Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 48 (1968)

Heft: 1: Symposium "Zone Ivrea-Verbano"

Artikel: Rapporto di ossidazione del ferro in una serie metamorfica della Valle Strona (Novara)

Autor: Sighinolfi, G.P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-37746

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Rapporto di ossidazione del ferro in una serie metamorfica della Valle Strona (Novara)

Di *G. P. Sighinolfi* (Modena) *)

Con 5 figure e 2 tabelle nel testo

Riassunto

Vengono discusse le variazioni nel contenuto in ferro ferrico e ferroso che si osservano nelle rocce di una serie metamorfica di tipo regionale della Valle Strona (Novara). Lo stato di ossidazione del ferro viene espresso dalla percentuale molecolare $(2\ Fe_2O_3 \cdot 100)/(2\ Fe_2O_3 + FeO)$ chiamata „rapporto di ossidazione". Sono stati analizzati 39 campioni di rocce di alto grado di metamorfismo compreso fra la facies anfibolitica e la facies granulitica e 5 campioni di migmatiti correlate a questa serie.

Col progredire del metamorfismo il rapporto di ossidazione diminuisce sensibilmente anche se in modo irregolare; detto rapporto ha poi una correlazione con il contenuto in mangenese delle rocce. Si osserva inoltre una forte correlazione diretta fra ferro totale e manganese. Nelle rocce di facies anfibolitica il rapporto di ossidazione presenta notevoli variazioni fra campione e campione diminuendo bruscamente allorchè è presente grafite in discrete quantità.

In base a queste considerazioni la variazione del rapporto di ossidazione viene in parte considerata di origine premetamorfica ed in parte dovuta al processo metamorfico di alto grado.

Abstract

This paper discusses the varying contents of ferric and ferrous iron in the rocks of a regionally metamorphosed suite in Strona Valley (Novara). The oxidation state of iron is estimated by the "oxidation ratio" given by $(2\,Fe_2O_3 \cdot 100)/(2\,Fe_2O_3 + FeO)$. 39 samples of high-grade metamorphosed rocks (amphibolite and granulite facies) and 5 samples of migmatites correlated with this suite have been analysed.

With increasing metamorphism the oxidation ratio diminishes noticeably, although irregularly, and is correlated to manganese-content. Total iron, moreover, shows a marked straight-line-relationship to manganese content. In the rocks of the amphibolite facies, the oxidation ratio presents noticeable variations in the different samples and diminishes abruptly when large amounts of graphite occur.

On the basis of these considerations, the variation of the oxidation ratio is considered to be partially caused by the pre-metamorphic composition and partially by the high-grade metamorphic process.

---

*) Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università, Via S. Eufemia, Modena.

Introduzione

Fra i fenomeni che si osservano durante un processo di metamorfismo progressivo uno dei meno conosciuti riguarda i cambiamenti dello stato di ossidazione del ferro. La mancanza di uno studio sistematico è dovuta probabilmente alla diversità della natura delle rocce originali. In ogni caso studi di alcuni autori fra cui CHINNER (1960), BUDDINGTON et al. (1963) e ENGEL and ENGEL (1958) dimostrano l'esistenza di serie metamorfiche che presentano rocce con rapporti ferro ferrico/ferro ferroso variabili e correlati al grado metamorfico.

Le maggiori difficoltà si incontrano poi allorchè si tenta di interpretare il significato di tali variazioni in quanto esse possono essere dovute alla variazione della pressione parziale di ossigeno, alla presenza di materia organica ed all'originale stato di ossidazione che può variare anche su una piccola area. Il presente lavoro, che si inquadra in una serie di ricerche geochimiche su rocce sottoposte a metamorfismo progressivo, prende in esame lo stato di ossidazione del ferro di una serie metamorfica della Valle Strona (Novara), tentandone poi l'interpretazione delle variazioni in facies distinte.

Brevi notizie petrografiche

I numerosissimi studi a carattere petrografico (BERTOLANI 1964a, 1964b, 1968 ecc.) effettuati negli ultimi anni sul territorio della Valle Strona hanno permesso di approfondire la conoscenza delle rocce di questa zona. Come si può vedere in modo molto schematico dalla fig. 1, lungo detto territorio da sud-est a nord-ovest si succedono migmatiti, una fascia di gneiss biotitico-sillimanitici alternati a gneiss anfibolici (riferibili entrambi alla facies anfibolitica) ed infine granuliti. Si tratta di un fenomeno di metamorfismo progressivo ed il progredire del metamorfismo è accompagnato nelle rocce da una graduale variazione nella composizione mineralogica.

