

MARIO BERTOLANI

LE ROCCE CARBONATE E I LORO DERIVATI
NELLA VALLE STRONA (NOVARA) (*)

RIASSUNTO. — In tutta la valle Strona, ma in particolare nella zona compresa tra Sambughetto e Chesio, si nota un'alternanza tra gneiss biotitico-sillimanitici, anfiboliti e marmi o calcefiri, che rappresentano le rocce di base. Viene data una descrizione petrografica delle rocce carbonatate e delle rocce silicee da esse derivate. Il fenomeno della silicizzazione viene posto in relazione con una mobilitazione regionale a tendenza migmatitica.

ABSTRACT. — In Strona Valley (Prov. of Novara, Italy), and in particular in the part between Sambughetto and Chesio, there is an alternance of biotitic-sillimanitic gneisses, amphibolites and marbles or calc-silicate rocks. These rocks are old metamorphosed sediments. A petrological description of the carbonatic rocks and of the siliceous rocks derived from these is given. The siliceous transformation is supposed to be the product of a general mobilisation with migmatitic tendency.

Premessa.

Nella serie metamorfica della cosiddetta « Formazione diorito-kinzigitica Ivrea-Verbanò », sono frequenti le intercalazioni di rocce carbonatate. Si tratta talvolta di veri e propri marmi, a struttura cristallina e con pochissimi altri minerali oltre alla calcite. Più frequentemente si hanno marmi impuri per numerosi silicati di varia natura, che comunemente assumono il nome di calcefiri.

La descrizione petrografica di marmi e calcefiri figura già nel classico lavoro di ARTINI e MELZI (1900) sulla Valsesia e notizie più recenti sono comparse sul celebre marmo di Candoglia in val d'Ossola e su altri della zona (CAMISASCA 1941, PAPAGEORGAKIS 1961), sia su marmi e calcefiri di varie zone metamorfiche della Valsesia (BERTOLANI 1954, 1958, 1960), della zona di Quarna (BERTOLANI 1961) e della bassa valle Strona (BERTOLANI, TOGNETTI, SIGHINOLFI, LOSCHI 1963).

(*) Lavoro eseguito col contributo del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

In relazione a queste rocce carbonatate si trovano spesso rocce completamente o quasi completamente silicizzate, massicce, di colore variabile come tonalità e come intensità. Queste rocce già attribuite da NOVARESE (1931) a termini gabbriici alterati e tali considerati in un primo tempo anche da me (BERTOLANI 1960), sono state successivamente identificate come trasformazioni di marmi e calcefiri con processo di silicizzazione (BERTOLANI, TOGNETTI, SIGHINOLFI, LOSCHI 1963).

Nello studio della valle Strona ho avuto occasione d'incontrare, in regolare alternanza con gneiss biotitico-sillimanitici e anfiboliti, banchi di marmo e di calcefiro spesso accompagnati dalle sopra nominate rocce silicizzate. Ho ritenuto opportuno presentare un quadro generale di queste manifestazioni in detta valle per integrare gli studi già effettuati su altre formazioni petrografiche.

Distribuzione e giacitura.

Risalendo la valle Strona, i primi affioramenti di calcefiro s'incontrano poco prima della confluenza dei torrenti Togala e Bagnone nello Strona. Si tratta di manifestazioni modeste, regolarmente inserite nella serie degli gneiss biotitico-sillimanitici e delle anfiboliti. Nel tratto di valle precedente un'avanzata trasformazione migmatitica può aver cancellato ogni traccia di calcefiro attraverso una omogeneizzazione generale delle rocce preesistenti.

Le manifestazioni vanno rapidamente aumentando di numero e di potenza a monte del Prelo e divengono assolutamente predominanti sulle altre rocce tra Chesio e Massiola, dove cessano bruscamente.

Un secondo gruppo di calcefiri compare a monte di Forno e arriva fino a ridosso della linea Insubrica, che passa per Campello Monti.

I fenomeni di silicizzazione compaiono un pò ovunque, ma sono particolarmente intensi nella zona di Strona.

La giacitura, normalmente concordante con le altre metamorfiti, la presenza, talvolta eccezionalmente abbondante di grafite, lasciano pensare che i marmi e i calcefiri derivino da sedimenti calcarei, intercalati con i depositi argilloso-arenacei, che hanno dato luogo agli gneiss biotitico-sillimanitici e forse anche con depositi marnosi, ammesso che gli gneiss anfibolici siano di origine para (RIVALENTI 1966).

Tuttavia è frequente il caso di calcefiri che inglobano frammenti di gneiss anfibolici (Tav. I, fig. 1), presumibilmente ad essi coevi e

anche di pegmatiti (Tav. I, fig. 2), rocce filoniane visibilmente posteriori alla serie sedimentaria originale. Questo fatto e l'esame della microstruttura fanno comprendere che i diversi eventi metamorfici hanno provocato nelle rocce carbonatate con estrema facilità, ricristallizzazioni accompagnate da locali migrazioni. In tal modo la parte calcitica dei marmi e dei calcefiri ha spesso assunto la funzione di cemento a vere e proprie breccie composte da lembi di rocce a più difficile ricristallizzazione (Tav. II, fig. 1). Questo fenomeno influisce sulla regolarità e sulla costanza di potenza dei banchi carbonati. In tal senso però assume grande importanza anche un altro fattore: quello della silicizzazione (Tav. I, fig. 3). Infatti la continuità spaziale delle rocce carbonatate è spesso interrotta dalle trasformazioni siliciche, che in molti casi male si distinguono dai vicini gneiss biotitico-sillimanitici, specialmente quando questi ultimi si presentano in facies granulitica (Tav. I, fig. 4). Quindi la difficoltà di individuazione di questi calcefiri e marmi silicizzati diviene sempre maggiore man mano che si procede verso monte, dove la trasformazione granulitica è più pronunciata.

