state sottoposte ad indagine critica da parte dei mineralisti, per i quali non può essere certo priva di interesse la conoscenza dell'età assoluta dei minerali soggetti alle loro indagini.

La questione è stata negli ultimi mesi ripresa da un allievo dello Strutt, A. Holmes (¹), il quale appunto si è dedicato al necessario coordinamento cronologico delle determinazioni eseguite da Boltwood, alle quali egli ne ha aggiunta una bella serie, riferentesi ai minerali dei filoni di pegmatite sienitica del bacino di Kristiania, meravigliosamente illustrati da W. C. Brögger (²). Holmes ha spinto così innanzi i suoi studi, da giungere a stabilire, in base al rapporto Pb/U, una vera e propria scala geologica, che val la pena di riprodurre integralmente:

Periodo geologico	Pb/U	Milioni di anni
Carbonifero	0,041	340
Devoniano	0,045	370
Pre-carbonifero	0,050	410
Siluriano o ordoviciano	0,053	430
Pre-cambriano:		
a) Svezia	{ 0,125	1025
	{ 0,155	1270
b) Stati Uniti	{ 0,160	1310
	{ 0,175	1435
c) Ceylon	0,20	1640

La pubblicazione di questa scala geologica, che dovrebbe poter servire, secondo il suo autore, ad aiutare i geologi nelle difficoltà che tanto spesso incontrano, mi ha deciso a non tardare oltre a rendere di pubblica ragione alcune osservazioni da me eseguite già da vari anni, sul materiale sperimentale esistente, le quali mostrano come, almeno con le nostre cognizioni attuali, il metodo di Boltwood e Strutt non possa in alcun modo servire a calcolare l'età assoluta delle rocce della terra e, almeno in molti casi, nemmeno quella relativa.

Ed invero, perchè si possa applicare la formula di Strutt, è necessario che il rapporto Pb/U sia costante per tutti i minerali di una data forma-

(¹) Proceedings of the Royal Society A, 1911, LXXXV, 248.

(²) Zeitschr. für Kryst. und Min., 1890, XVI.

zione. Questa considerazione non è certo sfuggita a Holmes, il quale, appunto, assume che questa costanza esista, basandosi principalmente sulle sue proprie determinazioni eseguite sui minerali dei filoni di pegmatite sienitica del bacino di Kristiania. Ora, queste stesse determinazioni di Holmes rappresentano una costanza assai relativa, poichè il rapporto Pb/U oscilla tra 0,041 e 0,068, mentre per due minerali, la nefelina ed il feldspato, sale a 0,400 e 0,500 rispettivamente, tanto che Holmes è costretto ad invocare una possibile influenza del piombo originariamente presente nel magma. Anche non dando alcun peso ai valori così anomali, rispetto agli altri, del rapporto Pb/U per la nefelina ed il feldspato, sta di fatto che i valori estremi ottenuti per gli altri minerali, e che a prima giunta sembrano sufficientemente concordanti, in realtà diversificano tanto, da condurre a due età estreme assai differenti per quei filoni norvegesi. Ed infatti, partendo dal rapporto $Pb/U = 0,041$ si ottiene una età di 336 milioni di anni: in base all'altro valore 0,068, i milioni di anni diventano 558⁽¹⁾. Il che vuol dire che, seguendo la scala geologica di Holmes, i filoni di pegmatite sienitica del bacino di Kristiania appartengono, secondo il primo valore, al carbonifero; secondo l'altro, invece, sarebbero di 128 milioni di anni più antichi del siluriano. È vero che Holmes ovvia all'inconveniente prendendo la media dei valori da lui ottenuti: ma è evidente che le medie possono farsi soltanto tra misure omogenee, e non tra quelle che differiscono della bellezza di 222 milioni di anni! A tutto ciò è da aggiungere che Holmes non si è occupato che di un numero relativamente piccolo di minerali dei filoni di pegmatite sienitica del bacino di Kristiania: se egli ne avesse studiato degli altri, avrebbe trovato, senza dubbio, delle età ancora più oscillanti per quei filoni. Così, per esempio, la polimignite contiene, secondo l'analisi di Blomstrand, 0,39 % di ossido di piombo, ma punto uranio, o, al più, una quantità piccolissima, sfuggita ad un chimico specialista del valore di Blomstrand: l'età di quel minerale risulterebbe, perciò, straordinariamente antica.