I campioni analizzati si riferiscono a migmatiti, a gneiss biotitico-sillimanitici e a granuliti. In base alla composizione mineralogica ed alla posizione nella serie i campioni sono distinti in 4 gruppi.

1. Migmatiti caratterizzate da una paragenesi semplificata di questo tipo: quarzo, plagioclasio, microclino, biotite e muscovite.

2. Gneiss biotitico-sillimanitici tipici con quarzo, plagioclasio, biotite, sillimanite.

3. Gneiss di transizione con quarzo, plagioclasio, biotite, sillimanite, granato, pertite accessoria.

4. Granuliti di cui la maggior parte possiede una paragenesi costituita da quarzo, plagioclasio, antipertite, e granato. Questo tipo di inquadra nelle granuliti „acide" di BERTOLANI (1964a, 1968) che secondo lo stesso autore

derivano da trasformazione in facies granulitica degli gneiss biotitico-sillimanitici.

Le composizioni sopraelencate hanno valore puramente schematico osservandosi variazioni nell'ambito degli stessi gruppi come ad esempio la presenza di muscovite negli gneiss biotitico-sillimanitici e quella di biotite nelle granuliti.

Le variazioni nella composizione mineralogica delle rocce è accompagnata da variazioni nella composizione di una singola fase: questo è il caso dei granati (SIGHINOLFI 1967, 1968). Nella fig. 1 sono rappresentati i punti di raccolta dei vari campioni nelle distinte zone.

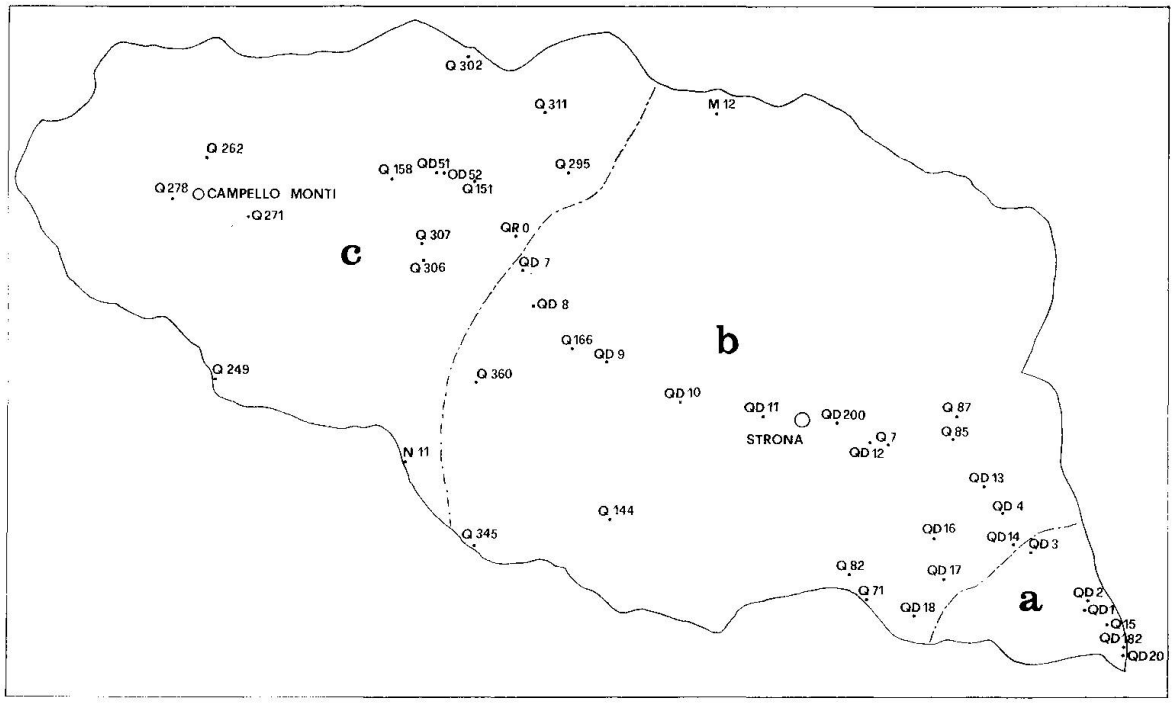

Fig. 1. a migmatiti, b facies delle anfiboliti, c facies granulitica.