Marmi e Calcefiri.

Petrografia.

Nella valle Strona mancano marmi e calcefiri di tipo dolomitico, esistenti invece in zone limitrofe della stessa formazione (BERTOLANI 1961). Perciò tutte le rocce cristalline carbonatate della valle sono derivate da calcari. Esistono però notevoli differenze tra i vari banchi e soprattutto esiste una chiara variazione paragenetica tra marmi e calcefiri raggruppati nella parte bassa della valle attorno a Marmo e a Strona e quelli della parte alta, a monte di Forno, dove predomina la facies granulitica.

I minerali non carbonati, che più comunemente si associano nella paragenesi delle rocce carbonatate della parte bassa della valle, sono: l'anfibolo della serie tremolite-actinoto, di solito termine tremolitico puro; il quarzo; la muscovite; l'ortoclasio; il plagioclasio. Quarzo, muscovite, ortoclasio, plagioclasio possono essere minerali di neoformazione o anche minerali detritici, generalmente provenienti dai filoni pegmatitici coinvolti nei processi di ricristallizzazione delle rocce carbonatate. Si tratta di frammenti più o meno grandi, spesso anche di veri e propri lembi di roccia, mostranti ancora la struttura pegmatitica (Tav. II, fig. 2). In tal caso il plagioclasio è un termine sodico.

Invece se il plagioclasio è di neoformazione è di tipo calcico e sfuma in un altro minerale assai comune in questo gruppo di calcefiri: la zoisite, oppure la clinozoisite.

Anche apatite e zircone sono spesso minerali che accompagnano lembi di pegmatiti.

Il pirosseno monoclinico di tipo diopside non è costante. Di solito compare nei calcefiri di Strona e Massiola, manca in quelli della parte più bassa della valle.

Un tipo particolare è dato dai calcefiri a flogopite. In essi detta mica è abbondante, ma il resto della paragenesi coincide con quella degli altri calcefiri della zona.

Eccezionale la presenza di biotite e tormalina, quest'ultima pleocroica dal celeste all'azzurro scuro, oppure dal verde chiaro al verde scuro (Tav. III, fig. 1).

Sono minerali accessori abbondanti e comuni a tutte le rocce carbonatate, sia della zona bassa, sia di quella alta, titanite e grafite.

I calcefiri di Ravinella e delle Coste della Magna, posti nella zona alta della valle, sono caratterizzati dalla scapolite. Si tratta, come vedremo di un termine meionitico. Manca l'anfibolo, quasi completamente, mentre è sempre presente e talvolta abbondante, il pirosseno tipo diopside. Mancano anche muscovite e zoisite e la clinozoisite compare solo come prodotto di trasformazione della scapolite. Invece sono frequenti l'ortoclasio o il microclino e, un pò meno, il plagioclasio. Costante, come si è detto, la titanite e talvolta particolarmente abbondante la grafite. Eccezionale il granato, derivato dalla trasformazione di scapolite (Tav. III, fig. 1).

In prossimità o anche in corrispondenza delle forti dislocazioni che separano le granuliti e le rocce ultrafemiche di Campello Monti dai cosiddetti scisti di Fobello e Rimella (ARTINI e MELZI 1900) della testata della valle, i calcefiri mantengono la loro individualità petrografica, ma assumono struttura diversa, a grana assai più minuta. Spesso il cambiamento di struttura non è totale, ma segue i piani interni di dislocazione. Scompare la scapolite e gli altri silicati risultano intensamente fratturati. Esempi di questi calcefiri esistono sotto Cima Ravinella e subito a monte di Campello. Si inizia così il passaggio a scisti calcarei, esistenti più a monte e già da me interpretati come calcefiri laminati e retrocessi. Un passaggio laterale da calcefiri a scisti calcarei è visibile nella contigua valle del Land-Wasser, in territorio di Rimella. Su questo avrò occasione di ritornare in altra sede.

Alcuni dati sui minerali.

Plagioclasio. Misure al Fedoroff di plagioclasidi dei calcifiri della valle Strona hanno dato i seguenti risultati:

Q 11 - Sotto Chesio	72% An.
Q 137 - Cà Costa	10%, 61% An.
Q 141 - Marmo	50% An.
Q 170 - Strada di Massiola	30% An.
Q 172 - Strona	80% An.
Q 331 - Sotto Cima Ravinella	8% An.
Q 358 - Ravinella di sotto	53% An.
Q 380 - Ravinella di sotto	18% An.

E' evidente la presenza, talvolta in uno stesso campione, dei due plagioclasidi: quello di neoformazione e quello detritico; quest'ultimo conserva le sue caratteristiche di termine sodico. Nel caso del calcifiro di Cima Ravinella, già coinvolto nei processi di retrocessione, il tipo albitico, anche per l'aspetto microscopico; potrebbe derivare da un fenomeno di albitizzazione legato al metamorfismo alpino di basso grado.