Secondo Holmes, il bacino di Kristiania è particolarmente adatto per accertare l'applicabilità del metodo di Boltwood e di Strutt alla determinazione precisa dell'età delle formazioni geologiche: può già dedursi senz'altro il grado di attendibilità dei milioni di anni calcolati in base al rapporto Pb/U. Tuttavia lo studio delle analisi esistenti di un certo numero di minerali assai importanti dei filoni di pegmatite granitica della Norvegia meridionale, ci mostra in modo ben più evidente che i milioni di anni dedotti dalla formula di Strutt non meritano alcuna fiducia.

I filoni di pegmatite granitica della Norvegia meridionale presentano come minerali accessori primari numerosi ed importanti niobati (e tantalati) e titanoniobati (e tantalati) che contengono quantità spesso discretamente

⁽¹⁾ In tutti i calcoli di milioni di anni si danno le cifre arrotondate.

notevoli di uranio ed anche di piombo, dimodochè questi elementi possono determinarsi con precisione: non solo, ma anche i piccoli ed inevitabili errori analitici vengono ad influire in modo non troppo grave sul rapporto Pb/U. Sotto questo punto di vista, i minerali in questione sono assai più adatti, per lo studio della costanza del rapporto Pb/U in una data formazione geologica, dei minerali dei filoni delle pegmatiti sienitiche, esaminati da Holmes, e nei quali il tenore in piombo oscilla tra 0,0003 e 0,0570 ‰. Inoltre, i minerali dei filoni di pegmatite granitica sono stati analizzati con cura grandissima dall'illustre chimico C. Blomstrand, il quale ha posto attenzione particolare alla determinazione degli elementi presenti in tenue quantità, e specialmente del piombo. Le analisi di Blomstrand, di recente pubblicate da Brögger⁽¹⁾, si riferiscono ai minerali seguenti: Fergusonite di Berg, euxenite di Alve, Blomstrandina di Hitterö e di Arendal, Samarskite di Oedegårdssletten e di Aslaktaket, ittrotantalite di Hattevik. Nell'analisi della ittrotantalite di Berg (?) il piombo risulterebbe assente: ma nel dubbio che sia sfuggito al Blomstrand o non sia stato dosato, di quell'analisi non si terrà alcun conto. Altre analisi utilizzabili sono quella dell'euxenite di Eitland, dovuta a Prandtl⁽²⁾, l'altra dell'euxenite (?) di Arendal, eseguita da Hofmann e Prandtl⁽³⁾, nonchè quella del nuovo minerale risörite di Risör, che è opera di O. Hauser⁽⁴⁾. Lo stesso Hauser⁽⁵⁾, insieme con F. Wirth, ha fatto conoscere un'analisi utilizzabile dell'euxenite di Eitland e del policrasio di Saetersdal. Considerando, per ora, questo solo gruppo di analisi, che si riferiscono a minerali abbastanza affini, si ottiene il seguente risultato:

Minerale	Località	Analista	Pb/U	UO ₃ + UO ₂ ‰	Milioni di anni
Euxenite	Eitland	W. Prandtl	0,005	12,66	41
Blomstrandina	Hitterö	C. Blomstrand	0,016	4,01	131
Samarskite	Oedegårdssletten	"	0,050	16,44	410
Samarskite	Aslaktaket	"	0,065	15,20	533
Ittrotantalite	Hattevik	"	0,071	4,98	582
Euxenite	Eitland	O. Hauser et F. Wirth	0,080	5,64	656
Policrasio	Saetersdal	"	0,089	5,49	730
Euxenite	Alve	C. Blomstrand	0,114	5,83	935
Blomstrandina	Arendal	"	0,165	5,35	1353
Euxenite	Arendal	K. H. Hofmann e W. Prandtl	0,268	4,37	2198
Fergusonite	Berg	C. Blomstrand	0,322	4,68	2640
Risörite	Risör	O. Hauser	2,11 ⁽⁶⁾	0,10	17302

(1) *Die Mineralien der südnorwegischen Granitpegmatitgänge*. I. Niobate, Tantalate, Titanate und Titanoniobate. Kristiania, 1906.