Metodi e risultati delle analisi

I campioni sono stati analizzati per il contenuto in FeO, Fe_2O_3 e MnO ed i risultati di tali analisi sono riportati in tab. 1. Nella stessa tabella sono riportati i valori dei „rapporti di ossidazione" $(2Fe_2O_3 \times 100)/(2Fe_2O_3 + FeO)$ presi come indicatori dello stato di ossidazione analogamente a quanto fatto da CHINNER (1960).

Le determinazioni del Fe totale e del MnO delle analisi inedite sono state eseguite per via spettrofotometrica ad assorbimento atomico.

E' stato utilizzato uno spettrofotometro Perkin-Elmer mod. 303, seguendo il metodo descritto da ALTHAUS (1966). La determinazione del Fe ferroso è stata effettuata con il metodo semimicro di MEYROWITZ (1963).

Tabella 1

Campione	Fe tot. (Fe_2O_3)	FeO	Fe_2O_3	MnO	R.oss
Migmatiti					
QD 1	2,15	0,79	1,27	0,020	59,11
QD 2	2,85	1,51	1,17	0,042	41,01
Q 15+	4,17	1,15	2,89	0,040	69,35
QD 182	7,63	6,10	0,86	0,090	11,28
QD 20	4,21	2,71	1,20	0,057	28,46
Gneiss biotitico-sillimanitici					
QD 3	6,79	4,36	1,95	0,092	28,67
QD 4	8,80	5,65	2,53	0,128	28,74
QD 10	9,90	6,93	2,21	0,099	22,32
QD 11	9,60	6,55	2,33	0,084	24,95
QD 12	8,90	6,18	2,04	0,110	22,87
QD 13	7,26	4,66	2,09	0,062	28,79
QD 14	5,02	3,53	1,10	0,070	21,94
QD 16	6,40	3,71	2,28	0,070	35,58
QD 17	4,30	3,07	0,89	0,075	20,63
QD 18	6,70	4,49	1,72	0,096	25,62
Q 144	9,05	5,66	2,77	0,077	30,57
Q 87	11,00	6,94	3,30	0,085	29,95
Q 7	6,55	4,10	2,00	0,051	30,49
QD 200	10,81	9,16	0,64	0,109	5,90
Q 85+	14,09	5,27	8,24	0,030	58,47
Q 71	8,20	5,45	2,15	0,067	26,19
Q 82	6,83	4,87	1,43	0,109	20,89
Q 345	8,49	6,27	1,53	0,160	18,03

Campione	Fe tot. (Fe_2O_3)	FeO	Fe_2O_3	MnO	R.oss
Gneiss di transizione					
QD 7	9,25	6,67	1,85	0,167	19,98
QD 8	13,80	10,02	2,68	0,297	19,41
QD 9	7,15	5,29	1,28	0,184	17,86
Q 166	6,12	5,44	0,08	0,057	1,30
M 12	7,46	6,41	0,35	0,148	4,70
Q 360	11,95	9,81	1,06	0,172	8,88
N 11	8,30	7,06	0,46	0,111	5,57
Granuliti					
QD 51	11,10	8,74	1,40	0,149	12,58
QD 52	9,05	6,67	1,65	0,158	18,22
QD 158	15,52	12,54	1,60	0,202	10,28
Q 262	15,65	11,95	2,39	0,196	15,24
Q 151	9,75	7,63	1,28	0,195	13,09
Q 271	13,60	11,17	1,20	0,161	8,80
QR 0	15,75	12,06	2,36	0,178	14,95
Q 306	13,30	10,06	2,13	0,168	16,07
Q 311°	24,20	20,53	1,41	0,350	5,80
Q 295°	2,78	2,17	0,37	0,080	13,22
Q 302°	10,81	8,50	1,38	0,160	12,76
Q 278	11,90	9,45	1,41	0,129	11,80
Q 307	11,35	8,77	1,62	0,130	14,26
Q 249°	5,60	4,42	0,69	0,073	12,27

+ Da Bertolani (1964a)
° Da Bertolani (1968)

$$\text{R.oss} = \frac{2\,Fe_2O_3 \cdot 100}{2\,Fe_2O_3 + FeO} = \text{Rapporto di ossidazione}$$

Discussione dei risultati

L'esame dei risultati di tab. 1 permette di fare le seguenti considerazioni.