Ortoclasio e microclino. Nei calcifiri della parte alta prevale il microclino; l'ortoclasio solo in qualche campione è micropertitico, generalmente appare come un termine di bassa temperatura a grande angolo degli assi ottici. Misure al Fedoroff hanno dato i seguenti risultati:

Q 141 - Marmo	$2V = -70^\circ$
Q 147 - Sotto Massiola	$2V = -70^\circ$
Q 170 - Strada di Massiola	$2V = -72^\circ$
Q 331 - Sotto Cima Ravinella	$2V = -60^\circ$
Q 358 - Ravinella di sotto	$2V = -73^\circ$
Q 380 - Ravinella di sotto	$2V = -62^\circ$

Anfibolo. Si tratta, come si è detto, di due tipi: uno colorato, con pleocroismo α incolore, β verde, γ verde azzurro. $2V = -86^\circ$, $c: \gamma = 16^\circ$; l'altro, incolore o quasi, è molto più diffuso. Ha $2V = -78^\circ$, $c: \gamma = 18^\circ$. In quest'ultimo caso si tratta di tremolite.

Pirosseno monoclinico. Di solito è incolore, eccezionalmente verdino, mai pleocroico. L'angolo assiale ottico varia da $2V = +56^\circ$ a $2V = +66^\circ$. L'angolo di estinzione $c : \gamma$ risulta di $38^\circ 30'$ nei termini a $2V$ più piccolo e di $c : \gamma = 43^\circ$ in quelli a $2V$ maggiore. Si tratta di termini della serie Diopside-Hedenbergite, prevalentemente magnesiaci. Nei calcefiri di Ravinella di sotto si possono isolare grossi cristalli idiomorfi di pirosseno verdino. Su uno di essi è stato applicato il metodo di PARKER (1964), che, attraverso i valori $n \alpha' = 1,674$ e $c : \gamma' = 35^\circ 30'$, ha indicato il cristallo come diopside contenente l'8% di Hedenbergite.

Una conferma di tale classificazione si ha con l'esame röntgenografico. Uno spettrogramma Debye effettuato con radiazione $\text{CuK}\alpha$ ha dato le caratteristiche interferenze del diopside, come si vede dal confronto delle interferenze più significative con quelle date per il diopside nelle schedine ASTM:

Diopside Ravinella		Diopside A.S.T.M.	
d (Å)	I	d (Å)	I
3,22	d	3,23	20
2,98	m	3,00	80
2,88	d	2,90	40
2,51	f	2,53	100
1,61	m	1,62	60

Nel calcefiro sotto Cima Ravinella, in buona parte ricristallizzato in ambiente di metamorfismo alpino di basso grado, si ha un pirosseno abbondantemente geminato, con $2V = +45^\circ$ e $c : \gamma = 32^\circ$, che potrebbe forse riferirsi a un termine pigeonitico.

Clinozoisite. Presenta la caratteristica variabilità di composizione anche nello stesso cristallo, ma si mantiene sempre in termini poco riferibili, con bassi colori d'interferenza, anomali. Frequente valore di $2V = -89^\circ$.

Muscovite. Le laminette contorte a estinzione fortemente ondulata, l'abito talvolta raggianto, si prestano male a determinazioni al Fedoroff. Comunque l'angolo assiale ottico appare sempre piuttosto piccolo. Il valore massimo misurato è $2V = -34^\circ$, ma si riscontrano anche valori più bassi, fino a -17° . Non è chiaro se le variazioni del $2V$ anche in una stessa roccia, dipendono da deformazioni meccaniche, come è più probabile, o da variazioni di composizione.

Flogopite. Anche le laminette di flogopite sono intensamente deformate. Il pleocroismo è: α incolore, $\beta = \gamma$ bruno pallido. $2V$ varia da -6° a -11° , in qualche caso il minerale risulta praticamente uniasico. Probabilmente la variazione è da imputare anche qui a deformazioni meccaniche.

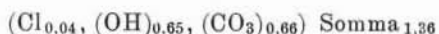
Tra i minerali opachi si è già parlato della *grafite* presente nella massima parte dei casi e particolarmente abbondante nella zona di Ravinella. Le laminette sono sempre assai contorte. Accompagnano la grafite: la *pirrotina*, che mostra passaggi a *marcasite*; più rare la *pirite* e la *calcopirite*. Frequenti i fenomeni di limonitizzazione.

Scapolite. E' il minerale caratteristico dei calcefiri della zona oltre Forno, in special modo dei dintorni di Ravinella di sotto. I colori d'interferenza sono elevati, la figura d'interferenza solitamente non presenta biassicità anomala.

Approfittando di alcune concentrazioni esistenti nei calcefiri affioranti sulla sponda destra del torrente di Ravinella, ho potuto isolare materiale sufficiente per eseguire un'analisi chimica quantitativa, che ha dato i seguenti risultati:

SiO ₂	49,06
TiO ₂	1,17
Al ₂ O ₃	21,91
Fe ₂ O ₃	1,30
FeO	0,62
MnO	—
CaO	14,44
MgO	0,96
Na ₂ O	4,32
K ₂ O	2,47
CO ₂	3,07
SO ₃	—
F	n.d.
Cl	0,17
H ₂ O ⁺	0,63
H ₂ O ⁻	0,17
	100,29
— O per Cl	0,04
	100,25

Dall'analisi si ricava la seguente formula :



Come si vede si tratta di una mizzonite, ossia un termine prevalentemente calcico compreso tra Me 50 e Me 80. Infatti il minerale analizzato contiene circa il 65% di meionite. Questa varietà è tra le più frequenti nelle rocce metamorfiche sia carbonatate, sia di tipo metagabbrico, come prodotto di metasomatismo regionale con apporto di sodio e cloro.

L'origine di questi elementi può essere quanto mai varia; talvolta è identificabile con soluzioni derivate da plutoni granitici, talaltra è legata a mobilizzazioni in ambiente metamorfico, ma spesso è assolutamente sconosciuta (DEER, HOWIE e ZUSSMAN 1963).