(2) *Ueber einige neue Bestandteile des Euxenits*. Inaug. Diss. München, 1901, pag. 14.

(3) *Berliner Berichte*, 1901, XXXIV, 1064.

(4) *Zeitschr. für anorg. Chemie*, 1908, LX, 230.

(5) *Berliner Berichte*, 1909, XXXXII, 4443.

(6) Nella risörite l'ossido di piombo (0,20 ‰) è in quantità doppia del biossido di uranio (0,10 ‰).

Uno sguardo a questa tabella basta per dimostrare senz'altro come dal rapporto Pb/U dei minerali indicati sia impossibile trarre una qualsiasi deduzione plausibile sulla loro età. A seconda che si considera l'una o l'altra analisi, i filoni di pegmatite granitica della Norvegia meridionale possono ritenersi o relativamente recentissimi ovvero appartenenti all'antichità più estrema. Come si vede, ce n'è per tutti i gusti e per tutte le teorie.

Nè si giunge a risultati più confortanti se si prendono in esame le analisi di un minerale abbastanza frequente nei ricordati filoni, l'uraninite, e che, quantunque permetta una suddivisione in diverse varietà, pure, per quel che riguarda la percentuale dell'uranio e del piombo, presenta una variabilità assai minore di quella che si osserva, invece, nei minerali sopra elencati. Anche queste uraniniti sono state analizzate da chimici valorosi, come Hillebrand, Blomstrand, Lindström, ecc. Dalle analisi di questi studiosi si deducono i valori seguenti:

Località	Analista	Pb/U	UO ₃ + UO ₂ %	Milioni di anni
Änneröd (Bröggerite)	C. Blomstrand	0,114	80,07	935
" "	F. W. Hillebrand	0,127	76,76	1041
Huggenäskilen	"	0,129	78,92	1058
Skraatorp	"	0,134	75,88	1099
Elvestad	"	0,142	76,10	1164
Arendal (Cleveite)	"	0,166	69,72	1361
" (Cleveite)	"	0,175	70,98	1435
" (Cleveite)	G. Lindström	0,187	65,93	1533

Sicchè, anche considerando un solo minerale eccezionalmente favorevole, si ha una incertezza di ben 600 milioni di anni!

Nè deve credersi che questi risultati così paradossali, ai quali conduce lo studio della composizione di alcuni minerali dei filoni di pegmatite granitica della Norvegia meridionale, sieno isolati ed eccezionali: precisamente lo stesso accade in molte altre località. Così, Boltwood, per i minerali del noto giacimento di gadolinite nella Contea di Llano (Texas) ha fissato il rapporto Pb/U in 0,160. E valori effettivamente prossimi a questo si ottengono dalle analisi di alcuni dei minerali di quel giacimento. Ma se, oltre alla Nivenite ed alla Mackintoshite, noi teniamo conto anche della Fergusonite e della ittrialite, noi otteniamo i risultati che seguono:

Minerale	Analista	Pb/U	UO ₃ + UO ₂ %	Milioni di anni
Nivenite	Mackintosh	0,167	66,64	1369
Mackintoshite	Hillebrand	0,182	22,13	1492
Ittrialite	"	0,514	1,64	4215
Fergusonite	Mackintosh	0,520	3,93	4264

Anche qui la variabilità nei valori esprimenti l'età dei giacimenti è addirittura enorme, poichè i valori estremi distano di circa due miliardi e novecento milioni di anni, il che toglie, naturalmente, ogni serietà ai risultati del calcolo. Notevole è il fatto che i quattro minerali della Contea di Llanos, dal punto di vista del rapporto Pb/U si possono riunire in due gruppi nettamente distinti: su questo torneremo fra poco.