a) Il rapporto di ossidazione del ferro (R.oss) subisce una forte diminuzione passando dagli gneiss biotitico-sillimanitici tipici alle granuliti in conseguenza al forte aumento di Fe ferroso in quest'ultime. Le medie dei rapporti di ossidazione nei due tipi di rocce sono rispettivamente 26,7 e 12,8. Nell'ambito di uno stesso tipo di rocce il grado di variabilità del rapporto di ossidazione da campione a campione, stimato in base al coefficente di variabilità C, risulta di poco maggiore negli gneiss biotitico-sillimanitici (C = 26,7) rispetto alle granuliti (C = 24,2). Il rapporto di ossidazione nelle migmatiti risulta note-

volmente superiore (valore medio 41,8) che negli altri tipi di rocce; un solo campione (QD 182) si discosta molto da questa media. Negli gneiss di transizione invece si riscontra il massimo grado di variabilità con valori estremamente bassi (campioni Q 166, M 12, Q 360) accanto a valori normali.

b) Il contenuto in MnO risulta direttamente correlato sia al Fe totale, analogamente a quanto riscontrato da Chinner (coefficente di correlazione r = + 0,77; fig. 2) sia al Fe ferroso (r = + 0,84; fig. 3).

A differenza dei risultati del lavoro dello stesso autore il rapporto di ossidazione (R.oss) risulta inversamente correlato sia col Fe totale (r = − 0,38; fig. 4) sia col MnO (r = − 0,54; fig. 5).

c) I valori delle medie del Fe totale (8,26—12,17), Fe ferroso (5,38—9,62)

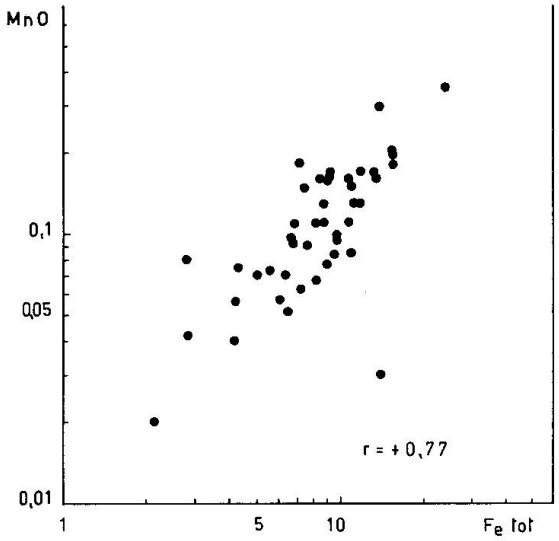

Fig. 2. Contenuto in MnO in funzione del Fe totale.

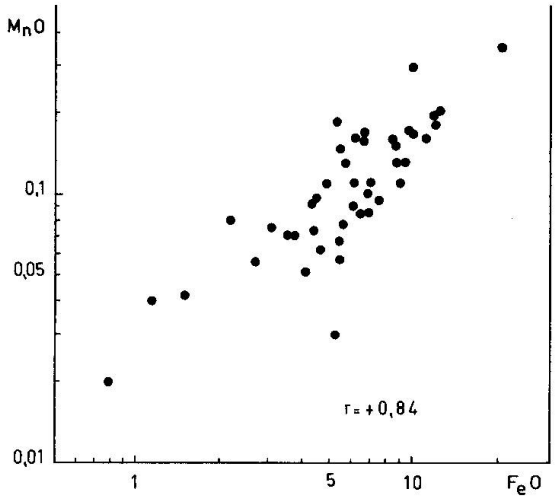

Fig. 3. Contenuto in MnO in funzione di Fe ferroso.

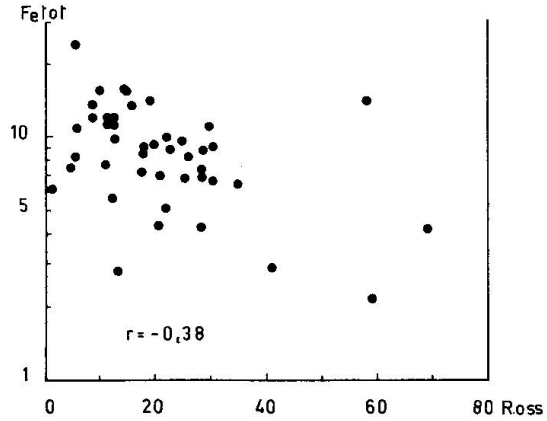

Fig. 4. Variazione del rapp. di ossid. rispetto al Fe totale.