Composizione chimica dei calcefiri.

La composizione chimica dei calcefiri risulta dalla seguente tabella che riguarda i campioni:

F 1 - Valle Togala (BERTOLANI, TOGNETTI, SIGHINOLFI, LOSCHI 1963).

S 6 - Valle Togala (BERTOLANI, TOGNETTI, SIGHINOLFI, LOSCHI 1963).

Q 11 - Sotto Chesio.

Q 172 - Strona.

Q 137 - Cà Costa presso Fornero.

Q 141 - Marmo (BERTOLANI 1964).

Q 299 - Ravinella di sotto (BERTOLANI 1964).

Q 331 - Ravinella di sotto.

Il campione S 6 è un calcefiro a flogopite; il campione Q 141 è il marmo di Valle Strona, cavato in località Marmo, presso Sambughetto e molto noto come materiale di rivestimento bianco e a grana grossa. I campioni Q 299 e Q 331 sono calcefiri a scapolite.

	F 1	S 6	Q 11	Q 172	Q 137	Q 141	Q 299	Q 331
SiO ₂	10,76	11,50	7,97	31,22	6,31	2,10	4,16	13,11
TiO ₂	0,32	0,32	—	0,47	0,02	0,36	tr.	0,32
Al ₂ O ₃	4,84	5,00	1,97	12,99	2,39	0,92	0,89	4,20
Fe ₂ O ₃	0,80	0,64	0,51	0,81	0,49	0,29	0,63	0,43
FeO	1,30	1,87	0,30	4,59	0,28	0,26	0,42	1,21
MnO	—	—	0,03	—	0,08	0,03	0,32	0,04
CaO	45,04	44,32	48,36	29,44	49,42	54,32	52,28	44,02
MgO	1,96	1,85	2,62	1,76	1,81	0,45	0,66	1,06
Na ₂ O	0,17	0,13	0,20	0,71	0,15	0,03	0,07	0,40
K ₂ O	0,22	0,80	0,19	1,59	0,13	0,10	0,05	0,84
P ₂ O ₅	—	—	0,05	0,10	0,03	—	—	0,04
CO ₂	33,89	33,16	37,15	15,19	38,52	41,39	39,47	32,66
H ₂ O ⁺	0,13	0,36	1,15	0,93	0,38	0,12	0,28	1,27
H ₂ O ⁻	0,05	0,13	0,06	0,16	0,17	0,11	0,25	0,26
	99,48	100,08	100,56	99,96	100,18	100,48	99,48	99,86

	si	ti	co ₂	al	fm	e	alk	k	mg	c/fm
F 1	19	0,5	82	5,1	8,2	86,1	0,6	0,46	0,63	14,46
S 6	21	0,5	80	5,4	8,7	84,7	1,2	0,80	0,57	9,73
Q 11	10	—	90	2,0	7,9	89,6	0,5	0,38	0,86	11,35
Q 172	65	0,7	43	16,0	14,6	65,8	3,6	0,59	0,37	4,50
Q 137	11	—	89	2,4	5,8	91,4	0,4	0,37	0,80	15,71
Q 141	3	0,4	94	0,9	1,9	97,0	0,2	0,69	0,60	51,05
Q 299	7	—	92	0,9	3,6	95,4	0,1	0,31	0,47	26,79
Q 331	24	0,5	84	4,7	5,5	88,1	1,7	0,58	0,59	15,98

Dai risultati analitici si osserva che esistono differenze quantitative sensibili nel contenuto in elementi diversi dal calcio, tuttavia non si riscontrano diversità chimiche tra i campioni tremolitico-epidotici, quelli flogopitici e quelli scapolitici, per cui la diversa classificazione è possibile solo per via paragenetica. Ciò starebbe a dimostrare un diverso ambiente di formazione.

Si nota ancora una sensibile quantità di Mn nel calcefiro a contatto coll'affioramento manganesifero di Ravinella, che rivela l'arricchimento in manganese di quella particolare zona.

Marmi e calcefiri silicizzati.

Petrografia.

Questa categoria di rocce è strettamente legata ai marmi e calcefiri, dai quali è indubbia la derivazione per via metasomatica. Come si è detto, l'aspetto è quanto mai vario, ma sempre di roccia compatta, non scistosa.

In queste rocce si rivedono molti dei minerali già elencati per i marmi e calcefiri, praticamente non ne compaiono di nuovi e particolari, ad eccezione di qualche accessorio scarsamente significativo.

Il processo di silicizzazione non procede sempre allo stesso modo; talvolta si forma una struttura fibroso-raggiata, talaltra una struttura microgranulare. E' frequente una sovrapposizione di strutture, che dimostra l'esistenza di azioni successive.

In tali condizioni è praticamente impossibile distinguere i vecchi minerali del calcefiro da quelli di nuova formazione conseguenti il processo di silicizzazione. Mentre in marmi e calcefiri i feldspati erano sempre scarsamente rappresentati, in queste rocce essi spesso sono i minerali predominanti.

Il *feldspato potassico* difficilmente è in forti quantità, di solito è associato al plagioclasio. $2V$ è risultato — 66° , rivelandosi dello stesso tipo riscontrato nei calcefiri.

Il *plagioclasio* diventa spesso il componente principale (Tav. IV, fig. 1). Le misure al Fedoroff eseguite su vari campioni danno:

Q 174 - Strona	80% An
Q 204 - Alpe Locce	82% An
Q 206 - Alpe Costavaga	82% An
Q 212 - Ponte Bagnone	78% An
Q 246 - Pennino grande	70% An

Evidentemente scompaiono qui i termini sodici abbastanza frequenti invece nei calcefiri.