Molto interessante, sotto il punto di vista della incostanza del rapporto Pb/U anche in uno stesso minerale di una data località, è la torianite di Ceylon. Di questo minerale sono state eseguite varie analisi, riferite da Hintze nel suo *Handbuch der Mineralogie* (I, 1670): aggiungendo alle più importanti di esse quella assai completa di E. H. Büchner⁽¹⁾, si ha quanto segue:

Analista	Pb/U	UO ₃ + UO ₂ %	Milioni di anni
Dunstan e Monat Jones VIII ⁽²⁾ .	0,086	29,20	705
Blake III	0,187	15,10	1533
E. H. Büchner	0,202	13,12	1656
Blake I.	0,212	11,19	1738
" II	0,245	12,33	2009

Benchè la torianite di Ceylon provenga tutta dalla formazione granitica di quell'isola, pure il rapporto Pb/U varia entro limiti assai estesi.

Da tutti gli esempi riferiti risulta chiara la impossibilità di adoperare utilmente, almeno nello stato attuale delle nostre cognizioni e dei nostri mezzi, la formula di Strutt per la determinazione dell'età dei minerali e delle rocce, delle quali essi sono costituenti primitivi.

Le cause dei risultati tanto variabili ottenuti con la formula di Strutt, sono di varia natura: alcune dipendono dalla formula stessa, altre dal materiale adoperato, altre, infine, dall'essenza stessa del metodo.

La formula di Strutt richiede, per condurre a risultati esatti, una determinazione così precisa del rapporto Pb/U quale i nostri metodi analitici non possono certo consentirci. Ed invero, il rapporto Pb/U viene moltiplicato, allo scopo di ottenere il numero di anni, per 8200 milioni, il che significa che l'errore di una unità nella terza cifra decimale di Pb/U produce una incertezza di 8200 anni, e l'errore di una unità nella seconda cifra decimale porta l'incertezza a 82 milioni, ossia, secondo la scala di Holmes, non ci permette più di distinguere il siluriano dal carbonifero. Nè, almeno per le

⁽¹⁾ Chemical News, 1906, XCIV, 233.

⁽²⁾ Il numero si riferisce alla tabella delle analisi di torianite, data da Hintze.

analisi eseguite con quantità non troppo grande di minerale, noi possiamo considerare eccessivo l'errore di una unità nella seconda decimale, la quale al contrario, come è ben noto, non ci serve, nei casi più favorevoli, che ad assicurarci della precisione della prima. Una esattezza maggiore può ottenersi soltanto adoperando quantità cospicue di sostanza, come ha fatto, per esempio, Holmes; ma allora si incappa nell'altra gravissima difficoltà di avere materiale del tutto puro; se la purezza non è assoluta, o non viene, per lo meno, rigorosamente fissata, con le indagini microscopiche e chimiche, la natura e la composizione delle sostanze incluse nel minerale in esame, la precisione nella determinazione del rapporto Pb/U diviene puramente illusoria (¹).

Ancor più gravi sono le considerazioni che si riferiscono alla natura della maggior parte dei minerali studiati finora per stabilire l'età delle rocce eruttive antiche. Perchè l'età risulti esatta, bisogna ricorrere a minerali che sieno costituenti primari di quelle rocce e che, dall'epoca della loro formazione fino ai giorni nostri, non abbiano subito, nella loro composizione, altre modificazioni che quelle dipendenti dalle disintegrazioni atomiche. Ora, per la gran maggioranza dei minerali finora esaminati delle rocce eruttive antiche, questa seconda e fondamentale condizione non è verificata affatto. Quasi tutti quei minerali, infatti, hanno subito, dopo la loro formazione, un profondo cambiamento di stato: sono diventati, cioè, amorfi; hanno assai spesso perduto ogni traccia della loro primitiva forma cristallina, e, mentre in origine erano con tutta probabilità completamente o quasi anidri, oggi contengono quantità considerevoli di acqua. I minerali che hanno subito questa trasformazione, detta metamittica, non rappresentano, perciò, che delle pseudomorfosi dei composti primitivi, nelle quali la composizione originaria è di solito più o meno modificata, anche a prescindere dall'acqua. Proprio a questi minerali metamittici appartengono quelli relativamente più ricchi in uranio (²), e dai quali, perciò, sarebbe lecito sperare una più esatta applicazione della formula di Strutt. Quanto ai minerali non metamittici che ad essi si accompagnano, e che sono, per lo più, poverissimi in uranio, è assai probabile che questo elemento sia dovuto per l'appunto ad inclusioni di minerali metamittici. Non bisogna, infatti, dimenticare che i minerali non sono quasi mai puri, e che Doelter (³), per esempio, ha dimostrato che la maggior parte degli zirconi puri non sono radioattivi, e che la radioattività, all'infuori di