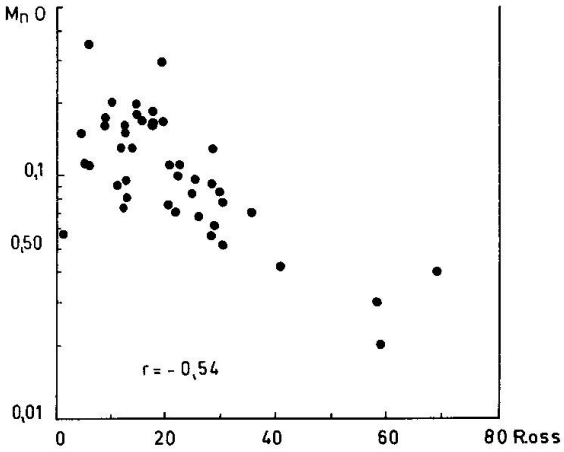

Fig. 5. Variazione del rapp. di ossid. rispetto al MnO.

e di MnO (0,087—0,16) nelle rocce di facies rispettivamente anfibolitica e granulitica indicano che il progredire del metamorfismo è accompagnato da una sensibile variazione positiva dei tre elementi considerati.

Origine del diverso grado di ossidazione

Stabilita l'ipotesi che gli gneiss biotitico-sillimanitici e la maggior parte delle granuliti analizzate costituiscono una entità petrografica unica come origine, differenziatasi in seguito ad uno sviluppo metamorfico diverso, resta da stabilire quanto della differenza nel grado di ossidazione sia primaria (sedimentaria) e quanto secondaria (metamorfica). Una soluzione possibile del problema può essere ricavata partendo dalle osservazioni di Chinner nel lavoro su una serie di gneiss pelitici della Scozia. In queste rocce egli osserva una variazione notevole dei rapporti di ossidazione del ferro e riscontra correlazioni positive fra MnO e ferro totale e fra MnO e rapporto di ossidazione.

La spiegazione che l'autore dà ai fenomeni osservati è relativamente semplice e parte dalla considerazione che in una serie sedimentaria esiste una naturale relazione fra Fe totale e manganese rispettivamente sotto forma di Fe trivalente e Mn tetravalente. Una riduzione successiva, avvenuta in modo omogeneo per es. in fase metamorfica produrrà un rapporto ferrico/ferroso che dipenderà essenzialmente dall'originale contenuto in Fe totale. Contemporaneamente il Mn tetravalente sarà ridotto a Mn bivalente e se il rapporto ferro/manganese è sufficientemente alto, questa riduzione non porterà effetti apprezzabili sul rapporto ferrico/ferroso. In tal caso il MnO, variando col ferro totale, dovrà essere positivamente correlato anche col rapporto di ossidazione. In base a queste considerazioni Chinner afferma che il contenuto in ossigeno variabile della serie di gneiss da lui presi in esame è in gran parte sicuramente di origine sedimentaria e che quindi durante il metamorfismo, le rocce si comportano come un sistema „chiuso" all'ossigeno. Si possono applicare gli stessi concetti alle rocce della Valle Strona sulla base dei risultati delle analisi.

Se il diverso rapporto di ossidazione nelle facies anfibolitica e granulitica fosse dovuto allo stato di ossidazione originale dei sedimenti, in base a quanto detto sopra, si dovrebbe osservare una correlazione diretta fra rapporto di ossidazione e contenuto in manganese. Viceversa, come si osserva in fig. 4, la correlazione fra le due grandezze risulta significativamente inversa. A questo punto l'ipotesi più probabile è che lo stato di ossidazione del ferro sia stato modificato differenzialmente durante il metamorfismo e che la diversa temperatura e pressione abbiano influenzato la pressione parziale di ossigeno. In tal caso le rocce della serie costituiscono un sistema „aperto" all'ossigeno, relativamente al passaggio fra facies granulitica ed anfibolitica. Simile inter-

pretazione spiega bene i risultati del presente lavoro. La correlazione fra Fe totale e MnO è da attribuirsi alla genesi sedimentaria delle rocce. La correlazione negativa fra MnO e rapporto di ossidazione dipende essenzialmente dal rapporto diretto fra contenuto in manganese e Fe ferroso. A sua volta la quantità di Fe ferroso risulta influenzata dalle condizioni di temperatura e pressione del metamorfismo osservandosi un forte aumento in facies granulitica.