Un altro minerale più comune che nei calcefiri è la *tormalina*. Si tratta di cristalli solitamente piccoli, pleocroici dal celeste chiaro (ϵ) all'azzurro (ω), oppure ϵ incolore, ω verde azzurro, passante agli orli a verde bruno o anche ϵ incolore, ω verde oliva.

Il *quarzo* in qualche caso è il minerale prevalente; come ad esempio di fronte a Marmo, in altri manca completamente.

La *biotite* non è frequente. Presenta pleocroismo diverso; infatti esistono campioni con biotite α nocciola chiaro, $\beta = \gamma$ bruno rosso, altri con biotite α giallo, $\beta = \gamma$ bruno chiaro.

La *muscovite* è minerale secondario derivato dalla trasformazione del plagioclasio.

Un altro gruppo di minerali molto caratteristici e abbondanti e che talvolta forma la maggior parte della roccia, è costituito da clinozoisite, zoisite e tremolite (Tav. IV, fig. 2). La *clinozoisite* ha le stesse caratteristiche già riscontrate nei calcefiri. La *zoisite* ha $2V = +42^\circ$. La *tremolite* ha $2V$ variante da -72° a -79° e $c : \gamma$ passante da 12° a 17° , caratteristiche comuni alla tremolite dei calcefiri.

Il *pirosseno monoclinico*, anche qui tipo diopside, è meno frequente che nei calcefiri. E' stato misurato $2V = 57^\circ 30'$ e $c : \gamma = 44^\circ$.

Anche la *scapolite* è più rara. Le caratteristiche ottiche sono però identiche a quelle dello stesso minerale presente nei calcefiri. E' presente in calcefiri silicizzati della parte alta ed eccezionalmente all'Alpe Bagnone, che è nella parte media della valle.

Altri minerali che compaiono nella paragenesi sono: *titanite*, sempre presente; *zircone*, scarso; *apatite*; *clorite*, generalmente derivata da biotite; *prehnite*, rara.

La *calcite* non è sempre presente. Essa indica i resti della roccia originaria; ma sono più frequenti i casi in cui la sostituzione è stata totale.

I minerali opachi sono rappresentati da *pirrotina*, in granuli, *ilmenite*, *calcopirite*, *pirite* e spesso da *grafite*. Sono da considerarsi di alterazione *marcasite* e *limonite*.

Composizione chimica.

La composizione chimica dei marmi e calcefiri silicizzati della valle Strona è data dalle analisi dei seguenti campioni:

C 2 - Valle Togala. A prevalente clinozoisite (BERTOLANI, TOGNETTI, SIGHINOLFI, LOSCHI 1963).

Q 138 - Cà Costa. Pure clinozoisiteo.

Q 206 - Alpe Costavaga. A prevalente plagioclasio (BERTOLANI 1964).

Q 173 - Strona. Tormalinifero feldspatico.

	C 2	Q 138	Q 206	Q 173
SiO ₂	40,38	41,67	40,00	46,89
TiO ₂	0,44	1,00	0,24	1,05
Al ₂ O ₃	19,83	24,14	33,14	25,22
Cr ₂ O ₃	0,04	—	—	—
Fe ₂ O ₃	1,00	6,13	1,16	0,56
FeO	2,78	0,84	0,76	5,51
MnO	0,16	0,03	0,03	0,07
CaO	25,80	17,63	22,32	10,86
MgO	2,99	2,21	0,81	2,12
Na ₂ O	0,11	0,83	0,22	2,92
K ₂ O	0,09	0,92	0,20	2,65
P ₂ O ₅	tr.	0,01	—	0,21
CO ₂	5,36	—	—	—
H ₂ O ⁺	1,05	3,94	1,59	2,36
H ₂ O ⁻	0,09	0,33	0,06	0,16
	100,12	99,68	100,53	100,58

	si	ti	co ₂	al	fm	c	alk	k	mg	c/fm
C 2	86	1,0	15	24,8	16,3	58,6	0,3	0,35	0,58	3,59
Q 138	97	1,7	—	33,0	20,0	43,8	3,2	0,42	0,38	2,19
Q 206	86	0,4	—	42,0	5,9	51,4	0,7	0,37	0,44	8,11
Q 173	119	2,0	—	37,9	21,0	29,6	11,5	0,37	0,38	1,41

Rispetto ai marmi e ai calcefiri si nota un forte aumento di SiO₂, Al₂O₃ e, solo in qualche caso, di alcali. Scompare o quasi CO₂ e diminuisce fortemente CaO, che tuttavia conserva sempre valori elevati rispetto agli altri costituenti. Non subiscono sensibili variazioni MgO, MnO. Aumenta il ferro totale.

Considerazione sulla probabile genesi dei marmi, dei calcefiri e dei loro derivati.

Si possono trarre diverse considerazioni dallo studio dei marmi e dei calcefiri della valle Strona e delle loro modificazioni silicee.

Si tratta di rocce polimetamorfiche, originariamente calcari, che hanno cambiato più volte paragenesi e struttura.

Si può pensare che la presenza di frazioni argilloso-arenacee abbia consentito, all'atto del primo metamorfismo tettonico di zona profonda, la formazione di alcuni silicati, tra cui certamente il pirosseno e parte del quarzo e del plagioclasio; forse anche parte dell'epidoto. La sostanza organica presente si è trasformata in grafite, come nei vicini gneiss biotitico-sillimanitici.