(¹) Così, per esempio, per i minerali studiati da Holmes non è da dimenticare che la galena si rinviene, benchè non frequentemente, nei filoni di pegmatite sienitica della Norvegia meridionale.

(²) Dei 14 minerali dai quali Holmes ha calcolato l'età dei filoni di sienite pegmatitica del bacino di Kristiania, per lo meno otto avevano subito la trasformazione metamittica.

(³) Tschermak's min. petr. Mitth., 1910, XXIX, 258.

talune rare eccezioni, è presentata soltanto da quegli zirconi che presentano impurezze.

E veniamo, infine, ad una obbiezione che tocca l'essenza stessa del metodo di Boltwood e Strutt. Questo metodo si fonda, evidentemente, sulla ipotesi che il piombo contenuto nei minerali uraniferi sia dovuto esclusivamente alla disintegrazione dell'uranio. In questo caso, è chiaro che il rapporto Pb/U per i minerali di una stessa formazione deve essere indipendente dalla quantità dell'uranio. Ora, Holmes ha accertato che nei minerali dei filoni di pegmatite sienitica del bacino di Kristiania il rapporto Pb/U cresce, all'infuori di alcune eccezioni, al diminuire della percentuale dell'uranio. Questo fatto, che dimostra, e in modo da non ammettere replica, come il piombo non sia tutto dovuto alla disintegrazione dell'uranio, è generale, come risulta dalla semplice ispezione delle tabelle riportate nelle pagine precedenti. Esse mostrano tutte che nei minerali di una stessa formazione il rapporto Pb/U ha, *in complesso*, i suoi valori più bassi nei minerali più ricchi in uranio, senza, però, che esista una relazione semplice e generale tra il contenuto in U ed i valori di Pb/U: le eccezioni assai notevoli al carattere complessivo del fenomeno ne dimostrano maggiormente la irregolarità. Ad ogni modo, queste constatazioni, che dimostrano la indubbia influenza esercitata dal piombo libero nel magma, intaccano fortemente la base stessa del metodo di Boltwood e di Strutt, col quale, quindi, non si può certo sperare di poter calcolare l'età dei minerali e delle rocce del nostro pianeta.

Mineralogia. — *Forme nuove del berillo elbano.* Nota di FEDERICO MILLOSEVICH, presentata dal Socio G. STRUEVER.

Nel riordinare, per farne il catalogo descrittivo completo, le ricchissime collezioni Elbane del Museo di Firenze, ho dovuto esaminare ad uno ad uno i numerosi esemplari di berillo provenienti dalle collezioni antiche, dalla collezione Foresi, dalla collezione Roster e da acquisti varî. In tal modo mi fu dato di osservare delle forme di questo minerale non ancora descritte ed altre che sono da ritenersi nuove per la località, cosicchè credo opportuno accennare in questo scritto ai risultati più importanti delle mie ricerche.

E descrivo senz'altro brevemente quei pochi cristalli, che presentano forme nuove per la specie o per la località:

Cristallo n. 1. — Num. 414 della collezione Roster, num. $\frac{3365}{344}$ E del

mio nuovo Catalogo Elbano. Località: Grotta d'Oggi, S. Piero.

Cristallo incolore, limpido, lucente, accompagnato da cristalli di quarzo e di ortoclasio sul granito tormalinifero.