I risultati di studi precedenti su fenomeni analoghi in altre regioni sono in parte contradditori. Ad ogni modo è il parere di molti autori (JAMES, 1955; JAMES and HOWLAND, 1955; THOMPSON, 1957) che durante un metamorfismo regionale, almeno fino alla sottofacies a sillimanite-almandino (FYFE, TURNER and VERHOOGEN, 1958), il grado di ossidazione acquisito dalle rocce durante la sedimentazione rimane inalterato.

RANKAMA and SAHAMA (1950, pag. 232) stabiliscono che „è evidente che una volta ossidate, le rocce tendono a trattenere il loro ossigeno durante il metamorfismo". L'esistenza di una relazione fra grado di metamorfismo e stato di ossidazione risulta evidente invece dalle osservazioni di SHAW (1956) che ha calcolato le medie del rapporto di ossidazione di peliti di facies a staurolite-sillimanite (28) e di grado metamorfico inferiore (46). Probabilmente non a caso la media del rapporto di ossidazione per rocce della subfacies a sillimanite coincide quasi con quella (26,7) degli gneiss biotitico-sillimanitici della Valle Strona. Relativamente poco numerosi sono gli studi sugli stessi fenomeni in rocce di grado metamorfico ancora più elevato. BUDDINGTON et al. (1963) osservano variazioni nello stato di ossidazione del ferro in ortogneiss di facies anfibolitica e granulitica degli Adirondack e concludono che molto probabilmente tale fenomeno in parte è dovuto al diverso sviluppo del metamorfismo. Fenomeni analoghi sono osservati da ENGEL and ENGEL (1958) in una serie metamorfica nella stessa regione degli Adirondack: l'avvicinarsi alla facies granulitica è accompagnato da un progressivo aumento, fra altri elementi, di Fe totale e di Fe bivalente mentre il Fe trivalente diminuisce.

A questo punto ci si più chiedere se le variazioni osservate nel contenuto assoluto in ferro e manganese in rocce di facies diverse della Valle Strona siano o no di origine metamorfica. L'aumento di entrambi gli elementi in facies granulitica si inquadra perfettamente nel processo di „basificazione" o „degranitizzazione", molto discusso ma ormai accettato dalla maggior parte degli studiosi, che accompagna l'evolversi delle varie paragenesi mineralogiche durante un metamorfismo regionale di alto grado. Ricordiamo a questo proposito i lavori di ENGEL and ENGEL (1958) e di RAMBERG (1951) secondo i quali un processo metamorfico può non essere isochimico, almeno quando si superano determinate condizioni di temperatura e pressione. L'insufficienza dei dati chimici del presente lavoro impedisce di trarre qualsiasi conclusione su tale argomento che verrà preso in esame in un prossimo studio corredato anche da risultati di analisi di costituenti minori.

Tabella 2. *Contenuti in Grafite*

Tipo di roccia		Grafite % in peso	R.oss
Q 360	Gneiss di transizione	1,70	8,88
M 12	Gneiss di transizione	3,87	4,70
Q 345	Gneiss biotitico-sillimanitico	3,00	18,03
QD 200	Gneiss biotitico-sillimanitico	0,69	5,90
Q 82	Gneiss biotitico-sillimanitico	2,32	20,89
QD 182	Migmatite	2,00	11,28

Resta da discutere l'origine delle variazioni del rapporto di ossidazione che si osservano nei vari campioni di una stessa facies. Tali variazioni, come già detto all'inizio, possono essere dovute all'originale stato di ossidazione nei sedimenti che può variare anche su una piccola area ed alla presenza di materia organica negli stessi. Mentre nulla si può dire su quanto di dette variazioni ora osservabili è dovuto allo stato originale di ossidazione dei sedimenti, è possibile stimare l'effetto della presenza di materia organica della quantità di grafite riscontrata. In effetti parte dei campioni di facies sia anfibolitica che granulitica rivela all'osservazione in luce riflessa la presenza di grafite. Su alcuni campioni di rocce di tipo diverso rivelatisi particolarmente ricchi in grafite è stata effettuata la determinazione quantitativa per via ponderale di tale minerale. I risultati sono riportati in tab. 2 assieme ai rapporti di ossidazione.