Più incerta è la posizione della scapolite, che ha ampie possibilità di esistenza, solitamente legate però da condizioni di alta temperatura. Potrebbe perciò annoverarsi tra i minerali formati in processi di facies a tendenza granulitica, dato che in detta facies la scapolite è frequentemente segnalata e che in valle Strona la scapolitizzazione si verifica anche in anfiboliti a tendenza granulitica (BERTOLANI, RIVALENTI 1966). Potrebbe però essersi originata anche attraverso processi metasomatici regionali allorchè si è verificata una migrazione di componenti volatili provenienti da rocce granulitiche. Le rocce carbonatate avrebbero bloccato quasi all'origine tali sostanze approfittando della facile e vivace reattività della calcite. La citata trasformazione della scapolite in granato, ovviamente grossularia (Tav. III, fig. 2), sarebbe, secondo WHITE (1959) un fenomeno di retrocessione, analogo a quello, pure presente in valle Strona, della trasformazione della scapolite in epidoto.

Comunque, data la costanza dei dati, non sembra casuale il fatto che nella parte alta della valle Strona, ricca di rocce in facies granulitica, manchino epidoto, zoisite, tremolite e abbiano sviluppo pirosseno e scapolite, quest'ultima quasi assente nei calcefiri della parte bassa.

Una seconda azione di tipo pneumatolitico, oltre a produrre una ricristallizzazione, e migrazione locale della calcite, può aver arricchito la roccia in flogopite, muscovite, ortoclasio, plagioclasio, tremolite, tormalina. Il prolungarsi di questa azione di tipo pneumatolitico con apporto di silice, allumina e alcali ha portato alla completa silicizzazione per sostituzione delle parti di marmo e calefiro più esposte all'azione stessa. Vi è stato perciò, nei calcefiri silicizzati, un forte arricchimento di minerali della seconda fase, con formazione terminale di epidoto e zoisite. Sono forse ancora posteriori le intense azioni tettoniche, che, frantumando le rocce di base (gneiss biotitico-sillimanitici e anfiboliti) e i filoni pegmatici, hanno permesso la formazione di vere e proprie breccie a cemento calcitico, creando un'eterogeneità di paragenesi difficilmente spiegabile altrimenti. La calcite, anche in questa fase, è ri-

crystallizzata (almeno parzialmente) e non è da escludere l'ulteriore formazione di minerali epizonali, come clorite, epidoto, tremolite.

Queste considerazioni sono analoghe a quelle espresse da PAPA-GEORGAKIS (1961) per le rocce carbonatate della fascia Ascona-Candoglia, a parte una maggiore importanza, data da detto Autore, all'ultima fase di epoca presumibilmente alpina.

A mio parere l'azione di tipo pneumatolitico, quella che ha modificato maggiormente la paragenesi delle rocce carbonatate della valle Strona, si può inquadrare nel fenomeno generale di mobilitazione e di migrazione di soluzioni ioniche dalla zona più profonda di tipo granulitico a quella superiore di tipo migmatitico. La reazione tra dette soluzioni in risalita, ricche, come dimostrano le variazioni paragenetiche e chimiche dei marmi e calcefiri silicizzati, soprattutto di Al, Si, K, Na, B, e le rocce carbonatate, deve aver provocato larghi processi di sostituzione, mentre nelle rocce vicine, già silicee, le reazioni e le sostituzioni sono state assai più modeste e il fenomeno è stato più che altro di permeazione.

In linea teorica non è possibile escludere che si tratti di azioni pneumatolitiche nel significato classico, successive alla messa in posto dei filoni pegmatitici, ma, viste le caratteristiche metasomatiche dei filoni stessi, accertata la presenza dei fenomeni di migrazione e trasformazione in tutta la valle Strona, l'ipotesi che il metasomatismo regionale abbia agito vivacemente sulle rocce carbonatate è assai più probabile.

Scarsa consistenza ha invece l'ipotesi che tutte o parte delle rocce carbonatate della valle Strona, possano identificarsi con carbonatiti. Sono elementi negativi per questa ipotesi la regolare alternanza con rocce iperaluminifere sicuramente derivate da sedimenti, quali gli gneiss biotitico-sillimanitici. Detta regolarità è ancora ben visibile anche se in alcune posizioni è stata disturbata da fenomeni di ricristallizzazione e breve migrazione di marmi e calcefiri. Inoltre le rocce carbonatate sono sempre molto ricche in grafite, minerale che, se non è sufficiente per escludere la natura carbonatitica delle rocce in esame, è pur sempre un elemento più favorevole per la loro origine sedimentaria.

Comunque i ripetuti rimaneggiamenti dovuti al tipo polimetamorfico rendono assai difficile l'accertamento di una eventuale genesi carbonatitica.