I valori dei rapporti di ossidazione di questi campioni sono in genere molto più bassi delle medie delle facies a cui rispettivamente appartengono. Particolarmente significativo risulta il campione QD 182, una migmatite il cui rapporto di ossidazione è di gran lunga inferiore della media delle migmatiti (vedi tab. 1). I tre campioni Q 360, M 12, e Q 345 appartengono ad una zona della media Valle Strona particolarmente ricca in grafite (Bertolani 1968). In questi casi si può dedurre che la grafite è presente in questi campioni in quantità sufficienti, in base alla reazione di equilibrio con la fase di vapore $C + H_2O \rightleftarrows CO + H_2$, a tenere basso il contenuto in ossigeno delle rocce.

Conclusione

1. Un processo metamorfico di alto grado (di facies anfibolitica e granulitica) influenza sensibilmente il contenuto in ossigeno delle rocce provocando una sistematica diminuizione del rapporto di ossidazione del ferro in facies granulitica. Questa variazione sistematica si sovrappone ma non cancella gli effetti dello stato originario (pre-metamorfico) di ossidazione del ferro.

2. L'aumento del contenuto in ferro totale e in manganese in facies granulitica è da considerare come un arricchimento indiritto in quanto probabilmente si inquadra in un processo di basificazione che agisce in concomitanza ad un aumento delle condizioni di temperatura e di pressione.

3. Le singole variazioni negative della quantità di ossigeno nei campioni di una stessa facies sono in un certo numero di casi strettamente legate alla quantità di grafite.

Bibliografia

ALTHAUS, E. (1966): Die Atom-Absorptions-Spektralphotometrie — ein neues Hilfsmittel zur Mineralanalyse. N. Jb. Mineral. Mh. *9*, 259—280.

BERTOLANI, M. (1964a): Considerazioni geopetrografiche sulla Valle Strona. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., *71*, 113—132.

— (1964b): Le stronaliti. Rend. S.M.I. *20*, 31—70.

— La petrografia della Valle Strona. Schweiz. Min. Petr. Mitt. (in corso di stampa).

BUDDINGTON, A. F., FAHEY, J., VLISIDIS, A. (1963): Degree of oxidation of Adirondack iron oxides and iron-titanium oxide minerals in relation to petrogeny. J. Petrol. *4*, 138—169.

CHINNER, G. A. (1960): Pelitic gneisses with varying ferrous/ferric ratio from Glen Clova, Angus, Scotland. J. Petrol. *1*, 178—217.

ENGEL, A. E. J. and ENGEL, C. G. (1958): Progressive metamorphism and granitization of the major paragneiss, northwest Adirondack Mountains, New York. Part I. Total rock. Bull. geol. Soc. Amer. *69*, 1369—1414.

FYFE, W. S., TURNER, F. J. and VERHOOGEN, J. (1958): Metamorphic reactions and metamorphic facies. Mem. geol. Soc. Amer., *73*.

JAMES, H. L. (1955): Zones of regional metamorphism in the Precambrian of northern Michigan. Bull. geol. Soc. Amer. *66*, 1455—1488.

JAMES, H. L. and HOWLAND, A. L. (1955): Mineral facies in iron and silica rich rocks. Bull. geol. Soc. Amer. *66*, 1580.

MEYROWITZ, R. (1963): A semimicro procedure for the determination of ferrous iron in nonrefractory silicate minerals., Amer. Mineral. *48*, 340—347.

RAMBERG, H. (1951): Remarks on the Average Chemical Composition of Granulite Facies and Amphibolite-to-Epidote Facies Gneisses in West Greenland. Medd. dansk geol. Foren. BD. *12*, 27—34.

RANKAMA, K. and SAHAMA, T. G. (1950): Geochimistry. Chicago: The University Press.

SHAW, D. M. (1956): Geochemistry of pelitic rocks. Part III. Major elements and general geochemistry. Bull. geol. Soc. Amer. *67*, 919—934.

SIGHINOLFI, G. P. (1967): Metamorfismo regionale di alto grado: I granati. Parte I. Period. Mineral. *36*, 485—513.

— (1968): Metamorfismo regionale di alto grado: I granati. Parte II. Period. Mineral. *37* (in corso di stampa).

THOMPSON, J. B. (1957): The graphical analysis of mineral assemblages in pelitic scists. Amer. Mineral. *42*, 842—858.