BIBLIOGRAFIA

- ARTINI E., MELZI G., 1900, *Ricerche petrografiche e geologiche sulla Valsesia*. «Mem. R. Ist. Lomb. di Scienze e Lett.», 18, 219-390.
- BERTOLANI M., 1954, *Contributo allo studio petrografico della cosiddetta «Formazione dioritico-kinzigitica»*. *Ricerche in val Sabbiola (Valsesia)*. «Rend. Soc. Miner. Ital.», 10, 91-207.
- BERTOLANI M., 1958, *Contributo allo studio petrografico della cosiddetta «Formazione dioritico-kinzigitica»*. *Le azioni metamorfiche nelle rocce della val Bagnola (Valsesia)*. «Rend. Soc. Miner. Ital.», 14, 55-116.
- BERTOLANI M., 1960, *Contributo allo studio petrografico della cosiddetta «Formazione dioritico-kinzigitica»*. *Variabilità petrografica e azioni metamorfiche nella zona di Civiasco (Valsesia)*. «Per. di Miner.», 29, 194-268.
- BERTOLANI M., 1961, *Fenomeni di granitizzazione e di contatto nella zona di Quarna (Novara)*. «Rend. Soc. Miner. Ital.», 17, 65-108.
- BERTOLANI M., TOGNETTI G., SIGHINOLFI G., LOSCHI A. G., 1963, *Ricerche petrografiche nella bassa valle Strona (Novara)*. «Rend. Soc. Miner. Ital.», 19, 41-67.
- BERTOLANI M., RIVALENTI G., 1966, *Gli gneiss anfibolici della valle Strona (Novara)*. «Per. di Miner.», 35, 869-893.
- CAMISASCA O., 1941, *Il marmo di Candoglia ed i suoi minerali*. «Atti Soc. Ital. Sc. Nat.», 80.
- DEER W. A., HOWIE R. A., ZUSSMAN J., 1963, *Rock-forming Minerals. 4. Framework Silicates*. London.
- NOVARESE V., 1931, *La formazione diorito-kinzigitica in Italia*. «Boll. R. Uff. Geol. It.», 56, 1-62.
- PAPAGEORGAKIS J., 1961, *Marmore und kalksilikatfelse der Zone Ivrea-Verbanò, zwischen Ascona und Candoglia*. «Schw. Min. u. Petr. Mitt.», 41, 157-254.
- PARKER R. B., 1964, *Rapid determination of the approximate composition of Amphiboles and Pyroxenes*. «Am. Miner.», 46, 892-900.
- RIVALENTI G., 1966, *Problema della genesi degli gneiss anfibolici della serie «diorito-kinzigitica» delle Alpi Pennine*. «Per. di Miner.», 35, 939-957.
- WHITE A. I. R., 1959, *Scapolite-bearing marbles and calc-silicate rocks from Tung-killo and Milendella, South Australia*. «Geol. Magaz.», 96, 285.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA I.

Fig. 1. — Inclusi di anfibolite nel calcefiro di Ravinella di sotto.

Fig. 2. — Inclusi di pegmatite nel calcefiro di Ravinella di sotto.

Fig. 3. — Relitti di calcefiro nelle rocce silicizzate del ponte sul torrente Bagnone tra Chesio e Loreglia.

Fig. 4. — Aspetto dei calcefiri silicizzati nello Strona all'altezza di Marmo.



Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 3.

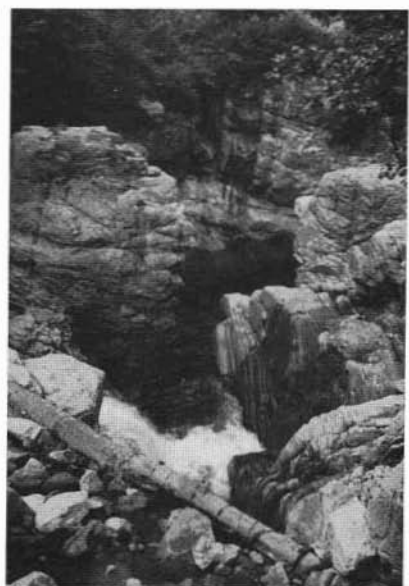


Fig. 4.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA II.

Fig. 1. — Caleefiro laminato. Al centro cristalli di anfibolo. Camp. Q. 147, Massiola.
Nicols iner., 66 ingr., luce trasm.

Fig. 2. — Lembi di roccia pegmatitica nel caleefiro. Camp. Q. 141, marmo di
Valle Strona. Nicols iner., 66 ingr., luce trasm.

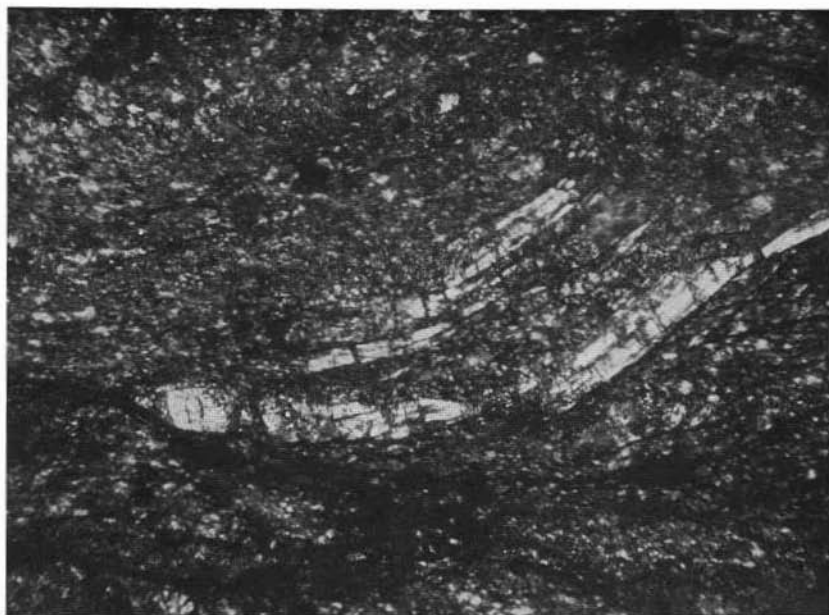


Fig. 1.



Fig. 2.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA III.

- Fig. 1. — Cristallo ramificato di tormalina (al centro), con quarzo, calcite, titanite ed epidoto. Camp. Q. 172, calcefiro, Strona. Solo pol., 66 ingr., luce trasm.
- Fig. 2. — Scapolite con trasformazione periferica in granato. Camp. Q. 364, calcefiro, Ravinella. Solo pol., 66 ingr., luce trasm.

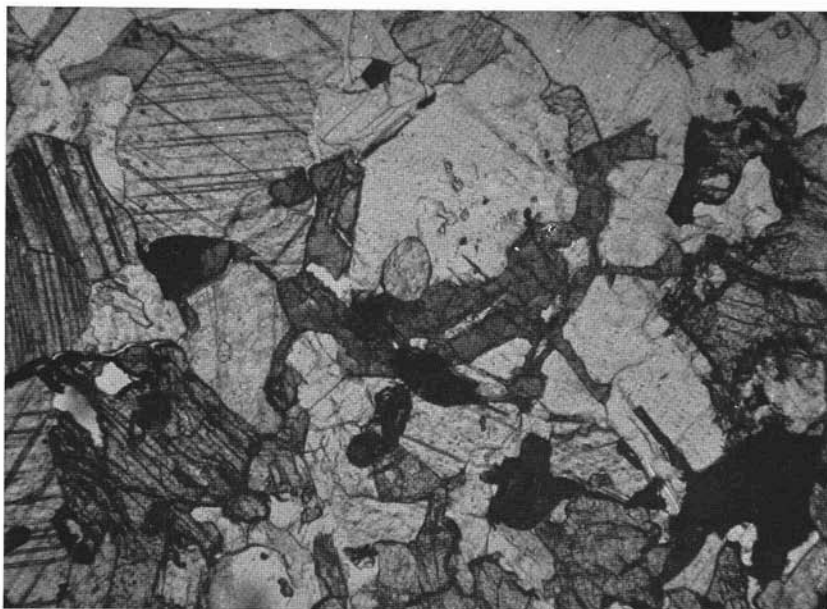


Fig. 1.



Fig. 2.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA IV.

- Fig. 1. — Plagioclasio cribroso, con clinozoisite. Camp. Q. 206, calcefiro silicizzato, Alpe Costavaga. Nicols iner., 66 ingr., luce trasm.
- Fig. 2. — Zoisite fibroso-raggiata con scapolite (sulla destra). Camp. Q. 246, calcefiro silicizzato, Pennino grande. Nicols iner., 66 ingr., luce trasm.

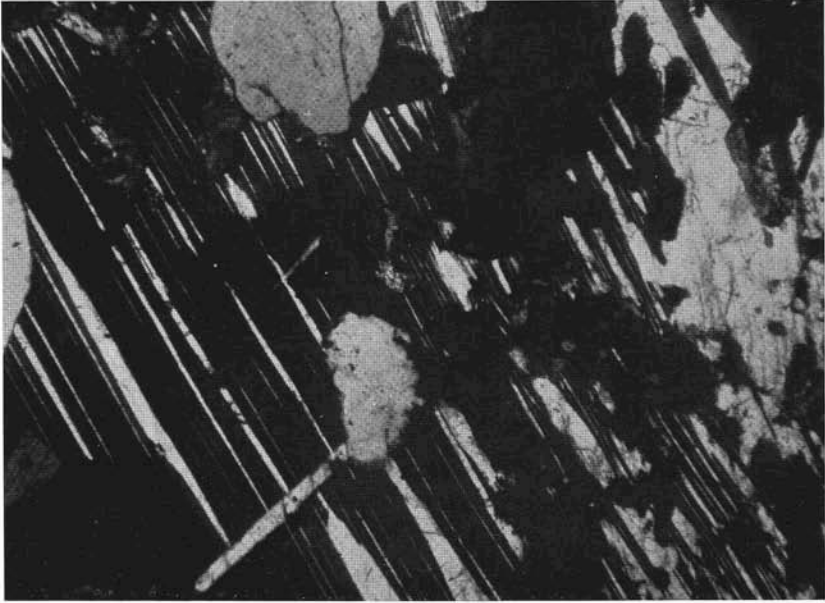


Fig. 1.

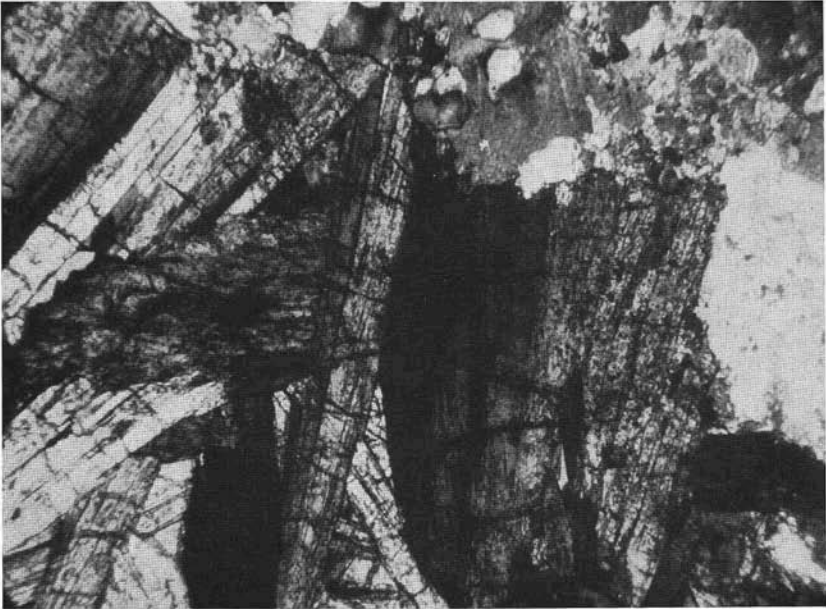


Fig. 2.